La alimentación adecuada, tanto en cantidad como en calidad, representa una oportunidad para que los individuos alcancen su plenitud fisiológica y corporal, su correcto desarrollo y un estado permanente de salud, fortaleciendo su sistema inmunológico y disminuyendo la prevalencia de enfermedades. Esto a su vez significa que el individuo pueda tener mayor oportunidades de desarrollo social, académico, profesional y laboral, permitiendo una mejor inserción en las actividades socioeconómicas y ayudando a disminuir la pobreza del individuo como de la sociedad en que se encuentra inmerso. Instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconocen en la nutrición una forma efectiva de disminuir las enfermedades.

En esta obra se revisan diferentes aspectos de los alimentos y su relación con la salud, los principales temas que se tratan incluyen una revisión sobre la nutrición y su relación con la salud, diversos aspectos y enfoques sobre los alimentos funcionales y la importancia de asegurar la inocuidad alimentaria. Esto realizado por diferentes expertos que colaboran con la Red de Alimentos, Nutrición y Salud.

La Red de Alimentos, Nutrición y Salud representa un espacio de colaboración de expertos nacionales en campos diversos, a través del cual se logra el intercambio de conocimientos, experiencias, infraestructura y capacidades científicas, tanto para la generación del conocimiento científico, su aplicación tecnológica y su difusión.

La Red de Alimentos, Nutrición y Salud apoya a sus integrantes en la realización de congresos y mesas de trabajo, algunos de ellos han sido apoyados por el Consorcio de Universidades Mexicanas (CUMEX). Sus integrantes participan también apoyando a revistas científicas nacionales, para alcanzar su registro en el índice de Revistas Mexicanas Científicas del CONACyT mediante la contribución con material científico de alta calidad.

Otro logro significativo ha sido el formalizar la Red de Alimentos, Nutrición y salud ante el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública, logrando con ello la obtención de recursos para el desarrollo de un proyecto de investigación conjunto. Estas actividades han permitido coordinar la publicación de diferentes obras académicas.

La realización de esta obra académica, contó con el apoyo del Fondo Mixto De Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica CONACYT-Gobierno del Estado de Tamaulipas y del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Secretaría de Educación Pública. En esta obra, cinco investigadores expertos se dieron a la tarea de invitar diferentes grupos de investigación del país, para compartir los avances desarrollados durante el desarrollo de sus trabajos de investigación en Ciencia y Tecnología Alimentaria con un enfoque relacionado con la salud y la nutrición. En su realización participan tanto en el trabajo editorial como en la publicación de material científico integrantes de la Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos (http:www.somenta.org).

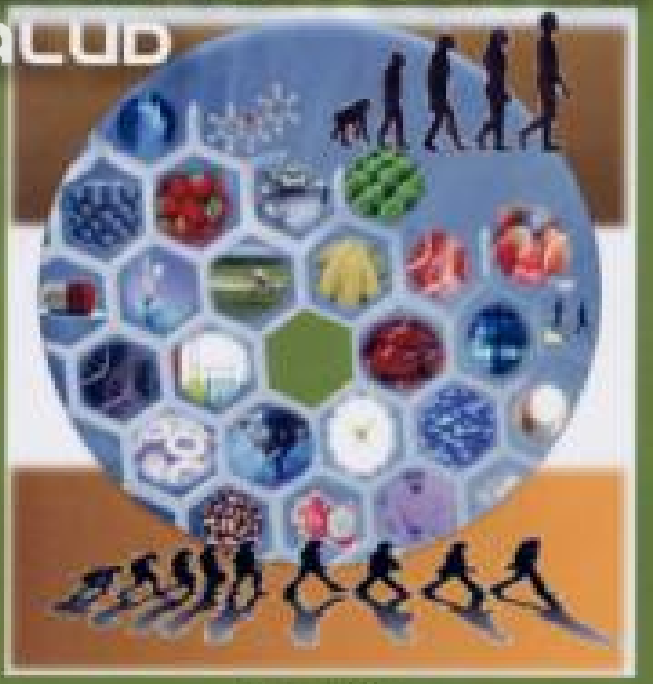
Esperamos que la presente obra académica sirva de apoyo para los diferentes programas de licenciatura y posgrado que existen en el campo de la Ciencia y Tecnología Alimentaria.

ISBN: 978-607-402-719-1

LOS ALIMENTOS EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA SALUD

PyV

LOS ALIMENTOS EN MÉXICO Y SU RELACIÓN CON LA SALUD



Coordinadores
DR. MIGUEL AGUILERA ORTÍZ
DRA. ROSALÍA REYNOSO CAMACHO
DR. CARLOS ALBERTO GÓMEZ ALDAPA
DRA. ROCÍO M. URESTI MARÍN
DR. JOSÉ ALBERTO RAMÍREZ DE LEÓN

Los alimentos en México y su relación con la salud

Los alimentos en México y su relación con la salud

Miguel Aguilera Ortíz
Rosalía Reynoso Camacho
Carlos Alberto Gómez Aldapa
Rocío M. Uresti Marín
José Alberto Ramírez de León
(Coordinadores)

PLAZA Y VALDÉS
PYV
EDITORES

Primera edición: febrero de 2014

D. R. © Universidad Autónoma de Tamaulipas
Calle 16 y Lago de Chapala, Col. Aztlán, C.P. 88740,
ciudad Reynosa Tamaulipas, México
© Miguel Aguilera Ortiz; José Alberto Ramírez de León;
Rosalía Reynoso Camacho; Carlos Alberto Gómez Aldapa

© Plaza y Valdés, S. A. de C. V.
Manuel María Contreras 73. Colonia San Rafael
México, D. F. 06470. Teléfono: 5097 20 70
editorial@plazayvaldes.com
www.plazayvaldes.com

Plaza y Valdés Editores
Calle Murcia 2. Colonia de los Ángeles
Pozuelo de Alarcón 28223, Madrid, España
Teléfono: 91 862 52 89
madrid@plazayvaldes.com
www.plazayvaldes.es

Corrección de estilo: José Luis Castelán Aguilar
Formación tipográfica: Carlos Dirceu León González
Diseño de portada: Elizabeth Mercado León

ISBN:**978-607-402-718-1**

Impreso en México / *Printed in Mexico*

El trabajo de edición de esta obra fue realizado en el Taller de Edición de Plaza y Valdés ubicado en el Reclusorio Preventivo Varonil Norte. Lo anterior es posible gracias al apoyo, confianza y colaboración de todas las autoridades del Sistema Penitenciario del Gobierno del Distrito Federal, en especial de la Dirección Ejecutiva de Trabajo Penitenciario.

Contenido

Sección 1. Nutrición y Salud

La alimentación integral y su relación con la neurociencia
Rocio M. Uresti Marín, Frida Carmina Caballero Rico, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León 15

Alimentos marinos y salud
Dalila Fernanda Canizales Rodríguez, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Enrique Márquez Ríos, Nathaly Montoya Camacho, María Susana Yepiz Gómez, José Luis Cárdenas López, Ramón Gertrudis Valdez Melchor 53

Calidad de las proteínas de productos pesqueros
Iván de Jesús Tolano Villaverde, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Josafat Marina Ezquerra Brauer, Wilfrido Torres Arreola, Ramón Gertrudis Valdez Melchor, Enrique Márquez Ríos 73

Función de los ácidos grasos insaturados en la salud cardiovascular
José Ernesto Cervantes Martínez, Guadalupe Bustos Vázquez, Gricelda Vázquez Carrillo, Yolanda Salinas Moreno 85

La evaluación sensorial establece la calidad de alimentos grasos fritos
Reyna Luz Vidal Quintanar, Ofelia Rouzand Sández 93

El pozole: situación actual y calidad nutricional
María Gricelda Vázquez Carrillo, David Santiago Ramos, Yolanda Salinas Moreno, José Ernesto Cervantes Martínez 113

Características nutricionales del garbanzo
Leopoldo González Cruz, Santiago Filardo Kerstupp, José Mayolo Simitrio Juárez Goiz, Norma Güemes Vera y Aurea Bernardino Nicanor 135

Aceites esenciales derivados de plantas y especies, como antioxidantes y su influencia en el consumo humano
Norma Leticia Flores Martínez, Adriana Hernández Rangel, Aurea Bernardino Nicanor, Cristina Pérez Pérez 149

Efecto benéfico del chile (Capsicum spp.) en la salud humana
Margarita Hurtado González, María Guadalupe Bustos Vázquez, Simón Josias Tellez Luis, Octelina Castillo Ruiz 165

Alimentos botana, aceptabilidad y nutrición humana
Ricardo Omar Navarro Cortez, Javier Castro Rosas, Ernesto Aguilar Palazuelos, Jesús Rodríguez Miranda, Hiram Medrano Roldán, Efrén Delgado Licon, Otilio A. Acevedo Sandoval, Carlos Alberto Gómez Aldapa 177

Potencial nutricional de la semilla de calabaza (*Cucurbita pepo*)
Betsabé Hernández Santos, Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Alberto J. Gordillo Martínez, Javier Castro Rosas, Carlos Alberto Gómez Aldapa, Erasmo Herman y Lara, Jesús Rodríguez Miranda 191

La miel de abeja: su importancia, usos, características y beneficios
Cesar Hernández-Barraza, Jorge Loredo Osti, Jorge Adame Garza 213

La alimentación del futuro
Frida Carmina Caballero Rico, Rocío Margarita Uresti Marín, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León 225

La competitividad en el sector vitivinícola mexicano
Alejandra Vera González, Karla María Nava Aguirre, Javier Hernández Treviño, Dario Hernández Fernández del Campo 237

Sección 2. Alimentos Funcionales

Microbiota intestinal, importancia en la salud y modulación mediante el consumo de prebióticos
Gabriela Ramos Clamont Montfort, Luz Vázquez Moreno 251

Probióticos en alimentos: efecto terapéutico y uso de proteínas de la leche como vehículos encapsulantes para mantenerlos viables
Gabriela Ramos Clamont Montfort, Octavio Antonio Alvarado Reveles, Alma Mireya Hugues Ayala, Luz Vázquez Moreno 279

Infusiones utilizadas en México para el control de la obesidad y sus complicaciones
Claudia Ivette Gamboa Gómez, Minerva Ramos Gómez, Guadalupe Flavia Loarca Piña, Sandra Olimpia Mendoza Díaz, Rosalía Reynoso Camacho 301

Fitoestrógenos dietarios y sus beneficios potenciales en enfermedades crónicas
María de Lourdes Gutiérrez Coronado, Ana Isabel Valenzuela Quintanar, María del Refugio Robles Burgueño, Susana Alejandra Palma Durán, Graciela Caire Juvera, Melissa María Campa Siqueiros, Karina María Chávez Siqueiros 319

Estudio de los componentes activos de la zarzamora (*Rubus spp.*) y su implicación en la salud
Araceli Castañeda Ovando, Elizabeth Contreras López, Judith Jaimez Ordaz, Javier Añorve Morga, Juan Ramírez Godínez, Luis Guillermo González Olivares 339

Propiedades funcionales del higo (*Ficus carica*) variedad Black mission, cultivado en ciudad Lerdo, Durango
Miguel Aguilera Ortiz, María del Carmen Reza Vargas, Patricia Ramírez Baca, María Guadalupe Candelas Cadillo, Jorge Armando Meza Velázquez, Juan Ramón Esparza Rivera 355

El maíz azul (*Zea mays*), cultivado en la Comarca Lagunera como fuente de biocolorantes
Miguel Aguilera Ortiz, María del Carmen Reza Vargas, Patricia Ramírez Baca 373

Biopolímeros utilizados en recubrimientos y películas comestibles: tendencias recientes
Carolina Hernández Lozano, Laura Eugenia Pérez Cabrera, Alberto Tecante Coronel, María Magdalena Ramírez Gómez 393

Huitlacoche: un alimento funcional
Karla Yuritzi Amador Rodríguez, Fidel Guevara Lara, Laura Eugenia Pérez Cabrera, Francisco Aníbal Posadas del Río 415

Las bacterias lácticas como probióticos en humanos
Eva María Santos López, Irais Sánchez Ortega, Armida Zúñiga Estrada 435

Péptidos bioactivos de fuentes vegetales y animales
Aurea Bernardino Nicanor, Cristina Pérez Pérez, María de los Angeles Vivar Vera, José Luis Montañez Soto, Leopoldo González Cruz 455

Propiedades nutricionales del fruto del noni (Morinda citrifolia L.) y su efecto sobre la salud
Alejandro Sánchez Varela e Isabel Cristina Rodríguez Luna 469

Sección 3. Inocuidad alimentaria

Enfermedades transmitidas por alimentos marinos
Nathaly Montoya Camacho, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Enrique Márquez Ríos, Abril Zoraida Graciano Verdugo, Cesar Benjamín Otero León, Dalila Fernanda Canizales Rodríguez, Francisco Javier Castillo Yáñez 487

Importancia y control de aminas biogénicas en los alimentos
Luz Adriana García de la Riva, María Cristina Cueto Wong, Gabriela Ramos Clamont Montfort, Nagamani Balagurusamy, Silvia Guadalupe Fernández Michel 509

Aspectos de los procedimientos de muestreo para determinar la inocuidad de los alimentos
María Isabel Silveira Gramont, Fabiola Grabiela Zuno Floriano, María Lourdes Aldana Madrid 535

Biotransformación del arsénico inorgánico en niños del sur de Sonora
María Mercedes Meza Montenegro, José de Jesús Balderas Cortés, Iram Mondaca Fernández, Roberto Rodríguez Ramírez 557

Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre los alimentos de origen acuático: calidad e inocuidad
Ramón Gertrudis Valdez Melchor, Enrique Márquez Ríos, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Edgar Iván Jiménez Ruiz, Pablo Sergio Osuna Amarillas, Odilia Azucena Higuera Barraza 577

Neuropatías periféricas por consumo de plantas utilizadas como alimentos
Eduardo Rivadeneyra Domínguez, Alma Vázquez Luna, Rafael Díaz Sobac 591

Química cuántica: herramienta predictiva e interpretativa en la ciencia de los alimentos
Sergio Durand Niconoff, Alma Vázquez Luna, Rafael Díaz Sobac 607

Importancia de la inocuidad en productos hortofrutícolas
María de Lourdes Froto Madariaga, Luis Maconetzin Isidro Requejo, María Alejandra Chavira Zúñiga, Octavio Antonio Alvarado Reveles 621

Los modelos biofísico-socioeconómicos: una respuesta a la necesidad de una evaluación integral de la seguridad alimentaria
Jorge Alejando Adame Garza, César Arturo Hernández Barraza, Jorge Loredo Osti, David Gilberto López Cantú 643

Sección 1. Nutrición y Salud

La alimentación integral y su relación con la neurociencia

Rocio M. Uresti Marín, Frida Carmina Caballero Rico, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León

Resumen

La medicina y la dietética han demostrado que existe un nexo entre la alimentación y el rendimiento intelectual. El cerebro es la computadora de mayor capacidad de almacenamiento de información del mundo (280 trillones de bytes). Un cerebro bien nutrido desarrolla mucho mejor sus capacidades, es por ello que los hábitos alimentarios son un factor importante para mantener una buena salud física y mental. El cerebro consume 20% de la energía necesaria para mantener la vida. Las principales fuentes de energía de nuestro cerebro son los hidratos de carbono, el oxígeno y los lípidos (grasas). Para funcionar de manera óptima, el cerebro también necesita aminoácidos y una mezcla equilibrada de vitaminas, oligoelementos y compuestos fitoquímicos. Debido al papel especializado que tiene el cerebro en la generación de impulsos eléctricos, este órgano requiere un flujo importante de iones como el sodio, potasio, calcio, hierro y zinc. Una alimentación deficiente disminuye la capacidad de memoria y provoca trastornos de la concentración e influye en el estado emocional.

El rápido aumento en las tasas de sobrepeso y obesidad ha generado el desarrollo de estudios científicos en el área de la neurociencia para comprender la relación de la alimentación y los procesos neuronales. El consumo de energía mediante la ingesta de alimentos no solo es necesaria para la construcción saludable del cuerpo físico,

sino también, para asegurar el adecuado funcionamiento de todos los órganos. Por otra parte, el dejar espacio en el exceso de la ingesta alimentaria y la asombrosa capacidad de almacenamiento energético que tiene el ser humano y que se observa como obesidad, se han convertido en uno de los principales riesgos para la salud humana. Es por ello que se han desarrollado estudios recientes para relacionar las sensaciones, emociones y sentimientos con la actividad cerebral y la alimentación, buscando nuevo conocimiento que ayude a disminuir el riesgo de enfermedades ocasionadas por el proceso de la alimentación.

Palabras clave: alimentación, neurociencia, salud.

Introducción

En los últimos años, ha aumentado el interés científico y social en la relación entre la nutrición y el funcionamiento del cerebro, encontrándose indicios de que la dieta puede afectar el desarrollo cognitivo y el funcionamiento en las diferentes edades y etapas de la vida (por ejemplo, los fetos, neonatos, lactantes, niños pequeños, adultos y ancianos). Es importante una adecuada nutrición en el desarrollo físico, emocional, conductual, cognitivo y espiritual en los seres humanos desde su concepción.

Aunque todos los nutrientes son necesarios para el desarrollo neurológico, los estudios de investigación en modelos animales y poblaciones humanas muestran que ciertos nutrientes son particularmente importantes durante los primeros años (Van de Rest *et al.*, 2012). La primera infancia es la fase más importante para el desarrollo general durante toda la vida. El desarrollo de una conexión emocional temprana con un padre o tutor, para establecer un vínculo afectivo también es importante para el desarrollo cerebral y su función cognitiva. El desarrollo cerebral y biológico durante los primeros años de vida depende en gran medida del entorno del infante. Las experiencias en edades tempranas determinan la salud, la educación y los valores éticos y morales durante el resto de la vida (OMS, 2009).

La salud corporal y el buen funcionamiento del organismo, depende de una alimentación sana que suministre energía y los nutrientes necesarios para su construcción, mantenimiento y reparación. Una dieta equilibrada es la que proporciona los nutrientes necesarios en cantidades adecuadas para cada individuo de acuerdo a su sexo, metabolismo, etapa de vida y condición de salud, para el buen desarrollo y funcionamiento del cerebro y el organismo. La cantidad de energía que gasta un individuo es variable y depende de las diferentes necesidades calóricas obligatorias (metabolismo basal) y otras necesidades que dependen del estilo de vida y la actividad física que desarrolla.

La neurociencia

El término neurociencia es reciente, sin embargo el estudio del cerebro es tan antiguo como la ciencia. La revolución de la neurociencia se inició cuando la asociación de neurocientíficos profesionales, se dieron cuenta que para discernir el funcionamiento del cerebro se necesitaba un posicionamiento multidisciplinar, por lo que la unidad de estudio de la neurociencia como disciplina requiere de diferentes niveles de análisis, siendo un orden de complejidad ascendente: molecular, celular, sistémico, conductual, cognitiva emocional y espiritual.

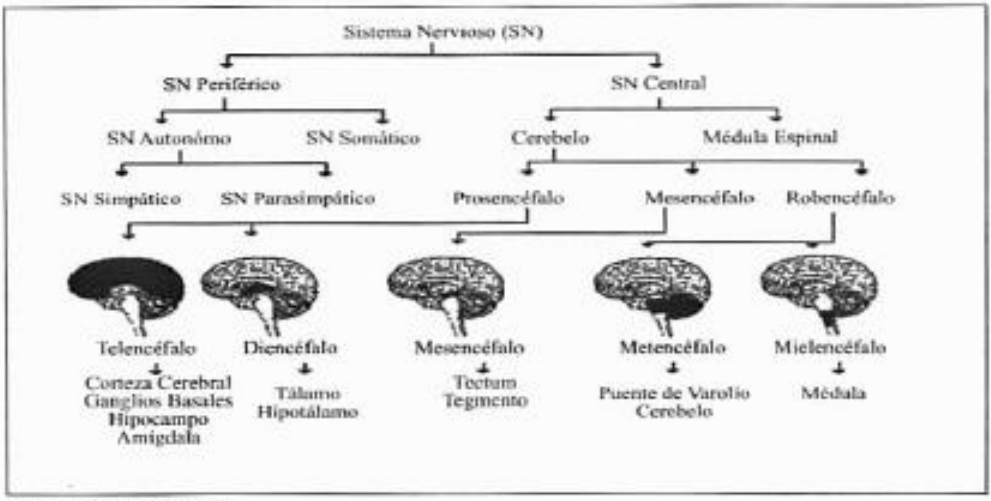
La neurociencia es el estudio del sistema nervioso, el cual es el rector y coordinador de todas las funciones, conscientes e inconscientes del organismo, incluyendo el cerebro, la médula espinal y las redes de neuronas, y es actualmente un área del conocimiento unificada que integra a la biología, la química y la física, con estudios de estructura, función y comportamiento, incluyendo procesos emocionales, cognitivos y espirituales del ser humano. Actualmente la neuroteología juega un papel muy importante en el estudio del cerebro (Newberg, 2010).

En la última década, varios científicos han especulado que el cerebro humano es responsable del fenómeno complejo y de múltiples áreas relacionadas con las experiencias espirituales y los estudios muestran que ciertas partes del cerebro desempeñan un papel más predominante en dichas experiencias (Johnstone *et al.*, 2012).

Los neurocientíficos estudian el funcionamiento del cerebro humano, para determinar cómo se desarrolla, madura y se mantiene a lo largo de la vida, para prevenir y curar las enfermedades, ya que todo el funcionamiento del organismo se relaciona con este órgano. La neurociencia se ha transformado en una ciencia multidisciplinaria reconocida en las últimas décadas (Soriano *et al.*, 2007).

El sistema nervioso es un conjunto de órganos constituidos por tejido nervioso que controlan las funciones del organismo. Las dos primeras divisiones principales del sistema nervioso son el sistema nervioso periférico (SNP), constituido por los sistemas nerviosos autonómico y somático y el sistema nervioso central (SNC), compuesto por el cerebelo y la médula espinal (figura 1), que es donde residen todas las funciones superiores del ser humano, las instintivas, emocionales, cognitivas y espirituales.

Figura 1. Sistema Nervioso y Áreas del cerebro



Fuente: Mandal (2011).

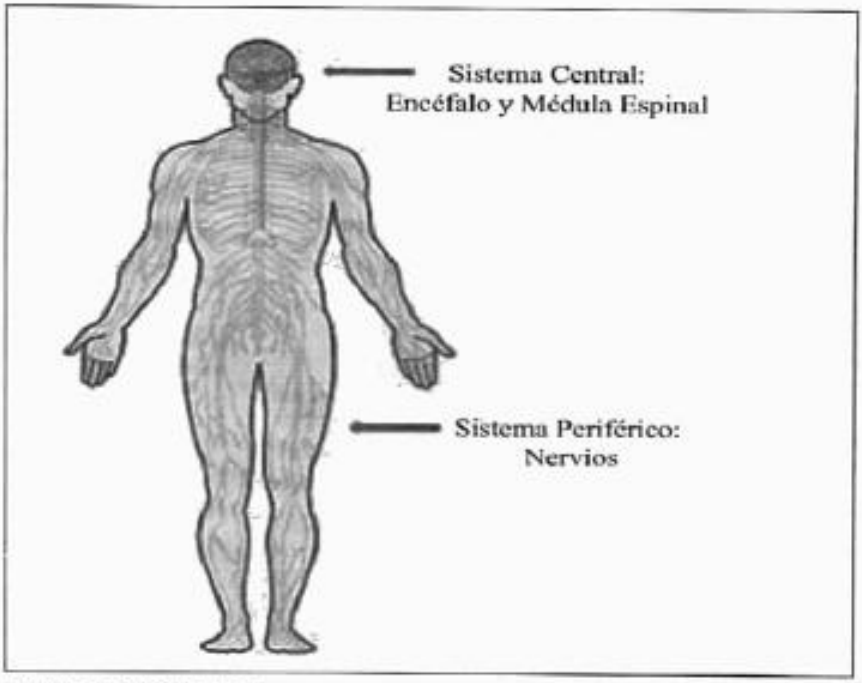
El sistema nervioso central, atiende y satisface las necesidades vitales. Ejecuta tres acciones esenciales, que son la detección de estímulos, la transmisión de información y la coordinación general. El SNP está formado por los nervios craneales, que nacen en el encéfalo y los nervios raquídeos, que nacen en la médula espinal (figura 2). Una parte de estos nervios lleva impulsos nerviosos hasta el SNC, mientras que otras partes transportan los impulsos que salen del SNC. El SN autónomo es responsable junto con el resto del cerebro, del mantenimiento de la función corporal basal, ya que controla las acciones involuntarias y se divide en simpático y parasimpático, el primero está asociado con la psicopercepción de un estímulo de carácter emocional no neutro y el segundo es responsable de mantener la homeostasis (Koenig, 1998).

Los nervios que emergen del encéfalo y de la médula espinal y que se distribuyen por todo el cuerpo son:

- *Nervios craneales.* Van del cerebro a los ojos, boca, oídos y otras partes de la cabeza.
- *Nervios centrales.* Se encuentran en el cerebro y la medula espinal.
- *Nervios periféricos.* Van de la medula espinal a los brazos, manos, piernas y pies.

- *Nervios autónomos.* Van de la médula espinal a los pulmones, corazón, estomago, intestinos, vejiga y órganos sexuales.

Figura 2. Sistema nervioso del ser humano



Fuente: elaboración propia.

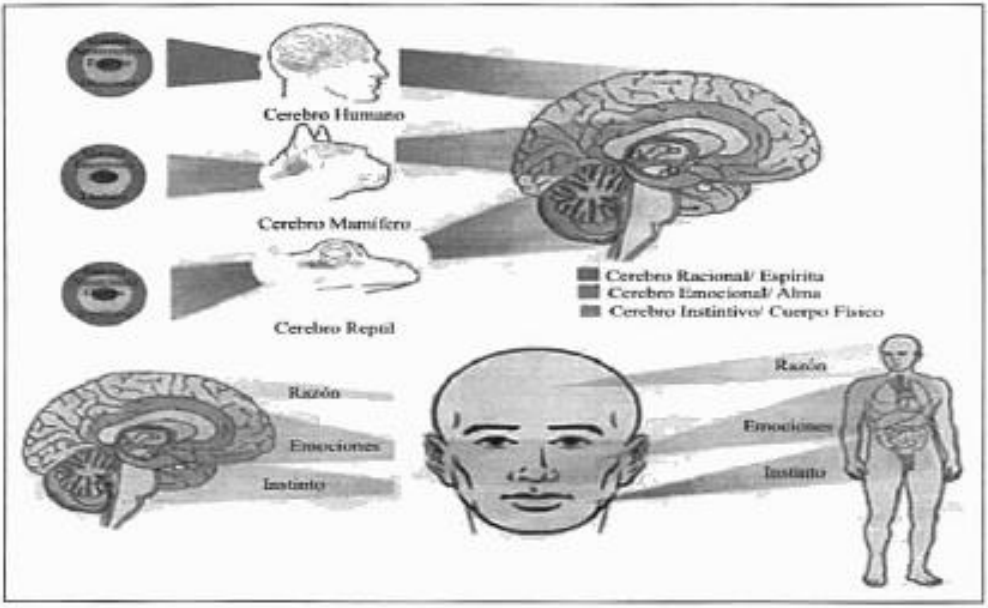
El encéfalo

El encéfalo es una masa nerviosa conocida como el centro del control del cuerpo, en la que existen alrededor de 100 mil millones de neuronas que organizan y examinan la información entrante y guían el cuerpo en una infinita variedad de acciones. Las tres partes principales del encéfalo son: cerebro, cerebelo y bulbo raquídeo. La función principal del cerebelo es integrar las vías sensitivas y motoras y la función primordial del bulbo raquídeo es regular el funcionamiento del corazón y de los músculos respiratorios.

El cerebro trino

El doctor Paul Mclean en 1994, desarrolló un modelo denominado el cerebro trino (figura 3). Este científico descubrió tres estructuras o sistemas cerebrales: básico, límbico y la neocorteza. El modelo de cerebro trino plantea que el cerebro está conformado por 3 sistemas neurales interconectados y que cada uno de estos sistemas tiene una acción o inteligencia específica, las cuales están relacionadas en función del proceso de evolución y del desarrollo de cada uno de los sistemas neurales. Cada una de estas funciones tiene relación con las diversas partes del cuerpo humano y con funciones psíquicas y psicológicas específicas de su ser.

Figura 3. Cerebro trino y su relación con el ser completo



Fuente: Modificado del Blog Psyqué http://mylene-rivas.blogspot.mx/search?updated-max=2012-11-01T15:53:00-04:30&max-results=7; consultado el 15 de septiembre del 2012.

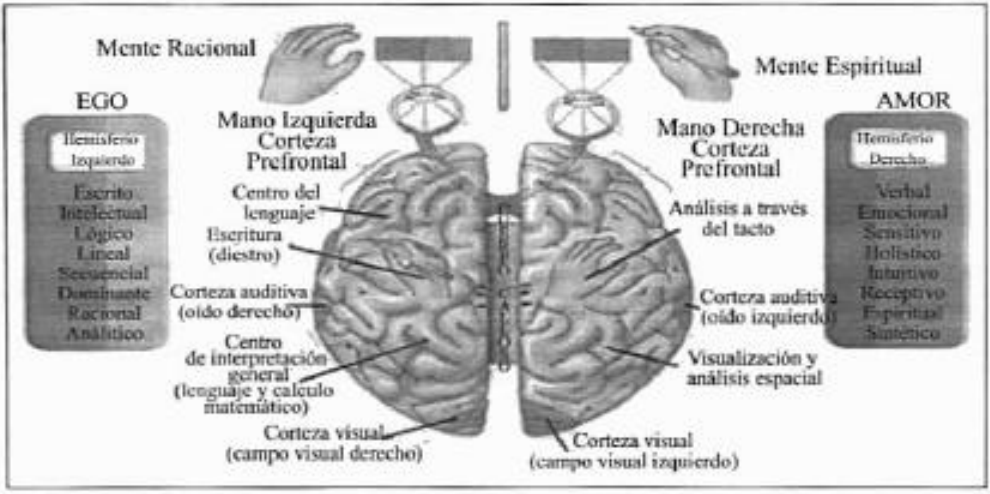
Sistema básico o Reptil. Este sistema controla los instintos (sensaciones), se encuentra presente en forma dominante en los reptiles, ya que son las especies con el menor desarrollo del cerebro. Este sistema está diseñado para manejar la supervivencia desde un sistema binario: huir o pelear, con muy poco o ningún

proceso sentimental. Tiene un papel muy importante en el control de la vida instintiva. Se encarga de autorregular el organismo. En consecuencia, este cerebro no está en capacidad de pensar, ni de sentir; su función es la de actuar, cuando el estado del organismo así lo demanda.

Sistema Límbico. Este sistema genera emociones, reacciones y acciones impulsivas. Está constituido por seis estructuras: el tálamo (placer-dolor), la amígdala (nutrición, oralidad, protección, hostilidad), el hipotálamo (cuidado de los otros, características de los mamíferos), los bulbos olfatorios, la región septal (sexualidad) y el hipocampo (memoria de largo plazo). En estas zonas están las glándulas endocrinas más importantes para el ser humano: pituitaria (directora del sistema bioquímico del organismo) y pineal (productora de melatonina). Trabaja en sintonía con el cerebro reptil. El sistema límbico está en constante interacción con la corteza cerebral. Toda información sensorial es filtrada por este sistema antes de pasar a la neocorteza. Una transmisión de señales de alta velocidad permite que el sistema límbico y la neocorteza trabajen juntos, y esto explica que se pueda tener control sobre las emociones.

Sistema Neocorteza. Se compone de la materia que contiene células neuronales y fibras amielínicas, que rodea la materia blanca más profunda (axones mielinizados) en el cerebro. Es el lugar donde se llevan a efecto las funciones cerebrales superiores exclusivas del hombre, las cuales son: praxias (saber hacer), gnosias (saber reconocer), y lenguaje. Es aquí donde se desarrolla el aprendizaje de un individuo. Consta de dos hemisferios que rigen cada una las funciones de la mitad contraria del cuerpo. Esto se debe a que los nervios se entrecruzan en la médula espinal. Los hemisferios son similares en estructura pero no en funciones. El cuerpo calloso que se encuentra entre los dos hemisferios sirve para filtrar y transmitir los mensajes (figura 4). Cada hemisferio se divide en cuatro lóbulos: el lóbulo frontal, el lóbulo parietal, el lóbulo occipital y el lóbulo temporal (figura 5). Este sistema da la capacidad de aprendizaje y razonamiento para identificar, reconocer y manejar las emociones adecuadamente, sin la impulsividad que caracteriza al cerebro límbico. Se puede identificar el uso de las tendencias cerebrales, de los hemisferios izquierdo o derecho, en cada persona, observando el comportamiento de personas inflexibles o flexibles, rígidas o permisivas, impositivas o participativas. Lo ideal es evolucionar aprendiendo para armonizar las diferentes estructuras cerebrales y mantener una calidad de vida sana.

Figura 4. Hemisferios cerebrales

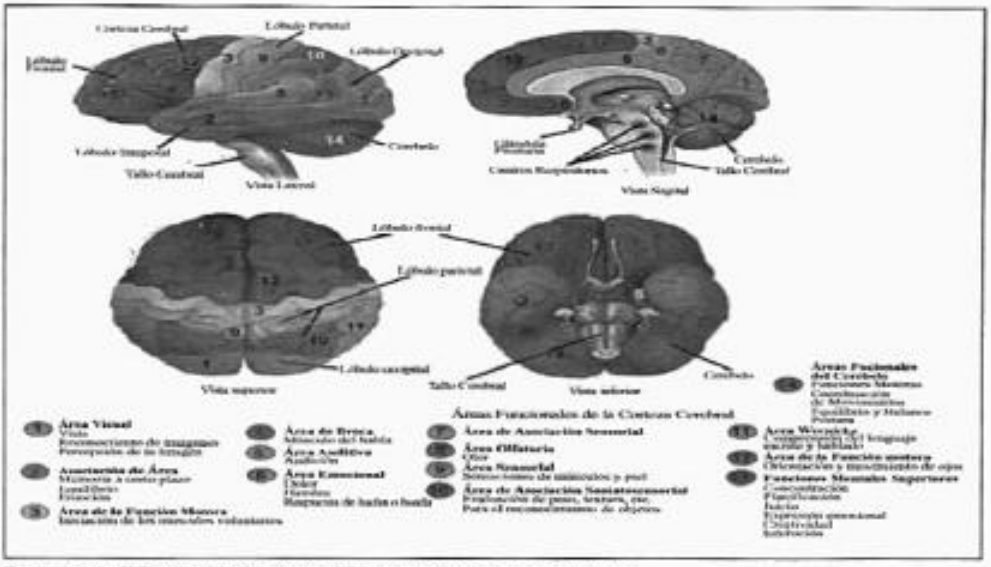


Fuente: Disponible en http://maquina-perfecta.tecnicos24h.com/hemisferios-cerebrales; consultado el 15 de septiembre del 2012.

Se necesitan entre 10 o 12 años para el desarrollo total del cerebro. La maduración estructural de las regiones cerebrales individuales y sus vías de conexión son necesarias para el buen desarrollo de habilidades cognitivas, motoras y funciones sensoriales (Paus *et al.*, 1999). Estudios anatómicos han demostrado que la materia blanca aumenta linealmente a lo largo de la infancia y la adolescencia, mientras que la materia gris cortical y subcortical aumenta en el período pre-adolescente y posteriormente disminuye en la etapa post-adolescente. Se ha especificado que estos cambios son de carácter regional y que la corteza prefrontal (CPF) es una de las últimas zonas en madurar (Gómez-Pérez *et al.*, 2003). La etapa de mayor vulnerabilidad que afecta el comportamiento, en el desarrollo del cerebro es la adolescencia, ya que es una etapa de toma de decisiones con procesos cerebrales inmaduros y reacciones inconscientes, que pueden desarrollar psicopatologías, como la promiscuidad, anorexia o bulimia. La pubertad es un período de desarrollo intrínsecamente relacionado con el tiempo y la exposición a las gónadas (hormonas en el cerebro). La mayor cantidad de mielina, que es la sustancia grasosa que permite a los mensajes pasar rápidamente sin perder información, se libera en la adolescencia, eso justifica la capacidad de aprendizaje de los adolescentes (Asato *et al.*, 2010). En esta etapa se requiere educar y enseñar al adolescente sobre los valores humanos para mantener una calidad de vida aceptable, valores religiosos (fe, esperanza, amor), morales (dig-

nidad, dominio propio), éticos (honradez, verdad, justicia), son indispensables para mantener la salud.

Figura 5. Anatomía y áreas funcionales del cerebro

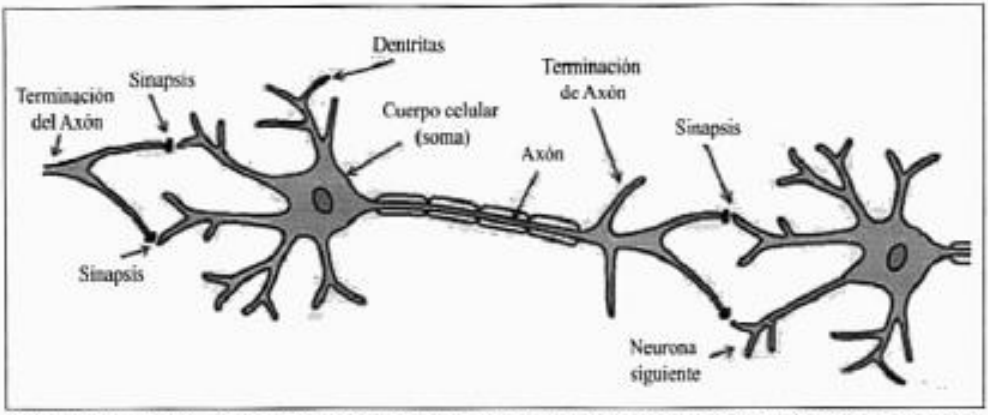


Fuente: Modificada de The Scientific & Medical Art. Imagebase.

Las neuronas son un tipo de células del sistema nervioso, especializada en la recepción de estímulos, tienen dos tipos de trasmisiones, la eléctrica, cuya función principal es la propagación del potencial de acción (impulso o señal nerviosa) a través del axón y la transmisión química, con la capacidad de la liberación de neurotransmisores al medio externo a otras neuronas o a células efectoras para inducir una respuesta (figura 6). Existen 3 grupos de neuronas: sensitivas, motoras y asociativas (Pulvermüller, 2002). Los neurotransmisores se forman gracias a nutrientes, específicamente aminoácidos, péptidos y aminas, los cuales determinan el crecimiento del cerebro y su actividad. Los neurotransmisores se pueden clasificar en colinérgicos, adrenérgicos depresores y estimulantes. La mayoría de las neuronas no se dividen una vez alcanzada su madurez; no obstante, una minoría sí lo hace, para funcionar a un nivel óptimo. En la sobreproducción de neuronas puede permitirle inicialmente al cerebro tener una capacidad máxima para responder al ambiente y formar múltiples conexiones, por medio de los transmisores, posteriormente durante

el desarrollo, las neuronas o sinapsis que no reciben estimulación se eliminan, con lo cual se logra un mayor grado de especialización por medio del refinamiento de las conexiones sinápticas (Huttenlocher y Dabholkar, 1997).

Figura 6. Estructura anatómica de la neurona



Fuente: Modificada, disponible en http://mincuronia.blogspot.mx/2011/04/psicofarmacologia-para-dummies-parte-i.html; consultada el 15 septiembre del 2012.

Los tres órganos que contienen neuronas son el estómago, el corazón y el cerebro. El sistema digestivo (las entrañas), contiene una red de neuronas que influye en el estado de ánimo, carácter y ritmo del sueño y que funcionan en conexión con el cerebro reptiliano. El bienestar emocional está relacionado con los mensajes que el intestino envía al cerebro (Gershon, 1998). El corazón contiene una red compleja de varios tipos de neuronas y neurotransmisores, similares a las del cerebro, esto le permite actuar independientemente del cerebro, para gestionar y procesar la información y aprender, recordar y sentir. Contiene 40,000 neuronas llamadas axones sensoriales (Armour, 1994).

LeDoux (1996), encontró un pequeño haz de neuronas que conduce directamente desde el tálamo hasta la amígdala, esta vía permite a la amígdala recibir algunas entradas directas de los sentidos y comenzar una respuesta antes de que se registre en la neocorteza. Anatómicamente, el sistema emocional puede actuar independiente de la neocorteza. Algunas reacciones y memorias emocionales, pueden formarse sin la participación consciente o cognitiva. Las emociones son una respuesta a la información que se recibe del medio externo por medio de los sentidos, y pueden ser positivas o negativas y estas pueden ser procesadas inconsciente, subcons-

ciente o conscientemente. El inconsciente es la fuente del instinto y de la supervivencia, es una especie de piloto automático. El subconsciente, que se genera en el alma por medio de un proceso de enseñanza-aprendizaje y guarda una memoria del conocimiento que se obtiene desde los sentidos y abarca del pasado al presente. El consciente se ubica en la neocorteza y asume todo lo que es racional; en él se genera la conciencia, con un intelecto más elevado lógico, analítico, abstracto y verbal (tabla 1). En el consciente se desarrolla la voluntad de actuar de forma más responsable y de dominar los instintos y las emociones negativas, para crear sentimientos positivos y un espíritu puro. Las conductas dañinas de hábitos alimentarios regularmente son desarrolladas por falta de conciencia y de baja autoestima y son sumamente difíciles de modificar, ya que están relacionadas con la falta de equilibrio psicológico, cognitivo y espiritual. Según el libro Las conexiones ocultas de Vandana y Capra (2002), existen dos tipos de conciencia:

1. Conciencia Primaria: es animal, primitiva, realiza procesos cognitivos acompañados de experiencias perceptivas, sensoriales y emocionales básicas.
2. Conciencia de Orden Superior: es la del ser humano pensante y reflexivo, de sí mismo, es la capacidad de mantener imágenes mentales y formular a partir de allí valores, creencias, objetivos y estrategias. La iglesia católica considera que la conciencia es la voz de Dios en el corazón.

Tabla 1. Sistema cerebral y su relación con factores que componen al ser humano

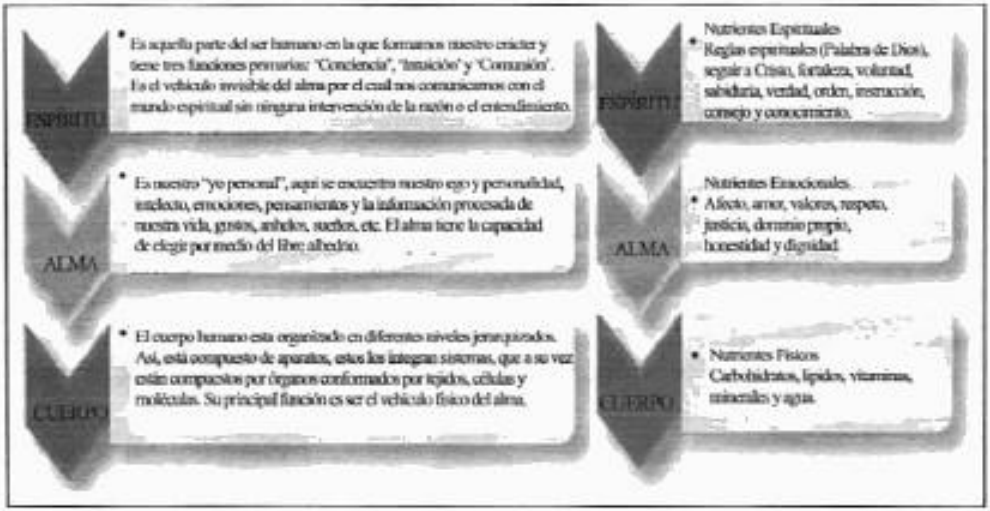
Área	*Sistema Cerebral*	*Órgano*	*Mente*	*Personalidad*	*Asiento*	*Receptor Sensorial*	*Respuesta Sensorial*	*Tiempo Mente*
Cuerpo	Básico o reptil	Estomago	Inconsciente	Visceral	Instintivo	Nariz, piel	Sensaciones	Presente
Alma	Límbico o de mamífero	Corazón	Subconsciente	Emocional	Emotivo	Ojo, boca	Emociones Conciencia primaria	Pasado Presente
Espíritu	Neocorteza	Cerebro	Consciente	Intelectual	Cognitivo	Oído	Sentimientos Conciencia de orden superior	Futuro Pasado Presente

Fuente: elaboración propia.

La alimentación integral

La alimentación integral de un individuo debe nutrir al espíritu, alma y cuerpo, ya que el desarrollo del un ser humano, requiere un alimento específico para cada área. En el desarrollo saludable se requieren nutrientes específicos (figura 7).

Figura 7. El ser humano y la alimentación integral



Fuente: Uresti *et al.* (2011).

Para desarrollar el espíritu como una parte del ser humano, se debe de nutrir con la enseñanza de la Palabra de Dios. El hombre no sólo vive de pan, sino que vive de todo lo que procede de la boca de Dios (Deuteronomio 8:3). La vida espiritual tiene gran similitud a la vida física, en cuanto a la alimentación (la leche materna, las papillas finalmente la comida sólida), se requiere de igual forma desarrollar el espíritu para alcanzar la madurez espiritual y llevar una vida digna saludable.

Las etapas del alimento espiritual son las siguientes:

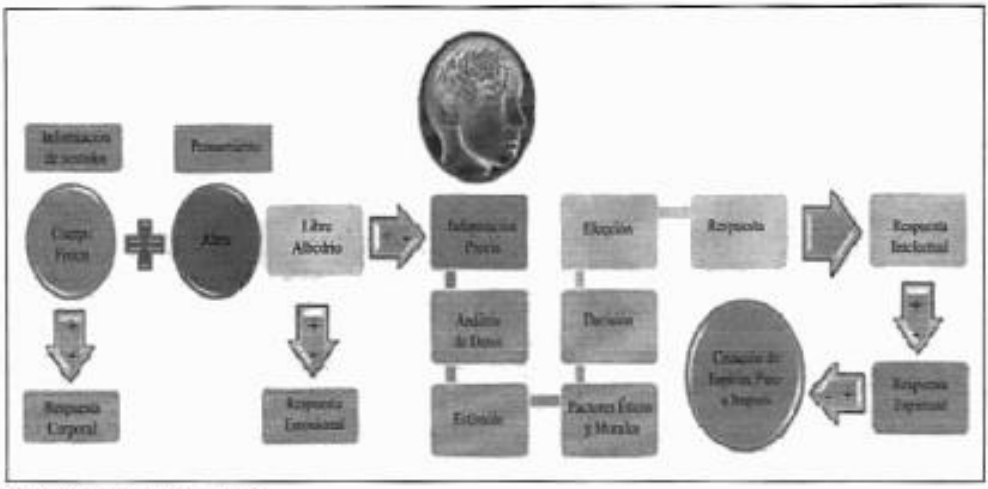
1. La Leche espiritual: Se alimenta el espíritu con la leche pura de la palabra de Dios para crecer para salvación (1 Pedro 2:1-2), para comenzar a comprender el plan de Dios para la humanidad. Al principio es algo fácil de digerir, comenzando por la fe, siguiendo los mandamientos, ya que es un proceso de aceptación que requiere esfuerzo para llegar al pleno conocimiento de la verdad.

2. El Pan Espiritual: Ya se está preparado para digerir un alimento diferente. Es cuando se tiene voluntad, sabiendo que tiene cuatro ramas que son el bien y el mal, la vida y la muerte, y el libre albedrío consiste en seguir los mandamientos de Dios (Eclesiástico 37:17-18), el pan fortalece el espíritu y se busca no solo leer la palabra de Dios sino que se va desarrollando el entendimiento espiritual y se va formando el espíritu de sabiduría, para esforzarse en cumplir los mandamientos y estar preparado para el nacimiento espiritual, ya que es importante estudiar la ley de Dios (Eclesiástico 39:1). El comienzo de la Sabiduría es el deseo sincero de instruirse y tener deseos de instruirse es amar la sabiduría y cumplir las leyes (Sabiduría 6:17-18).
3. El Alimento Sólido Espiritual: Se toma este alimento cuando se practican los valores religiosos y se tiene un entendimiento superior sobre la palabra de Dios, y se utiliza para ayudar a los demás a seguir por el camino correcto de la vida, evitando cometer errores. Se puede observar en una persona que fue bien alimentada cuando se muestra el fruto del espíritu en la fe, amor, gozo, paz, paciencia, benignidad, bondad, fidelidad, mansedumbre y dominio propio (Gálatas 5:22-23).

La educación espiritual se discierne solo espiritualmente. Los niños comienzan a nutrir su espíritu una vez que los padres bautizan en la fe a sus hijos y reciben el alimento espiritual como leche en la etapa de niñez, el amor, el afecto y el cuidado son fundamentales en la enseñanza de la vida espiritual, el ejemplo y el testimonio que dejan los padres en sus hijos es la semilla de la fe y la comprensión de seguir las leyes divinas, en lo personal, familiar y social. Después, cuando son pre-adolescentes, con el cambio del desarrollo cerebral, los niños dejan de ser espirituales para evolucionar emocionalmente hacia el razonamiento, aquí se comienza el alimento como pan y la asistencia a la iglesia donde escuchan la palabra y comprenden mas el plan de Dios. Aunque no alcanzan a comprender completamente, se va fortaleciendo el espíritu para dominar su instinto y crear un espíritu de dominio propio, con la comunión del espíritu santo y en la adolescencia se aplica a la vida diaria, el conocimiento adquirido. Es importante que los jóvenes nutran su espíritu con la palabra de Dios para que adquieran sabiduría para vivir dignamente, se mantengan siendo honestos y mantengan la conciencia limpia para crear un espíritu puro que les permitirá tener salud (figura 8). Una vez que los jóvenes confirman su fe es importante permanecer en "gracia" (sin pecado y con salud), para comer el cuerpo de Cristo en santidad y este sea el alimento físico-espiritual de la promesa y recordatorio del nuevo pacto, que permite cumplir con la voluntad de Dios. La enseñanza de Santo Tómas de Aquino que afirma que los Sacramentos de la Iglesia Católica Apostólica

y Romana son signos rememorativos de la pasión de Cristo, demostrativos de la vida en "gracia" y pronóstico de la gloria futura. Los tres primeros sacramentos de iniciación cristiana (católica), son: bautismo, confirmación y eucaristía y vienen a ser el inicio de la vida nueva (espiritual), como don de la adopción divina y participación en la naturaleza de Dios, unidos en espíritu a los que cumplen la voluntad de Dios, que ayuda a vivir más plenamente con fe en las promesas divinas, generando optimismo, fe, esperanza y amor al prójimo en el ser humano (Uresti *et al.*, 2011).

Figura 8. Factores que intervienen en la creación del espíritu



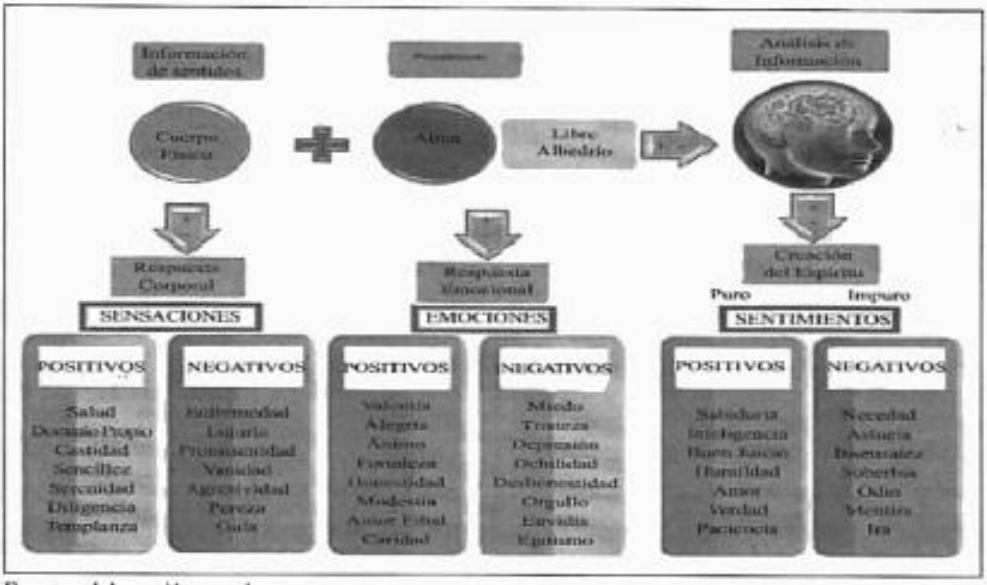
Fuente: elaboración propia.

Alimentación emocional

La real academia de la lengua española define la emoción (del lat. *emotĭo,-ōnis*), como la alteración del ánimo intensa y pasajera, agradable o penosa, que va acompañada de cierta conmoción somática. Las emociones son mensajeros químicos que proyectan y unen las neuronas del sistema nervioso, de acuerdo con las respuestas o pensamientos interpretativos que se dan en cada contexto. Dos áreas del cerebro están asociadas con la activación emocional: la amígdala y la corteza insular. Las emociones son las que controlan el comportamiento y son las que crean las conexiones sinápticas entre neuronas. En psicología se define como aquel sentimiento o percepción de los elementos y relaciones de la realidad o la imaginación, que se expresa físicamente

mediante alguna función fisiológica como reacciones faciales, pulso cardíaco, reacciones de conducta agresiva o llanto. Las emociones son materia de estudio de la psicología, las neuro-ciencias, y más recientemente la inteligencia artificial. La forma en que se recibe la información, influye en la respuesta (negativa o positiva) de la emoción que se experimenta, la cual creará un sentimiento o espíritu bueno o malo (figura 9). Se han realizado estudios sobre la capacidad de regular las emociones y se encontró que resulta efectiva la reconsideración cognitiva. El Alimento del Alma es el afecto, el amor filial, el respeto que se recibe para responder con emociones positivas y comprensión de parte de los demás.

Figura 9. El ser humano y su libre albedrío



Fuente: elaboración propia.

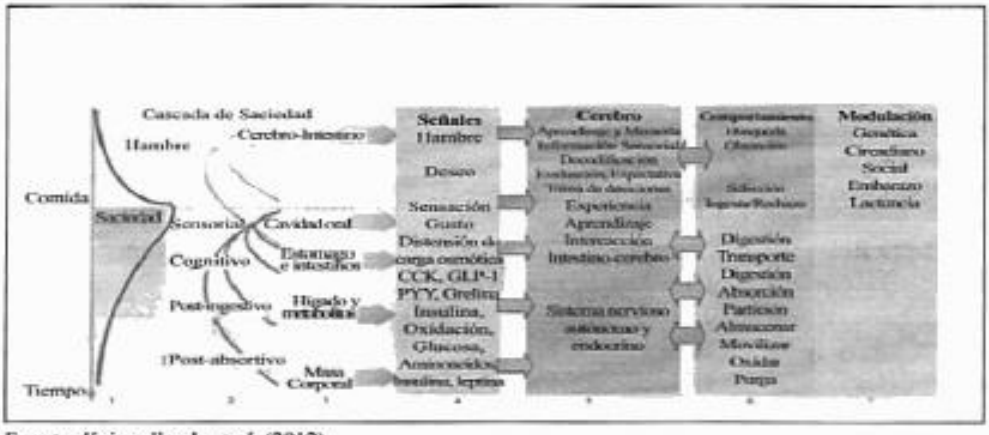
Las deficiencias en la regulación de las emociones parecen ser relevantes para el desarrollo, mantenimiento y tratamiento de varias formas de psicopatología. Existe evidencia científica de la incapacidad de afrontar emociones difíciles y la relación con la depresión, los trastornos alimenticios, el trastorno límite de la personalidad, consumo de sustancias, trastornos somatomorfos, y una variedad de otros síntomas psicopatológicos (Berking y Wupperman, 2012). La calidad de vida de un adulto dependerá del nivel educativo que tenga, entre más conocimiento sobre los estilos de

vida saludable, y el desarrollo de la inteligencia emocional, podrá discernir y elegir las mejores decisiones para mantener la conciencia limpia y mantenerse saludable.

Alimentación corporal

Ya que la alimentación del cuerpo físico se desarrolla en un proceso global, Kringelbach *et al.* (2012), desarrollaron un modelo multinivel para una mejor comprensión del ciclo completo de la conducta alimentaria basada en la demostración de las redes del cerebro y los mecanismos implicados durante todo el proceso del comer. Unieron los mecanismos de recompensa subyacentes del apetito, el gusto y el aprendizaje y de cómo se conduce la ingesta de alimentos, ya que el proceso se rige por dos principios: el homeostático y hedonista. Se describen cinco de los principios de procesamientos principales que controlan la ingesta de alimentos: el hambre y el procesamiento de señales atencionales, la motivación independiente del proceso discriminativo; representaciones de recompensa, el aprendizaje que depende de las representaciones sensoriales multimodales y la experiencia hedónica. En general, la evidencia muestra que la ingesta humana de alimentos es muy compleja. Existen progresos en la comprensión de los mecanismos subyacentes sobre las redes cerebrales del ciclo del placer del consumo de alimentos, ya que son notablemente similares a las que subyacen en el proceso de otras recompensas (figura 10).

Figura 10. Modelo multinivel para la cascada de la saciedad-sensación



Fuente: Kringelbach *et al.* (2012).

En el modelo multinivel para la cascada de la saciedad/sensación involucrados en el control de la ingesta de alimentos (figura 10). De izquierda a derecha, las columnas de un resumen de los cambios episódicos y tónico a través del tiempo: los cambios antes, durante y después de las comidas en: *1)* Los niveles de hambre. *2)* La saciedad/sensación de saciedad en cascada (sensorial, cognitiva, después de la ingestión y las señales de post-absorción). *3)* El origen de las señales (intestino-cerebro, cavidad oral, estómago y los intestinos, el hígado y los metabolitos y la masa corporal). *4)* Portan la señal. *5)* Los procesos cerebrales. *6)* Cambios en el comportamiento, incluido el sistema digestivo. *7)* Factores moduladores generales.

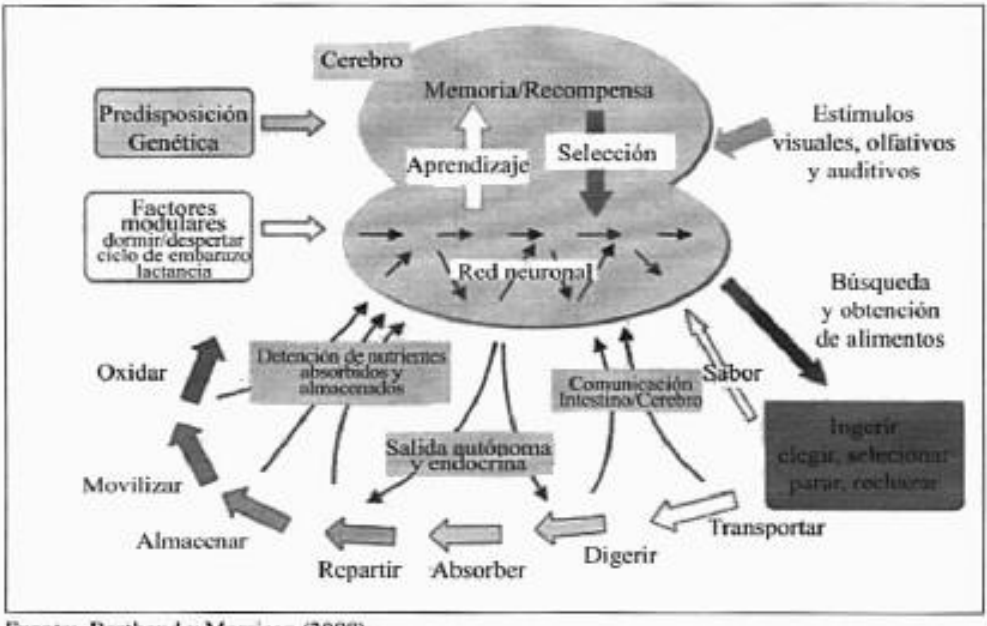
Tipos de factores en el proceso de la alimentación

Un enigma que ha sido parte de la existencia humana desde sus orígenes, se basa en el proceso y los factores de la alimentación. La ingesta de alimentos y el gasto energético están controlados por sistemas neuronales complejos, redundantes y distribuidos, que reflejan la importancia biológica fundamental de un suministro adecuado de nutrientes y el balance energético (figura 11). En la regulación del gasto energético y de la ingesta participan el sistema nervioso, el sistema digestivo y el adiposito que es una célula altamente diferenciada con tres funciones: almacén, liberación de energía y metabolismo endocrino. Existen avances científicos relevantes en el conocimiento de la identificación de los diversos mecanismos hormonales y neuronales, mediante el cual el cerebro se informa sobre la disponibilidad de los nutrientes ingeridos, del almacenamiento en el organismo y a su vez, de la generación de la conducta autonómica, y la salida endocrina. Mientras que el hipotálamo y el tronco cerebral caudal, juegan un papel crucial en esta función homeostática, las áreas de la corteza y el sistema límbico son importantes para el procesamiento de información con respecto a la experiencia previa con los alimentos, la recompensa, y la emoción, así como el contexto social y ambiental. La mayoría de los vertebrados pueden almacenar una cantidad considerable de energía en forma de grasa para su uso posterior, y esta capacidad se ha convertido en uno de los principales riesgos para la salud (Berthoud y Morrison, 2008).

El ser humano es un organismo heterótrofo, que obtiene sus alimentos del medio ambiente, por lo que requiere de un sistema muy bien organizado que regule la ingestión de alimentos, el mantenimiento del balance energético y la conservación del peso corporal, procesos en los que la conducta alimentaria juega un papel muy importante (figura 11). Las conductas alimentarias están reguladas por mecanismos automáticos mediados por el sistema central. Desde hace tiempo se reconoce

al hipotálamo como el lugar donde radican los centros del hambre y la saciedad (Feijo *et al.*, 2011), pero es a través de la corteza cerebral donde se establecen mecanismos mucho más complejos relacionados con la alimentación.

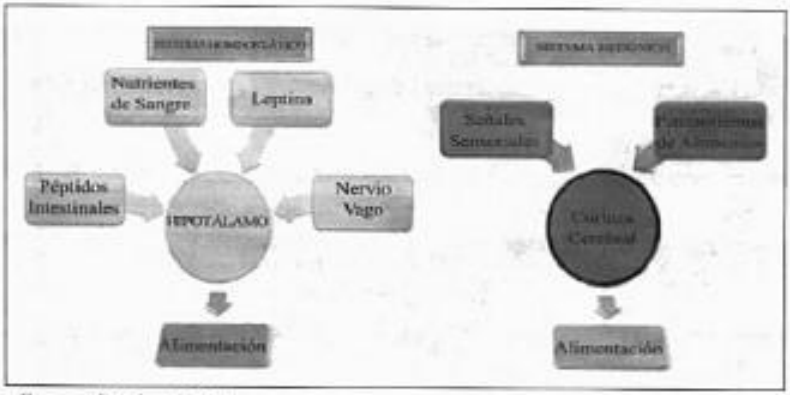
Figura 11. Diagrama de flujo general que ilustra los principales factores y mecanismos que determinan el control del comportamiento ingestivo y el equilibrio energético



Fuente: Berthoud y Morrison (2008).

Existen dos sistemas paralelos para la conducción de la ingesta de alimentos: una *homeostática* que responde a las señales de energía del cuerpo, que se transmite principalmente a través del hipotálamo y una *hedónica,* que se desarrolla en la corteza cerebral, en el que las señales de comida (olores, pensamientos, visualización de alimentos) tienen la capacidad de estimular el apetito en la ausencia de necesidad metabólica. El estómago es un órgano altamente regulado con complicados mecanismos de control neuronal y hormonal. La presencia de alimentos ingeridos son detectados por una variedad de mecanismos de terminales sensoriales aferentes vagales (figura 12).

Figura 12. Modelo simple de comportamiento de alimentación



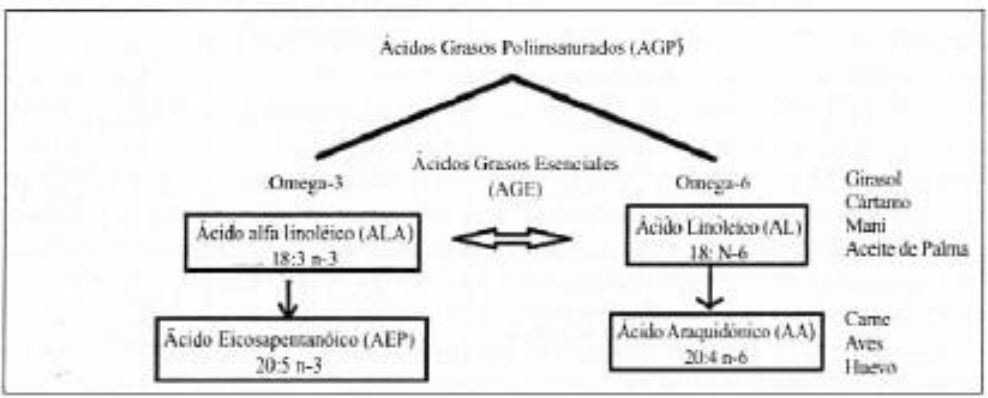
Fuente: Dagher (2010).

Desde una perspectiva termodinámica, la energía ingresa al organismo como comida y se transforma en forma de calor o trabajo. La generación de calor se explica porque muchas reacciones del metabolismo energético son exotérmicas. Dentro de la alimentación del cuerpo humano, el hambre, la saciedad y el balance energético, se regulan por un sistema neuroendocrino, el sistema nervioso junto con el sistema endocrino son los dos sistemas que desempeñan la mayoría de las funciones del organismo, tendiendo a mantener el equilibrio del medio interno (homeostasis). La sensación de hambre tiene algunas funciones: cubrir las necesidades de nutrimentos para sobrevivir, mantener la estructura y funciones celulares y proveer energía para realizar el trabajo útil. El hambre y la saciedad, a menudo se conciben en términos de señales fisiológicas que reflejan los estados homeostáticos (Blundell, 1991). El sistema que controla el balance energético posee, a su vez, dos componentes: uno en el corto y otro en el largo plazo. El sistema, en el corto plazo, se encarga de regular el hambre y la saciedad y responde, fundamentalmente, a hormonas gastrointestinales o señales de saciedad que se acumulan durante la alimentación y contribuyen a terminar la ingesta (figura 13). Los factores de adiposidad, como la leptina e insulina, son señales que se liberan en proporción a los depósitos energéticos del organismo, y su función involucra la regulación del balance energético por periodos prolongados, por lo que se encargan de la estabilidad del peso corporal (Vásquez-Machado y Ulate-Montero, 2010). La fuente de energía celular más importante es la glucosa. Muchos tejidos pueden utilizar grasas o proteínas como fuente de energía, pero otros, como el cerebro y los eritrocitos, sólo pueden utilizar la glucosa.

Los ácidos grasos poliinsaturados en el cerebro

El cerebro humano es un órgano rico en lípidos, principalmente fosfolípidos, donde la materia gris contiene un 36-40% de lípidos, la materia blanca de un 49-66%, y la mielina del 78-81 por ciento. Los principales lípidos incluyen fosfatidiletanolamina (PE), fosfatidilserina (PS), fosfatidilcolina (PC), fosfatidilinositol (PI), esfingomielina, cerebrósido, sulfato de cerebrósido y ceramida. La mayoría de los lípidos están presentes en forma de fosfolípidos que comprende el complejo conjunto de fibras nerviosas que componen el sistema nervioso central (Mandelsamen y De laš, 2011). Los ácidos grasos esenciales omega-3 (linolénico) y omega-6 (linoleico) no pueden ser producidos por el ser humano, pero desempeñan un papel central en el desarrollo y funcionamiento normal del cerebro y del sistema nervioso central. Estos dos ácidos grasos esenciales son utilizados en el organismo para la síntesis de otros ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, los cuales se muestran en la figura 16, y que están involucrados en numerosos procesos neuronales, que van desde los efectos sobre la fluidez de la membrana a la regulación de la expresión génica. Una explicación médica refiere que los ácidos grasos omega-3 juegan un papel en el fortalecimiento de las fundas de mielina. El beneficio de ácidos grasos omega-3 es ayudar a reparar los daños causados en el cerebro por la avance del crecimiento neuronal, además los elementos Fe, Zn, y las vitaminas B_6 y vitamina E, son requeridos para la conversión de ALA y AL a AEP+ ADH y AA a través de su función en enzimas de elongación (Huffman *et al.*, 2011).

Figura 16. Clasif cación de ácidos grasos esenciales omega 3 y 6



Fuente: Huffman *et al.* (2011).

La glucosa

En el cerebro normal de un adulto la energía se deriva casi exclusivamente del metabolismo oxidativo de la glucosa. Se puede estimar que la utilización diaria de glucosa, como fuente energética única, por un cerebro adulto es de 105 g/día y empleando el factor de Atwater de 4 Kcal/g de glucosa, resulta un total de 417.83 Kcal por día. Considerando una persona con una ingesta energética diaria de 2,200 Kcal resulta que el cerebro aparece gastando cerca de 19% de la ingesta total diaria de energía. La neocorteza consume, en los humanos adultos normales 44% del total de la energía empleada en el cerebro y que es en ella donde ocurren prácticamente todos los procesos de aprendizaje y memoria (Lennie, 2003). Es posible asumir que la cantidad equivalente de glucosa a lo largo de la vida representa la energía necesaria para aprender y memorizar (Lareo, 2006). En el metabolismo de la glucosa en el cerebro el 80% de la glucosa oxidada se utiliza en procesos relacionados con la neurotransmisión glutamatérgica (Shulman *et al.*, 2003) y esta neurotransmisión excitatoria está relacionada con los procesos de memoria y aprendizaje (Daoudal y Debanne, 2003). En estudios realizados para medir la concentración de glucosa normal, se encontró que la regulación de la actividad del transporte de la glucosa puede ser un mecanismo importante del mantenimiento de la homeostasis de la glucosa en toda la corteza cerebral y que el transporte es más lento aun siendo la misma cantidad en la sustancia blanca (De Graaf *et al.*, 2001).

Las vitaminas

El cerebro, junto con su sistema nervioso, controla múltiples funciones a través del procesamiento de las señales a otras partes del cuerpo. En la tabla 3 se destacan las vitaminas que contribuyen a mantener correctamente el desarrollo y funcionamiento cerebral.

Tabla 3. Algunas funciones conocidas de micronutrientes (vitaminas) en el cerebro y algunos alimentos que lo contienen

Vitaminas	*Función*	*Alimentos que lo contienen*
Vitamina B_1 (Tiamina)	Funciona como una coenzima participa en la síntesis de la acetilcolina, GABA, glutamato y (Bell *et al.*, 1992). Puede imitar la acción de la acetilcolina en el cerebro (Meador *et al.*, 1993).	Cereales (pericarpio), leguminosas (frijol, lentejas, etc.) hígado, verduras, hojas verdes.
Vitamina B_6 (Piridoxina)	Tiene una función fundamental en la síntesis de muchos neurotransmisores (Baldewicz *et al.*, 2000). Su deficiencia tiende a reducir selectivamente la producción de serotonina y GABA en el cerebro (McCarty, 2000). Su deficiencia se asocia con convulsiones, dolor crónico y la depresión (Malouf y Grimley, 2003).	Tejidos animales, leche y derivados, aguacate, plátano y oleaginosas.
Vitamina B_9 (Ácido fólico)	Contribuye a la formación de compuestos implicados en el metabolismo energético del cerebro (Selhub *et al.*, 2000). Participa en la conversión de triptófano en serotonina en el cerebro (Cousens, 2000).	Hígado, leguminosas.
Vitamina B_{12} (Cobalamina)	Participa en la síntesis de neurotransmisores de aminas biogenas. (Hutto, 1997). Participar en el mantenimiento de las vainas de mielina en los nervios de la conductancia nerviosa normal. Funciones en el metabolismo del ácido fólico.	Pescado, pollo, carne, hígado,nopal, huevos y lácteos. Los vegetales de hojas verdes, apio, frijoles y las judías.
Vitamina C (Ácido ascórbico)	Funciona principalmente como un antioxidante en el cerebro y el sistema nervioso. Los niveles sanguíneos de vitamina C se han asociado positivamente con el IQ (Bourre y Moretti, 2006). Las terminaciones nerviosas tienen concentraciones altas de vitamina C.	Frutas y verduras frescas (fresas, limón, naranja, piña, perejil,brócoli, espinacas.
Vitamina A (Retinol y carotenos)	Previene el envejecimiento celular y la aparición de cáncer, ya que al ser un antioxidante natural elimina los radicales libres y protege al ADN de su acción mutagénica.	Zanahoria, Brócoli, espinaca, huevo, hígado, leche, pescado.
Vitamina D, calciferol, ergocalciferol (D_2), colecarciferol (D_3)	Varios estudios sugieren que es un neuro- esteroide que actúa en numerosos procesos de regulación en el desarrollo del cerebro (Kesby *et al.*, 2011). Está implicado en la formación de memoria (McCann y Ames, 2007). La vitamina D está involucrada en la regulación de la glucosa y el transporte de calcio hacia y dentro del cerebro y también puede proteger la cognición mediante la reducción de la inflamación y el aumento de la disponibilidad de ciertos neurotransmisores (Bourre y Moretti, 2006). Varios estudios han asociado la deficiencia de vitamina D con un mayor riesgo de deterioro cognitivo o demencia en los adultos mayores (Grant, 2009).	Yema de huevo (D_2), pescados grasos (D_2), la D_3 se sintetiza en la piel por exposición al sol.
Vitamina E, (alfa tocoferol)	Función antioxidante. Es un componente de las membranas celulares del cerebro, y junto con la vitamina A y carotenoides, protegen ácidos grasos insaturados (como los omega-3) vulnerables al daño oxidativo (Bourre y Moretti, 2006).	Aceites girasol, espinacas, cartamo, maíz y soya, almendras,

Vitamina K	Ayuda a prevenir la calcificación de los tejidos por acumulación de un exceso de calcio, evitando derrames cerebrales. Se ha relacionado con la formación de la vaina de mielina que envuelve las neuronas y las protege ayudando en la transmisión de señales (Mijares *et al.*, 1998).	Col, berro, perejil, orégano seco, espinacas, acelgas, grelos, berros.

Fuente: Kaplan *et al.* (2007).

Los minerales

Tienen diferentes funciones biológicas en el organismo, desde la construcción de tejidos en el caso de dientes y huesos, auxiliares de reacciones metabólicas y control del flujo osmótico. En la tabla 4 se describen las principales funciones de algunos de los minerales que el cuerpo humano necesita.

Tabla 4. Algunas funciones conocidas de micronutrientes (minerales) en el cerebro y algunos alimentos que lo contienen

Minerales	*Función*	*Alimentos que lo contienen*
Hierro	Funciona como un cofactor necesario o componente estructural de enzimas y moléculas requeridas para el desarrollo y la función correcta del sistema nervioso, incluye particularmente la conducción del impulso nervioso. En el periodo de la infancia se realiza el máximo desarrollo del hipocampo y el desarrollo regional cortical, así mismo el desarrollo de la mielina, dendritas y una sinaptogénesis acelerada en el cerebro (Stanco, 2007).	Hígado, carne magra de res, yema de huevo, cereales, leguminosas (lentejas, soya), nopal, oleaginosas, duraznos, brócoli, espinacas, acelgas, merluza, atún, sardina, almejas.
Cobre	Interviene en la síntesis de hemoglobina y en la absorción del hierro.	Almendras, nueces, pasas, avellanas, haba, pistachos, lenteja, frijol.
Cromo	Principalmente conocida por su función en la glucosa y el metabolismo lipídico (Milne, 2000), lo que puede explicar su papel en el estado de ánimo (McLeod y Golden, 2000).	Germen de trigo, pimiento verde, plátano, espinaca, pimienta negra, levadura de cerveza.
Magnesio	Funciona como una coenzima; juega un papel importante en el metabolismo de carbohidratos y grasas para producir ATP, y en la síntesis de ácidos nucleicos (ADN y ARN) y proteínas. Es importante para el transporte activo de iones (por ejemplo, potasio y calcio) a través de las membranas celulares, y para la señalización celular. Es esencial para más de 300 reacciones bioquímicas en el cuerpo, incluyendo el mantenimiento de la función nerviosa normal (Wester, 1987).	Soya, arroz integral, levadura de cerveza, almendras, nopal, avellanas, perejil, cacao, chocolate
Selenio	Actúa en la síntesis de selenoproteínas. Tiene diversas funciones en el SNC, principalmente en el metabolismos de la tiroides y el metabolismo antioxidante. Promueve la supervivencia neuronal (Chen y Berry, 2003).	Trigo, arroz, avena, maíz, ajos, cebolla, calabaza, tomate, apio, nueces, naranja, plátano, atún.

Zinc	Es el más abundante elemento traza intracelular, con funciones que se extienden en la síntesis de proteínas, así como la estructura y regulación de la expresión génica (Kuby, 1994; Milne, 2000). Actúa como cofactor para más de 200 enzimas diferentes; presentes en más de 300 metaloenzimas que participan en prácticamente todos los aspectos del metabolismo (Milne, 2000). En el cerebro, sirve en neuronas y células gliales (Takeda, 2001).	Vísceras, pescado, ostras, cereales, garbanzo, carne de cerdo.
Calcio	Importante mensajero intracelular, y cofactor de enzimas (Milne, 2000). Es importante para la liberación de neurotransmisores, y varias formas de señalización química entre las células.	Maíz, soya charales, nopal, sardinas, quesos, leche, berro, epazote, acelgas, brócoli, hoja de chaya.
Yodo	El iodo no tiene un papel directo en el SNC, sino que altera el desarrollo y función del cerebro a través de la actividad tiroidea. Las hormonas tiroideas regulan el metabolismo celular y la diferenciación celular y el desarrollo (Roeder *et al.*, 1985).	Sal yodada, mariscos en general, atún, salmón, bacalao.

Fuente: Kaplan *et al.* (2007).

Los f tonutrientes

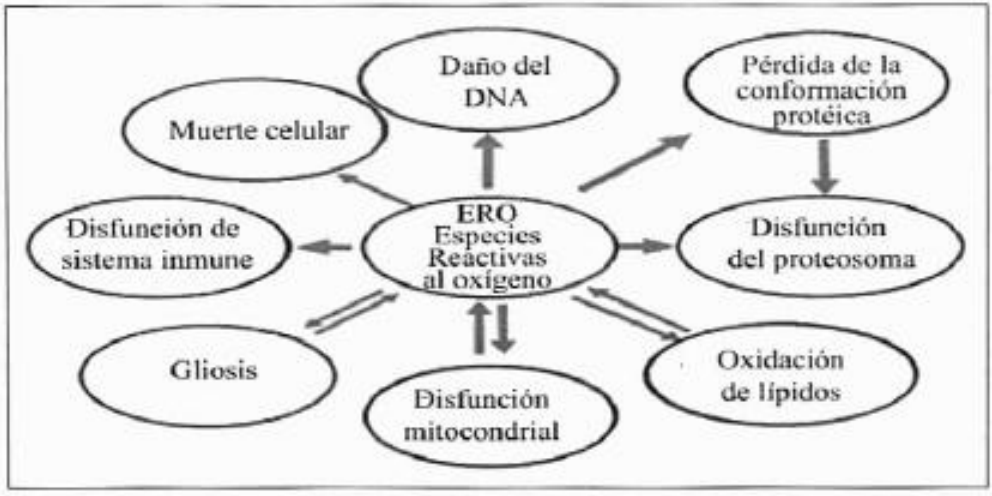
Se ha demostrado la existencia de una relación entre una menor incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), con patrones alimentarios que involucran un alto consumo de frutas y verduras, lo que ha motivado a investigar las propiedades químicas de estos alimentos. Los fitonutrientes o fitoquímicos se conocen como metabolitos secundarios que las plantas producen para realizar funciones metabólicas. Existen aproximadamente 30 mil de estos compuestos, sin embargo solo se han identificado alrededor de cinco mil. Los fitoquímicos pueden ser agrupados en familias basadas en su estructura química y actividad biológica. Estos compuestos bioactivos de las frutas, verduras, granos y especies alimentarias, se han vinculado a la reducción de riesgos de enfermedades crónicas. Las células en humanos y otros organismos están constantemente expuestos a una variedad de agentes oxidantes, algunas de las cuales son necesarias para la vida. Estos agentes pueden estar presentes en el aire, los alimentos y el agua, o pueden ser producidos por las actividades metabólicas en las células. El factor clave es mantener un equilibrio entre oxidantes y antioxidantes para mantener óptimas condiciones fisiológicas en el cuerpo. La sobreproducción de oxidantes pueden causar un desequilibrio, lo que conduce a estrés oxidativo, especialmente en las infecciones bacterianas crónicas, virales y parasitarias. Las células en humanos y otros organismos están constantemente expuestos a una variedad de agentes oxidantes, algunas de las cuales son necesarias para la vida, como el aire, los alimentos y el agua, o pueden ser producidos por las actividades metabólicas en las células. El factor clave es mantener un equilibrio entre oxidantes y antioxidantes para mantener óptimas condiciones fisiológicas en el cuerpo.

La sobreproducción de oxidantes puede causar un desequilibrio, lo que conduce a "estrés oxidativo", especialmente en las infecciones bacterianas crónicas, virales y parasitarias. El estrés oxidativo puede causar daño oxidativo a las grandes biomoléculas tales como proteínas, ADN y los lípidos, lo que resulta en un aumento del riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares (figura 16). Para prevenir o ralentizar el estrés oxidativo inducido por radicales libres, se deben consumir suficientes cantidades de antioxidantes para ayudar a proteger los sistemas celulares del daño oxidativo y disminuir el riesgo de enfermedades crónicas. Las frutas y verduras contienen una amplia variedad de compuestos antioxidantes. Las recomendaciones dietarias en los últimos años proponen el incremento del consumo de alimentos que contienen antioxidantes (Hai, 2003).

Los compuestos fitoquimicos tienen funciones de acción biológica en el organismo en las que intervienen y son: evitar el estrés oxidativo, regular la función genética, realizar modulación hormonal e inmune y participar en el metabolismo carcinogénico y en la ruta metabólica mediante la inducción de enzimas. La mayoría de los fitonutrientes son amargos, agrios, astringentes o aversivos y mucho tiempo se les considero tóxicos para el organismo. El Alfa-caroteno beta-caroteno y beta-criptoxantina son del tipo pro vitamina A, y pueden ser convertidos en el organismo en retinol o vitamina A. El cerebro es altamente susceptible al estrés oxidativo, el cual es uno de los principales factores etiológicos de la generación de las enfermedades crónicas de la vejez, como la aterosclerosis y los desórdenes cardiovasculares, el cáncer, la neurodegeneración y las alteraciones inmunológicas (Castro y Freeman, 2001). Algunos fitoquimicos no pueden ser metabolizados de forma individual sin la participación de varios factores y de otros compuestos que favorecen su abosrción, transporte y metabolismo.

Los radicales libres (RL) y las especies reactivas al oxigeno (ERO) son normalmente generados por el metabolismo celular para la obtención de energía. Los sistemas antioxidantes eliminan las ERO para mantener un equilibrio de óxido-reducción en el organismo. En un estado de estrés oxidativo, se presenta un exceso de pro-oxidantes que no puede ser contrarrestados por los sistemas antioxidantes. Bajo condiciones patológicas, existe un estado de estrés oxidativo donde el metabolismo celular aumenta la producción de radicales libres y ERO (Lin y Beal, 2006). Una gran cantidad de evidencias indican que el incremento en la generación de ERO, y un déficit en las defensas antioxidantes, así como la disminución en la eficiencia de los mecanismos de reparación del DNA y la proteólisis, además de pérdida de regulación del sistema inmune, son factores que contribuyen primariamente al aumento de estrés oxidativo y llevan a daño cerebral progresivo (Angoa y Rivas, 2007).

Figura 17. Efectos de las especies reactivas de oxígeno en el cerebro



Fuente: Angoa y Rivas (2007).

El aumento de la ingesta de frutas y verduras ricas en sustancias con actividad antioxidante puede ser un componente importante de una estrategia de vida saludable, diseñado para maximizar el funcionamiento neuronal y cognitivo en la vejez. Una clasificación de estos compuestos es según su color (tabla 5).

Tabla 5. Clasif cación de los f tonutrientes, según el color y su función preventiva

Fitonutrientes	*Fitoquímico*	*Función*	*Alimentos que lo contienen*
Rojo	Licopeno	Antioxidante, neutralizan los radicales libres causados por la radiación solar ultravioleta (UV). Protector contra varios tipos de cáncer (Singh y Goyal, 2008).	Tomate, sandía, toronja rosada, guayaba, albaricoque.
Rojo/Morado	Flavonoides	Antioxidantes, anti-envejecimiento celular (Martínez-Flórez *et al.*, 2002)	Uva, ciruela seca, manzana, arándano, mora y fresa. Verduras, semillas y flores, así como en cerveza, vino, té verde, té negro,soya, gingko biloba, cardo, mariano o crataegus.
Naranja	Alfa-caroteno beta-caroteno	Antioxidantes, anticarcinogénico (Tanaka *et al.*, 2012)	Mango, zanahoria y calabaza. Algas, espinacas.
Naranja/ amarillo	Criptoxantina y terpenos	Antioxidantes. Poseen actividad antiinflamatoria y anticancerígenos. Inhibición de la formación de ateromas (Codoner-Franch y Valls-Belles, 2010)	Zanahoria, calabaza, naranja, mandarina, durazno, papaya.

Amarillo/verde	Luteína, zeaxantina y carotenoides	Antioxidantes. Mejoran la función cerebral (Tsuda, 2012)	Espinaca, brócoli, lechuga, nabo, espárragos.
Verde	Sulforafanos	Antioxidantes. Poseen actividad anti-cancerígenos, anti microbial y anti mutagenesis (Talalay y Fahey, 2001)	Brócoli, col de Bruselas, mostaza, repollo, coliflor, nabo, rábano y berro.
Blanco	Organosulfidos	Antioxidantes. Prevención del cáncer, evitan la formación de coágulos y reducen las infecciones (Araya *et al.*, 2006)	Ajo, cebolla, cebollín.
Azul/morado	Antocianinas	Antioxidantes. Poseen actividad antiinflamatoria y anticancerígena. Mejora la función cerebral (Wang *et al.*, 1997)	Cerezas, moras, fresas, frambuesa, nueces.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El hombre inicia la vida siendo alimentado, alimentarse es un acto universal, que no solo requiere el cuerpo físico, sino el alma y el espíritu. La relación que existe entre el hombre y su alimento, es de las primeras relaciones y funda lo humano, se da a nivel de sensaciones, emociones y sentimientos. En el siglo I a. C., la ciencia de la salud era considerada originalmente parte de la filosofía y no existían técnicas tan modernas como ahora para mejorar la salud. En esa misma época la medicina fue dividida en tres partes, a la que curaba mediante la dieta se le llamó "dietética", a la que se sanaba con remedios se le llamó "farmacéutica", a la que sanaba mediante la mano, se le llamó "cirugía". En esta época además de esas áreas, se han descubierto que son muchos los factores que intervienen para mantener un equilibro saludable y comienza teniendo estilos de vida saludable, tener voluntad para hacer y elegir siempre lo correcto, de lo contrario se corren riesgos graves de pérdida de salud por las consecuencias de los actos involuntarios o placenteros que se elijan. Los últimos avances en neurociencia han permitido conocer que el estómago, el corazón y el cerebro contienen neuronas o células nerviosas capaces de enviar información para ser procesada por el cerebro y actuar de forma independiente en las respuestas y las decisiones que tomen para mantener el equilibro óptimo del individuo. El cerebro se desarrolla como una parte del organismo, pero a la vez se desarrolla la mente y el sistema cognitivo de las personas, encontrándose que existen 3 tipos de personas: las viscerales, las emocionales y las cognitivas racionales, a este grupo pertenecen las personas espirituales y tienen relación dependiendo del proceso evolutivo en que se encuentren, sin embargo una nutrición adecuada en cada área es primordial para mantener una salud optima. El conocimiento mas amplio del cerebro permite comprender y tratar mejor las enfermedades. La estructura y la comunicación de las

neuronas, en los albores del siglo XX, fueron descritas magistralmente por los sabios Santiago Ramón, Cajal y Christofredo Jakob, esto ha permitido comprender mejor el proceso mental y las funciones y capacidades de cada una de las áreas del cuerpo. Con el avance de las investigaciones en ciencias se han dejado de lado conocimientos primordiales y que recientemente están resurgiendo, por el aumento creciente de enfermedades crónicas no degenerativas. Muchos estudios científicos han confirmado que la religión y la espiritualidad juegan un rol muy importante sobre la salud de las personas, la neurociencia ha desarrollado una nueva área: la neuroteología que es el estudio de las actividades neuronales relacionadas con experiencias subjetivas de espiritualidad. Es importante dar la atención adecuada a cada área del ser y conocer y elegir los estilos de vida saludable que lleven a mantener la salud hasta la vejez.

Sobre los autores

Rocío M. Uresti Marín, Frida C. Caballero Rico, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León. Cuerpo Académico de Gestión y Transferencia del Conocimiento. Centro de Excelencia. Dirección General de Innovación Tecnológica Universidad Autónoma de Tamaulipas, correo electrónico: ruresti@uat.edu.mx.

Referencias

Araya H. L., C. R. Clavijo, C. Herrera (2006), "Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivadas en Chile", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56 (4), pp. 361-365.

Aquino, T. (1310), *Suma Teológica* III. q 102, a 5.

Angoa P. M., A. S. Rivas (2007), "Estrés oxidativo y neurodegeneración: ¿causa o consecuencia?", *Archivos de Neurociencias*, 12 (1), pp. 45-54.

Armour, J. A. (1994), *Neurocardiology: anatomical and functional principles*, New York, Oxford University, pp 3-19.

Asato, M. R., R. Terwilliger, J. Woo, B. Luna (2010), *White matter development in adolescence: A DTI Study*, Cerebral Cortex, 20 (9), pp. 2122-2131.

Baldewicz, T. T., K. Goodkin, N. T. Blaney, G. Shor-Posner, M. Kumar, F. L. Wilkie (2000), "Cobalamin level is related to self-reported and clinically rated mood and

to syndromal depression in bereaved HIV-1(+) and HIV-1(-) homosexual men", *Journal of Psychosomatic Research*, 48, pp. 177-185.

Bell, I., J. Edman, F. Morrow, B. Marby, G. Perrone, H. Kayne (1992), "Vitamin B_1, B_2, and B_6 augmentation of tricyclicantidepressant treatment in geriatric depression with cognitive dysfunction", *Journal of the American College of Nutrition*, 11, pp. 159-163.

Benzi, G., and A. Moretti (1995), *Age and peroxidative stress-related modifications of the cerebral enzymatic activities linked to mitochondria and the glutathione system*, Free Radical Biology & Medicine, 19, pp. 77-101.

Berking, M. and P. Wupperman (2012), *Emotion regulation and mental health: recent findings, current challenges, and future directions*, Current Option in Psychiatry, 25 (2), pp. 128-134.

Berthoud, H. R., and Ch. Morrison (2008), "The brain, appetite and obesity", *The Annual Review of Psychology*, 59, pp. 55-92.

Blundell, J. E. (1991), *The biology of appetite*, Clinical Applied Nutrition, 1, pp. 21-23.

Bourre, J. M. (2006), "Effects of nutrients (in food) on the structure and function of the nervous system: update on dietary requirements for brain. Part 1: micronutrients", *The Journal of Nutrition Health and Aging*, 10, pp. 377-385.

Cameron J. and E. Doucet (2007), *Getting to the bottom of feeding behavior: who's on top? Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32 (2), pp. 177-189.

Castro, L., B. A. Freeman (2001), *Reactive oxygen species in human health and disease. Nutrition*, 17, pp. 163-165.

Codoner-Franch, P. and v. Valls-Belles (2010), *Citrus as functional foods. Current Topics in Nutraceutical*, 8 (4), pp. 173-183.

Cousens, G. (2000), *Depression-freeforlife*, New York, William Morrow.

Chen, J. and M. J. Berry (2003), "Selenium and selenoproteins in the brain and brain diseases", *Journal of Neurochemistry*, 1, pp. 1-12.

Daoudal, G. and D. Debanne (2003), *Long-term plasticity of intrinsic excitability: learning rules and mechanisms. Learn and Memory*, 10, pp. 456-465.

Dagher, A. (2010), *The Neurobiology of appetite: hunger as addiction. Obesity Prevention*, Academic Press, New York, pp. 15-16.

De Graaf, R. A., J. W. Pan, F. Telang, J. H. Lee, P. Brown, E.J., Novotny, H. P. Hetherington and D. L. Rothman (2001), "Differentiation of glucose transport in human brain gray and white matter", *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*, 21 (5), pp. 483-492.

Feijo, F. D., M. C. Bertoluci, C. Reis (2011), "Serotonin and hypothalamic control of hunger: a review", *Revista da Associacao Medica Brasileira*, 57 (1), pp. 74-77.

Gershon, M. D. (1998), *The origin of the second brain and its disorders. Book: The Second Brain*, Harper Collins Publishers ISBN 0-06-018252-0, p. 194.

Gómez-Pérez E., F. Ostrosky-Solís, O. Próspero-García (2003), "The development of attention, memory and the inhibitory processes: The chronological relation with the maturation of brain structure and functioning", *Revista de Neurología*, 37 (6), pp. 561-567.

Goyal, G. K.(2008), "Dietary lycopene: Its properties and anticarcinogenic effects", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7 (3), pp. 255-270.

Grant, W. B. (2009), "Does vitamin D reduce the risk of dementia?", *Journal of Alzheimer's Disease*, 17 (1), pp. 151-159.

Hai-Lui, R. (2003), "Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals", *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78, pp. 517S-520S.

Huffman, S. L., R. K. Harika, A. Eilander and S. J. Osendarp (2011), "Essential fats: how do they affect growth and development of infants and young children in developing countries?", *A literature review. Maternal & Child Nutrition*, 7 (3), pp. 44-65.

Huttenlocher, P. R. and A. S. Dabholkar (1997), "Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex", *The Journal of Comparative Neurology*, 387 (2), pp. 167-78.

Hutto, B. R. (1997), *Folate and cobalamin in psychiatric illness. Comprehensive Psychiatry*, 38 (6), pp. 305-314.

Johnstone B., A. Bodling, D. Cohen, S. Christ and A. Wegrzyn (2012), "Right parietal lobe-related "selflessness" as the neuropsychological basis of spiritual transcedence", *The International Journal for the Psychology of Religion*, 22, pp. 267-284.

Kaplan, B. J., S. G. Crawford, C. J. Field and J. S. Simpson (2007), *Vitamins, minerals, and mood. Psychological Bulletin*, 133 (5), pp. 747-760.

Kesby, J. P., D. W. Eyles, T. H. J. Burne and J. J. McGrath (2011), *The effects of vitamin D on brain development and adult brain function. Molecular and cellular Endocrinology*, 347 (1-2), pp. 121-128.

Koenig H.(1998), *The neuropsychology of spiritual experience. Handbook of Religion and Mental Health*, Academic, p. 79.

Kringelbach, M. L., A. Stein and T. J. Van Hartevelt (2012), *The functional human neuroanatomy of food pleasure cycles. Physiology & Behavior*, 106 (3), pp. 307-316.

Kuby, J. (1994), *Immunology*, New York, WH Freeman and Company.

Lareo, L. R. (2006), "Costo energético de procesos cerebrales con especial énfasis en aprendizaje y memoria", *Revista de la Facultad de Ciencias*, Pontifica Universidad Javeriana, 11 (2), pp. 77-84.

LeDoux, J. (1996), *The emotional brain. The mysterious underpinnings of emotional life*, Simons & Schuster Paperbacks.

Lennie, P. (2003), *The cost of cortical computation. Current Biology*, 13 (6), pp. 493-497.

Lin, M.T., and M. F. Beal (2006), "Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in neurodegenerative diseases", *Nature, International weekly journal of science*, 443, pp. 787-795.

Lujan, R. (2004), "Bases moleculares de la señalización neuronal. Ciencia al Dia Internacional", Ciencias Biológicas, 5 (2), disponible en http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen5/numero2/articulos/articulo5.html.

Mandal, A. (2011), "What is the Nervous System? News Medical", disponible en http://www.news medical.net/health/What-is-the-Nervous-System.aspx#

Malouf, R. and J. E. Grimley (2003), "The effect of vitamin B_6 on cognition", *Cochrane Database System Review*, CD004393.

Mandelsamen, P. M. and I. Delaš (2011), *Essential Fatty Acids and Psychiatric Disorders. Nutrition in Clinical Practice*, 20 (10), pp. 1-17.

Martínez-Flórez, S., J. González-Gallego, J. M. Culebras and M. J. Tuñón (2002), *Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición Hospitalaria*, 17(6), pp. 271-278.

McCarty, M. F. (2000), *High-dose pyridoxine as an "anti-stress" strategy. Medical Hypotheses*, 54, pp. 803-807.

McCann, J.C, and B. N. Ames (2007), "Is there convincing biological or behavioral evidence linking vitamin D deficiency to brain dysfunction?", *The FASEB Journal*. 22, pp. 982-1001.

McLeod, M. N. and R. N. Golden (2000), "Chromium treatment of depression", *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 3, pp. 311-314.

Meador, K., M. Nichols, P. Franke, M. Durkin, R. Oberzan and E. Moore (1993), *Evidence for a central cholinergic effect of high-dose thiamine. Annals of Neurology*, 34, pp. 724-726.

Mijares, M. E., E. Nagy, B. Guerrero, y P. C. L. Arocha (1998), *La vitamina K: bioquímica, función y deficiencia: revisión. Investigación clínica*, 39 (3), pp. 213-229.

Milne, D. B. (2000), *Laboratory assessment of trace element and mineral status*, Totowa, New Jersey, Humana Press.

Newberg, A. B. (2010), *The principles of interaction between neuroscience and theology. Book: Principle of neurotheology*, Asghate, Science and Religion Series, p. 51.

OMS (2009), "Desarrollo en la primera infancia", disponible en http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs332/es/index.html

Paus, T., A. Zijdenbos, K. Worsley, D. L. Collins, J. Blumenthal, J. N. Giedd, J. L. Rapoport and A. C. Evans (1999), *Structural maturation of neuralpathways in children and adolescents: In vivo study. Science*, 283 (5409), pp. 1908-1911.

Pulvermüller, F. (2002), *The neuroscience of language of brain circuits of words and serial order*, Cambridge University Press.

Roeder, L. M., I. B. Williams and J. T. Tyson (1985), "Glucose transport in astrocytes: regulation by thyroid hormone", *Journal of neurochemistry*, 45 (5), pp. 1653-1657.

Selhub, J., L. Bagley, J. Miller and I. Rosenberg (2000), "B vitamins, homocysteine, and neurocognitive unction in the elderly", *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, pp. 614S-620S.

Shulman, R.G., F. Hyder and D. L. Rothman (2003), *Cerebral metabolism and consciousness. Comptes Rendus Biologies*, 326 (3), pp. 253-273.

Sperry, R. W. (1988), *Psychology's mentalist paradigm and the religion/science tension. American Psychologist*, 43 (8), pp. 607-613.

Stanco, G. G. (2007), "Funcionamiento intelectual y rendimiento escolar en niños con anemia y deficiencia de hierro", *Colombia Médica*, 38 (1), pp. 24-33.

Soriano, M. C., B. G. Guillazo, R. D. Redolar, G. M. Torras and M. A. Vale (2007), *Fundamentos de neurociencia*, UOC, pp. 13.

Uresti, R. M., F. C, Caballero, M. Vázquez y J. A. Ramírez (2011), "Salud y Espiritualidad. No solo de Pan vive el Hombre", CienciaUAT, 22 (4), pp. 48-54.

Takeda, A. (2001), *Zinc homeostasis and functions of zinc in the brain. Biometals*, 14, pp. 343-351.

Talalay, P. and J. W. Fahey (2001), "Phytochemicals from cruciferous plants protect against cancer by modulating carcinogen metabolism", *American Institute for Cancer Research*, 11th Annual Research Conference on Diet, Nutrition and Cancer. American Society for Nutritional Sciences.

Tanaka, T., M. Shimizu, H. Moriwaki (2012), *Cancer chemoprevention by carotenoids. Molecules*, 17 (3), pp. 3202-3242.

Tsuda, T. (2011), "Anthocyanins as functional food factors. Chemistry, nutrition and health promotion", *Food Science and Technology Research*, 18 (3), pp. 315-324.

Vandana, S (2002), "Las conexiones ocultas", *La mente y la conciencia*, F. Capra, Anagrama Barcelona, pp. 60-96.

Van de Rest, O., van L.W. Hooijdonk, E. Doets, O. J. Schiepers, A. Eilander, de L. C. Groot (2012), "B vitamins and n–3 fatty acids for brain development and function: review of human studies", *Annals of Nutrition & Metabolism*, 60, pp. 272-292.

Vásquez-Machado, M. and G. Ulate-Montero (2010), "Regulación del peso corporal y del apetito", *Acta Médica Costarricense*, 52 (2), p. 2.

Wang, H., G, Cao and R. L. Prior (1997), "Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins", *Agricultural and Food Chemistry*, 45 (2), pp. 304-309.
Wester, P. O. (1987), "Magnesium", *American Journal of Clinical Nutrition*, 45, pp. 1305-1312.

Alimentos marinos y salud

Dalila Fernanda Canizales Rodriguez, Victor Manuel Ocaño Higuera, Enrique Márquez Ríos, Nathaly Montoya Camacho, Maria Susana Yepiz Gómez, José Luis Cárdenas López, Ramón Gertrudis Valdez Melchor

Resumen

Dentro de toda la gama de alimentos que existen en el mercado, cada vez se recomienda más ampliamente la inclusión de los productos marinos en la dieta. En numerosos estudios se ha relacionado el consumo de pescado con beneficios en la salud, lo cual se ha relacionado con la composición muscular que presenta de proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. Las proteínas del pescado tienen un elevado valor biológico debido a que contienen, al igual que la de otros alimentos de origen animal, todos los aminoácidos esenciales en cantidad y proporción adecuadas. Respecto a su contenido lipídico, posee ácidos grasos omega-3, los cuales han mostrado contundentemente un impacto positivo en la salud, en donde se les relaciona principalmente con la reducción de enfermedades cardiovasculares, disminuyendo el riesgo de arritmias cardiacas y previniendo la formación de coágulos en la sangre, los cuales se han vinculado con ataques al corazón o derrames cerebrales. Los ácidos grasos omega-3 son compuestos capaces de aumentar las lipoproteínas HDL (lipoporteínas de alta densidad) y reducir las LDL (lipoporteínas de baja densidad), además de los niveles de colesterol total y triglicéridos. De igual forma, disminuyen el ritmo de crecimiento de la placa aterosclerótica, lo cual mejora la salud y reduce la presión arterial. Son precursores de prostaglandinas, que reducen la inflamación como la artritis reumatoide y disminuyen desórdenes renales, alergias, diabetes y cáncer. Se ha observado que el consumo de pescado varias veces

a la semana puede reducir en un 50% el riesgo de desarrollar cáncer de próstata. Asimismo, considerando que son buena fuente de minerales, pueden coadyuvar a reducir enfermedades como el bocio, que se caracteriza por un crecimiento anormal de la glándula tiroides como consecuencia de una deficiencia de yodo. De igual forma, sus vitaminas tienen aporte nutricional y antioxidante, por lo que constituyen un factor protector frente a ciertas enfermedades degenerativas, cardiovasculares y carcinogénicas. En función de lo anterior, la ingesta de los productos de la pesca dentro de la dieta constituye un modo de prevención de algunas enfermedades. De ahí que el objetivo del presente capítulo fue describir el impacto que tiene el consumo de los productos marinos en la salud.

Palabras claves: Productos marinos, salud, beneficios.

Introducción

Sin duda alguna, la dieta que ingerimos tiene gran impacto en nuestra salud. En las últimas décadas, las campañas comerciales enfocadas a la prevención de la salud, han creado mayor conciencia en la población consumidora sobre la importancia que tiene los macro y micro nutrientes de los alimentos. Asimismo, han hecho que los consumidores adopten un enfoque selectivo en la elección de alimentos, en donde actualmente, existe una mayor predilección por alimentos altos en fibra, y con un bajo contenido en grasas saturadas, azúcar y sodio. En el caso de los productos marinos, la importancia de su consumo se atribuye a que son considerados una excelente fuente de nutrientes, lo cual se debe básicamente a su alto contenido en proteínas, bajo contenido de grasa y tipo de lípidos que contiene (omega-3), así como a sus vitaminas y minerales, aunado a un bajo aporte calórico (Venugopal, 2006).

Se ha demostrado que los alimentos de origen marino poseen características nutricionales que promueven la salud humana. Los beneficios generados por su consumo son numerosos, sin embargo, el más significativo es la baja incidencia de las enfermedades cardiovasculares, lo cual se ha vinculado a un incremento en la ingesta de ácidos grasos de cadena poliinsaturada omega-3 particularmente el ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5, n-3) y el ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6, n-3). Asimismo, considerando que son buena fuente de minerales, pueden coadyuvar a reducir enfermedades como el bocio, que se caracteriza por un crecimiento anormal de la glándula tiroides como consecuencia de una deficiencia de yodo. De igual forma, sus vitaminas tienen aporte nutricional y antioxidante, por lo que constituyen un factor protector frente a ciertas enfermedades degenerativas, cardiovasculares y carcinogénicas (Larsen *et al.*, 2011). Por lo tanto, en el presente capítulo se discutirá el

efecto benéfico de los múltiples componentes que integran la parte comestible de los productos marinos y las futuras tendencias en los mismos.

Importancia de los productos marinos en la salud

En México se captura un importante número de especies de pescados y mariscos, entre los que destacan la sardina, camarón, atún, tilapia, y calamar, así como la jaiba, ostión, cazón y caracol (SAGARPA, 2010). Sin embargo, gran parte de la captura se destina a la exportación y a la preparación de alimentos para consumo animal, y en general los productos para consumo humano directo que se destinan al mercado nacional son comercializados a granel y con una pobre presentación, que resulta poco atractiva para el consumidor, cuya decisión de compra se basa principalmente en la apariencia del producto. Además, en muchas ocasiones estos productos son manejados inadecuadamente afectando su frescura y calidad. En este sentido, y considerando que la porción comestible de los pescados y mariscos es altamente perecedera, resulta evidente la necesidad de hacer más eficientes los métodos de captura y de manejo poscaptura con la finalidad de mejorar la frescura y extender la calidad con la cual se expenden en el mercado, lo que a la postre podría incentivar su consumo y se aprovecharían sus efectos benéficos en la salud (Ocaño *et al.*, 2008).

En diversas investigaciones, se ha demostrado que el consumo de los distintos productos de la pesca protege contra ciertas enfermedades, demostrando un efecto benéfico a la salud. La evidencia sobre estos beneficios a raíz del consumo de productos marinos se ha demostrado en distintos estudios epidemiológicos (Mozaffarian y Rimm, 2006), en los cuales se ha demostrado que especialmente las especies grasas (>15% de grasa) ayudan a reducir el riego de padecer enfermedades cardiovasculares. En un estudio observacional sobre los consumidores, se evaluó el consumo de pescado y su relación con la enfermedad cardiaca coronaria, en donde se encontró que la mortalidad de las personas que consumen este tipo de alimentos por lo menos una vez a la semana presentaron un riesgo del 15% menor en comparación con las personas que no incluyen alimentos marinos en su dieta, de igual forma, en el mismo estudio se encontró una relación inversamente proporcional entre la ingesta de pescado y los accidentes cerebrovasculares. En un estudio realizado por Mozaffarian y Rimm (2006), se indicó que un consumo moderado de pescado (de 1 a 2 raciones por semana), reduce el riesgo de muerte coronaria en un 36 por ciento y la mortalidad total en un 17 por ciento.

Datos del Centro Epidemiológico Europeo en Investigación de Cáncer (EPIC), han demostrado que en la población británica, el consumo de especies magras y grasas

se ha asociado con una disminución del riesgo de padecer diabetes tipo 2. Además una ingesta suficiente de pescados y mariscos se ha vinculado a un beneficio en el neurodesarrollo fetal, en lactantes y niños en el desarrollo cognitivo y a la agudeza visual. De igual forma, se ha reportado un alivio en los síntomas de varias enfermedades tales como artritis reumatoide y padecimientos inflamatorios relacionados con el intestino (Rosell *et al.*, 2009), varios tipos de cáncer (Szymanski *et al.*, 2010), padecimientos psicológicos (Appleton *et al.*, 2010) y deterioro cognitivo (Robinson *et al.*, 2010).

Aspectos nutricionales y de salud de los principales componentes de los productos marinos

La biodiversidad del medio ambiente marino, hace que sea difícil llegar a una conclusión sobre las características nutricionales que sean aplicables a todos los alimentos procedentes de la pesca. No obstante, algunas características nutricionales hacen únicos a este grupo de alimentos saludables desde el punto de vista de salud pública.

En general, los productos de la pesca poseen una composición favorable de ácidos grasos poliinsaturados, siendo el EPA y DHA los más comunes, los cuales son considerados como los componentes primarios que proveen beneficios a la salud. Sin embargo, en distintas especies marinas se encuentran otros compuestos bioactivos, los cuales difieren en cuanto al tipo y/o concentración a los que se han encontrado en organismos terrestres, de igual forma, estos compuestos bioactivos además de brindar beneficios específicos a la salud, facilitan la acción de los ácidos omega-3 (Lee *et al.*, 2009). Otros compuestos de que son sumamente importantes y benéficos para la salud son las proteínas de origen marino, las cuales contienen todos los aminoácidos esenciales, son de alta digestibilidad y son consideradas de buena calidad (FAO/WHO, 1991). Las propiedades bioactivas de las proteínas y péptidos resultantes de la digestión gastrointestinal de las proteínas de los pescados se han asociados con efectos benéficos a la salud (Kitts y Weiler, 2003). Este tipo de alimentos también son considerados como una excelente fuente de nutrientes esenciales, tales como minerales y vitaminas. En cuanto a vitaminas, las especies grasas contienen altos niveles de vitamina D y A, además algunas especies son ricas en vitaminas solubles en agua como la B12. Por otra parte, los productos marinos tienen una mayor proporción de yodo y selenio que los organismos terrestres. Estos minerales son considerados como esenciales. También contienen otros compuestos bioactivos que im-

pactan positivamente en la salud, dentro de los cuales podemos señalar a los fosfolípidos, fitoesteroles, taurina y antioxidantes.

Como se describió anteriormente, los productos de origen marino contribuyen significativamente en la salud. Lo anterior se puede llevar a cabo en dos vías. En la primera de ellas, los productos marinos proveen los nutrientes esenciales, cubriendo las necesidades mínimas de ingesta requeridas previniendo una desnutrición, y en segundo lugar cuando los alimentos proveen componentes bioactivos, los cuales no son considerados como esenciales, pero ayudan a modular distintos mecanismos celulares y moleculares generando beneficios a la salud. Además, un incremento en la ingesta de los productos marinos implica una sustitución de otros productos alimenticios, por ejemplo, se realizó un estudio con más de 80 mil mujeres en donde se encontró que una porción diaria de pescado estuvo asociada a una reducción del 24 por ciento del riesgo de una enfermedad cardiaca coronaria, en comparación con las que consumieron una porción de carne roja al día (Bernstein *et al.*, 2010). Por lo tanto, algunos de los beneficios a la salud pueden explicarse por el efecto de sustitución de alimentos.

En general, los principales componentes de los productos marinos que impactan positivamente a la salud del consumidor se pueden dividir en dos grupos: los macro y los micronutrientres. Dentro de los macronutrientes se encuentran las proteínas, lípidos, y carbohidratos, mientras que en los micronutrientes se encuentran las vitaminas, minerales y algunos compuestos bioactivos como los fitoesteroles, polifenoles, carotenoides y taurina. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

Macronutrientes

Proteínas y péptidos de origen marino

Los productos marinos tienen un excelente valor nutritivo, con proteína de gran calidad. En sí, estas son de fácil digestión y complementan favorablemente la ingesta de las proteínas cotidianas aportadas por los cereales y las legumbres que se suelen consumir en muchos países en desarrollo. La calidad de una proteína está determinada por el contenido de aminoácidos esenciales y su biodisponibilidad. Esto último se refiere a la proporción en que un nutriente puede ser absorbido y utilizado (WHO, 2007). Los expertos coinciden en que, aunque el consumo de los alimentos marinos sea en pequeñas cantidades, este puede mejorar substancialmente la calidad de las proteínas que se consumen a diario, al aportar los aminoácidos esenciales que suelen ser pocos en la alimentación predominantemente vegetariana. En el caso del múscu-

lo de los productos marinos, estos contienen todos los aminoácidos esenciales y éste puede considerarse una fuente importante de proteína (Sikorski, 1994). En general, la composición de aminoácidos de las proteínas de origen animal son más favorables que las de origen vegetal, y la calidad proteica de la mayoría de los peces es mayor que la de los animales terrestres y pueden ser consideradas como ideales (Friedman, 1996). De hecho, gran parte de la población, cree que los productos marinos tienen menos proteínas que la carne, sin embargo esto no es así, debido a que éstos contienen una cantidad similar de proteínas que la carne y el huevo, y se dice que las proteínas de estos alimentos son de alto valor biológico. Pero ¿qué significa esto?, lo anterior significa que contienen todos los aminoácidos esenciales, sustancias que el organismo no puede fabricar y que necesita que se las aportemos por medio de los alimentos. Las proteínas son los nutrientes más necesarios para que los músculos y los órganos crezcan y se desarrollen. Y nuestros hijos las necesitan en su justa medida, para crecer correctamente.

En un estudio en donde se evaluaron más de 84 mil mujeres durante un periodo de 26 años demostró una reducción significativa de sufrir una cardiopatía coronaria, seleccionando pescado o pollo como la principal fuente de proteína (Bernstein *et al.*, 2010); asimismo, se ha demostrado que el consumo de proteínas del bacalao conduce a una disminución significativa de la proteína C reactiva en suero (Ouellet *et al.*, 2008) y mejoró la sensibilidad de la insulina (Ouellet *et al.*, 2007) en comparación a otro tipo de proteínas, lo cual indicó que las proteínas del bacalao pueden contribuir a la prevención de diabetes tipo 2. Además, se ha demostrado que el consumo de proteína de pescado disminuye el contenido de colesterol en suero mediante la inhibición de la absorción de colesterol y ácidos biliares (Hosomi *et al.*, 2011).

Los péptidos bioactivos son fragmentos específicos de proteínas que además de actuar como fuentes de nitrógeno y de aminoácidos tienen numerosas y potenciales funciones fisiológicas dentro del organismo humano. Tienen actividad antihipertensiva mediante la inhibición de la actividad de la enzima convertidora de angiotensina, la cual es un importante regulador de la presión sanguínea debido a que convierte a la angiotensina I a angiotensina II, que es un potente vasoconstrictor, incrementando así la presión sanguínea. Tienen actividad antioxidante, debido a que atrapan radicales durante la peroxidación. De igual forma, se ha observado la estimulación de las hormonas que regulan la saciedad, generando un efecto benéfico contra la obesidad. Asimismo, poseen propiedades antimicrobianas, antitrombóticas, probiótica e hipocolesterolémica. En general, el tamaño de éstos varía desde 2 hasta 20 aminoácidos y se encuentran encriptados dentro de la secuencia de la proteína pudiendo ser liberados durante la digestión gastrointestinal o bien durante el procesamiento de los alimentos. En la literatura se señala evidencia que demuestra que muchos organismos marinos

incluyendo moluscos y crustáceos, así como subproductos, e hidrolizados de proteínas y péptidos son promotores de la salud, además ayudan a la prevención de enfermedades crónicas.

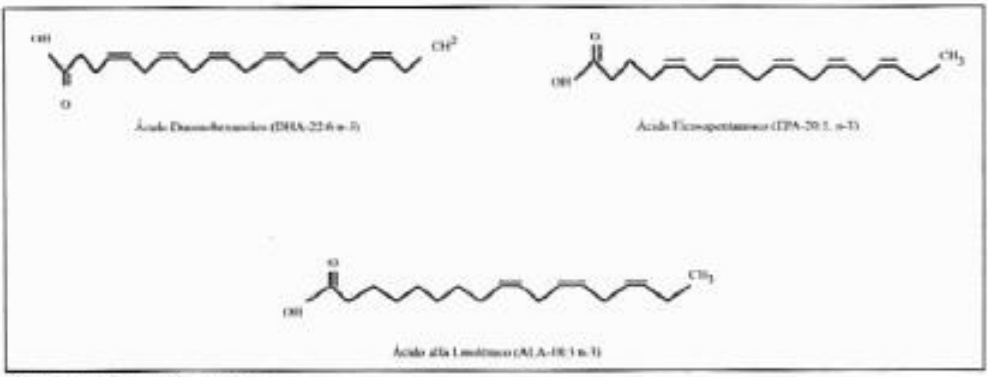
Ácidos grasos de cadena larga poliinsaturada (Omega-3)

Los ácidos grasos poliinsaturados Omega-3, pertenecen a una familia de ácidos grasos esenciales, los cuales se caracterizan por presentar su primer doble enlace en el carbono número 3, contados a partir del grupo metilo terminal de la cadena de carbono que constituye la columna vertebral del ácido graso. Existen dos subgrupos de ácidos grasos poliinsaturados omega 3. El primero es el ácido alfa linolénico (ALA), el cual se obtiene de los aceites de plantas (aceite de canola, colza, semillas de lino) y está constituido por 18 átomos de carbono con 3 insaturaciones (18:3). El segundo grupo se deriva los alimentos de origen marino, y los principales ácidos grasos de cadena poliinsaturada son el ácido eicopentanoico (EPA, 20:5) y el ácido docosahexanoico (DHA, 22:6). En la figura 1 se muestran la estructura química de éstos ácidos de cadena poliinsaturada. En los seres humanos, el ácido alfa linolénico puede elongarse y convertirse en EPA y DHA. Sin embargo, éstos únicamente se adquieren a partir de los productos de la pesca. En la tabla 1 se muestra el contenido de los ácidos grasos n-3 en especies de pescados marinos mexicanos de amplio consumo en México. Su contenido varía entre una especie y otra, además varía de acuerdo al lugar y tiempo de captura. Los ácidos grasos que componen a los distintos productos de la pesca, se caracterizan porque generalmente presentan un efecto benéfico sobre la salud y esto se le adjudica particularmente al EPA y DHA. Estos ácidos grasos tienen un efecto pleiotrópico, incluidos los efectos contra la inflamación, agregación plaquetaria, hipertensión y la hiperlipidemia. En la literatura se señala que se han llevado a cabo tanto estudios epidemiológicos como de intervención, en donde se ha demostrado el efecto preventivo de estos ácidos grasos en varios padecimientos, estos efectos pueden ser medidos a través de distintos mecanismos, incluyendo alteraciones en la composición de la membrana celular y expresión de genes.

De igual forma los distintos productos marinos contienen cantidades importantes de ácidos grasos monoinsaturados, la composición de distintas especies como salmón, bacalao, y arenque es del 30 al 60% de estos, de los cuales el ácido palmitoleico (16:1, n-9), ácido oleico (18:1, n-9), ácido eicosanoico (20:1, n-9), y ácido erúcico (22:1, n-9) son los más abundantes. Actualmente, se llevan a cabo distintos estudios sobres estos ácidos grasos para poder conocer con claridad el potencial benéfico sobre la salud.

En la literatura se indica que existen tres tipos de ácidos grasos omega 3: el ácido docosahexaenoico (DHA), el ácido eicosapentaenoico y el ácido alfa linolénico (ALA).

Figura 1. Estructura química del Ácido Docosohexanoico (DHA), Ácido Eicosapentanoico (EPA), Ácido Alfa Linoleico (ALA)



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 1. Contenido de ácidos grasos Omega-3 en especies marinas de consumidas en México

Pescado	*ALA*	*EPA*	DHA
	(mg/100g de filete)		
Angelito	4.18	12.23	123.74
Atún aleta amarilla	2.15	15.48	152.40
Bandera	3.66	3.82	35.67
Bobo escama	3.09	0.56	1.39
Conejo	0.58	15.66	28.75
Gurrubata	2.59	7.91	79.97
Lebrancha	7.24	77.92	84.82
Lengua	1.43	9.16	31.03

Lenguado	------	3.17	78.45
Merluza	1.78	22.54	102.08
Pargo huachinango	1.01	28.07	237.33
Picuda	2.56	55.54	35.79
Pierna	1.37	4.30	92.23
Rubia	1.99	1.49	237.88
Sargo	-----	55.67	85.00
Tiburón	1.90	7.93	23.82
Verdillo	0.64	12.25	84.82

Fuente: Castro-González *et al.* (2007).

Como el cuerpo no los puede sintetizar, es necesario adquirirlos en la dieta. Los primero dos (DHA y EPA) se encuentran en el músculo de pescado, mientras que ALA se encuentra en las plantas. Estos tres ácidos grasos tienen diferencias muy marcadas, sin embargo, el cuerpo puede convertir el ALA a DHA o EPA, al menos en cantidades que el cuerpo necesita. En el caso del DHA y EPA, los organismos marinos son los únicos alimentos que contienen naturalmente una cantidad alta de estos ácidos grasos. A estos se les considera como los ácidos grasos poliinsaturados que mayor impacto positivo tienen en la salud.

Los beneficios que tienen el EPA y DHA radican principalmente en una disminución de la aterosclerosis y trombosis. Esto incluye un efecto benéfico en las lipoproteínas circulantes y funciones plaquetarias. Asimismo, tiene un efecto positivo en la obesidad, síndrome metabólico, sensibilidad de la insulina e inflamación. Pero también tienen un fuerte efecto en la compresión vascular y presión sanguínea. En específico el EPA, contribuye a regular la inflamación, el sistema inmunitario, la circulación y la coagulación sanguínea, mientras que el DHA, juega un papel importante en el desarrollo del cerebro y la retina en recién nacidos. También juega un papel importante en la salud de las articulaciones y la función cerebral.

La Asociación Americana del Corazón recomienda una ingesta diaria de ácidos grasos poliinsaturados de 400-500 mg de EPA+DHA, valor que se puede alcanzar mediante el consumo de dos raciones de pescado graso por semana o aceite de pescado o de hígado de pescado. En el caso de personas con problemas coronarios se recomienda el consumo de 1 g de EPA+DHA, mientras que para personas con hiper trigliceridemia

se recomienda de dos a cuatro gramos de EPA+DHA. Varios estudios sugieren que consumiendo 250-500 mg/día de EPA y DHA se reduce en un 25% el riesgo de muerte por enfermedades cardiovasculares, mientras que un consumo de 1-2 veces a la semana de pescado graso, reduce el riesgo de enfermedad coronaria en 36%, y la mortalidad global en 17 por ciento. En otros estudios, se ha observado que el consumo de pescado varias veces a la semana puede reducir en 50% el riesgo de desarrollar cáncer de próstata.

Carbohidratos y fibra

El músculo de la mayoría de los organismos marinos contiene una cantidad reducida de carbohidratos (Anthony *et al.*, 2000), pero las algas marinas comestibles (roja, verde y café) contienen una gran cantidad de carbohidratos y de fibra dietaria. El contenido total de fibra dietaria en algas marinas es de 29.3-62.3 g/100 g (Dawczynski *et al.*, 2007). Estos valores son mayores comparando con el contenido de fibra en algunas frutos y vegetales. Su consumo resulta sumamente benéfico a la salud. Uno de los principales carbohidratos que se encuentra en la pared celular del alga café es el fucoidano, un polisacárido sulfatado, el cual según diversas investigaciones han reportado una gran cantidad de propiedades biológicas, entre las cuales destacan propiedades anticoagulantes, antivirales, antitrombótica, actividad antioxidante y antitumoral, así como un efecto positivo en el sistema inmune. Además, estos efectos benéficos a la salud se incrementan con el grado de sulfatación. Otro polisacárido sulfatado también muy importante en la salud es el propirano, el cual se encuentra en el alga marina roja. Este polisacárido que se utiliza como suplemento, alimenticio, presenta actividad antioxidante y antitumoral e incrementa la cuenta de glóbulos blancos, asimismo, ayuda en las enfermedades como el VIH, herpes genital e influenza.

Al igual que los anteriores polisacáridos, laminarina, que es un producto que se obtiene de las algas pardas, presenta también efectos benéficos a la salud debido a que actúa como regulador del metabolismo intestinal (Devillé *et al.*, 2004). En diversos estudios en animales, se ha demostrado que los polisacáridos provenientes de las distintas algas han demostrado su capacidad de reducir el colesterol total plasmático, LDL y triglicéridos (Amano *et al.*, 2005).

El quitosano, polisacárido que se deriva principalmente del exoesqueleto de crustáceos, y la condroitina, que se deriva del tejido cartilaginoso de los elasmobranquios, tienen aplicaciones biotecnológicas, médicas y farmacéuticas, tiene un efecto benéfico en la administración oral de condroitina en los pacientes con osteoartritis, observándose un efecto antiinflamatorio e inhibiéndose la degradación del cartílago.

Micronutrientes

Vitaminas

Otros compuestos importantes para la salud son las vitaminas. Entre las principales vitaminas que se encuentran en los pescados y mariscos figuran las vitaminas hidrosolubles del grupo B (B1, B2, B3 y B12) y las liposolubles A, D y, en menor proporción, E. Como ocurre en otros alimentos, el contenido de algunas vitaminas (B1, B3 y B12) se reduce por las preparaciones culinarias del pescado (hervido, freído, horneado). Con respecto a las vitaminas liposolubles, su contenido es significativo en los pescados grasos y no lo es tanto en pescados blancos y mariscos. En el caso de los pescados grasos, estos son considerados excelentes proveedores de vitamina D. Los humanos obtenemos la vitamina D a partir de la dieta, especialmente de los alimentos marinos, y durante la exposición solar por síntesis endógena (Dalgard *et al.*, 2010).

La forma activa de la vitamina D, está implicada en el metabolismo mineral óseo, y una deficiencia en la vitamina D se manifiesta con padecimientos como el raquitismo y osteomalacia, así como con la mineralización de los huesos y dientes. Además se relaciona con otras condiciones, como resistencia a la insulina (Chiu *et al.*, 2004), con el síndrome metabólico (Ford *et al.*, 2005), obesidad (Wortsman *et al.*, 2000), esclerosis múltiple (MacLean y Freedman, 2009), padecimientos cardiovasculares (Wallis *et al.*, 2008) y algunos tipos de cáncer (Holick, 2007). Las personas con mayor riesgo de padecer insuficiencia de vitamina D, son las que viven en latitudes altas, las que poseen piel pigmentada y las personas de la tercera edad, debido a que con la edad y la piel oscura disminuyen la síntesis endógena de ésta vitamina (Lips, 2006).

En el caso de la vitamina A, esta se requiere para la visión y la integridad de la membrana epitelial. Ésta y la vitamina E, son de gran interés nutricional porque poseen acción antioxidante, es decir, constituyen un factor protector frente a ciertas enfermedades degenerativas, cardiovasculares y carcinogénicas.

Minerales

El músculo de pescados y mariscos representa una buena fuente de minerales, entre los cuales se encuentran el yodo, calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, hierro y selenio. El contenido de estos minerales es mayor en los organismos marinos que en los terrestres Actualmente, se reconoce que la deficiencia de ciertos

minerales en la alimentación se asocia a problemas de salud. Uno de los minerales más importantes en los productos marinos es el yodo. Este influye en la formación de hormonas tiroideas, las cuales cuando disminuyen por abajo de los niveles normales produce irritabilidad nerviosismo y obesidad. Enfermedades como el bocio, causada por una deficiencia de yodo, se caracterizan por un crecimiento anormal de la glándula tiroides. El consumo de pescado, sobre todo el de mar, aporta minerales a la dieta que pueden ayudar a reducir la incidencia de esta enfermedad

El calcio tiene la función de reconstruir huesos y dientes y colabora en la coagulación de la sangre, también ayuda a prevenir hemorragias e inflamaciones y asegura una respuesta normal del músculo y de los nervios, además ayuda a metabolizar el hierro. El fósforo se combina con el calcio para formar los huesos, mantiene el sistema alcalino, activa los enzimas y el metabolismo de las grasas y los hidratos de carbono. Ayuda a la regeneración celular, su deficiencia o carencia puede producir: huesos y dientes frágiles, fatiga, inapetencia y propensión a infecciones. Su exceso puede producir dificultad de absorción del calcio.

El potasio es esencial para el crecimiento normal, los músculos sanos y los nervios. Su deficiencia o carencia puede producir debilidad muscular, náuseas, cansancio e insuficiencia cardiacas. El sodio ayuda a los músculos a funcionar y protege los tejidos cuando se pierde agua en el cuerpo. Su exceso puede producir: náusea, presión alta y retención de líquido. El magnesio fortalece el sistema cardiovascular y es esencial para la estructura de los huesos y para los nervios. Activa las enzimas necesarias para el proceso digestivo. Su deficiencia o carencia puede producir riesgo de diabetes, fatiga, arritmias, espasmos musculares y nerviosismo. El hierro es necesario para el desarrollo de los glóbulos rojos y para transportar oxígeno a las células. Su deficiencia o carencia puede producir: anemia, cansancio, tristeza, depresión y caída de cabello. El selenio es necesario para mantener la piel, uñas y cabello saludables. Su deficiencia o carencia puede producir: trastornos en el cuero cabelludo, así como problemas gastrointestinales y neurológicos. Asimismo, incrementar la ingesta con nutrientes antioxidantes que incluyan al selenio, incrementa las defensas del sistema antioxidante en adultos mayores. Existe una relación directa entre la falta de selenio en la dieta con el estrés oxidativo. El consumo limitado e insuficiente de selenio se ha relacionado con procesos inflamatorios y un incremento en la tasa de mortalidad de mujeres mayores (Walston *et al.*, 2006). Además, el selenio ayuda en los procesos de detoxificación de xenobióticos y de algunos metales pesados. (Brooks *et al.*, 2001). Una de las enzimas más importantes que contiene selenio es la glutatión peroxidasa, la cual a su vez provee defensas contra el daño causado por radicales libres. Se cree que los radicales libres son la causa de algunos trastornos severos, particularmente el envejecimiento cerebral (Chen y Berry, 2003). Es por

esto que incrementar la ingesta alimentaria de selenio se ha vinculado a la protección contra diversos tipos de cáncer (Jackson y Combs, 2008). Su exceso puede producir: cardiopatías en los hombres, producción de radicales libres y cáncer como el de próstata y cáncer de colon, piel y pulmón (AICR, 2007).

Otros componentes bioactivos

Carotenoides

Los carotenoides son compuestos pigmentados naturales, sintetizados por las plantas, algas, hongos, levaduras y bacterias, y son uno de los grupos de pigmentos naturales más importantes en los productos marinos. Los organismos son incapaces de sintetizarlos y los adquieren de la alimentación y en algunas ocasiones éstos se utilizan como ingredientes en la alimentación animal para hacer más atractivo el producto. En términos de investigación, los carotenoides de mayor importancia en la salud humana son el beta-caroteno, alfa caroteno, beta-criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina. En general, los carotenoides tienen varias funciones, son generadores de luz energética en organismos marinos fotosintéticos y además, poseen varias funciones biológicas, por ejemplo, el beta-caroteno es precursor de la vitamina A, la cual es de gran importancia en la visión, además se han vinculado con la mejora del sistema inmune, así como la disminución del riesgo de padecer enfermedades degenerativas, cardiovasculares.

La astaxantina es un pigmento rojo que brinda color a las distintas especies de salmón, langosta y aceites derivados de distintos crustáceos marinos. Por mencionar otros carotenoides, podemos señalar a la fucoxantina, la cual se encuentra comúnmente en algas comestibles, el uso de estos carotenoides han mostrado un efecto benéfico al reducir los niveles de obesidad, esto se logra al inhibir la actividad de lipasas intestinales.

Polifenoles

Los polifenoles son un grupo de compuestos heterogéneos que se clasifican estructuralmente en flavonoides, ácidos fenólicos, ligninas y estilbenos (Tierney *et al.*, 2010). Las algas marinas contienen una gran variedad de estos componentes, los cuales brindan un efecto benéfico a la salud. Los polifenoles de algas marinas, son excelentes antioxidantes naturales, por ejemplo, la plorotanina, un

polifenol con capacidad antioxidante, extraído de algas, ha mostrado inhibir la proliferación de células cancerígenas (Kwon *et al.*, 2007). De igual forma, estos polifenoles influyen favorablemente en los procesos antiinflamatorios, y tienen un efecto benéfico contra la diabetes, ya que inhiben las enzimas amilasas y glucosidadas.

Fitoesteroles

Los fitoesteroles son sustancias cuya estructura química es similar a la del colesterol. Se encuentran en plantas y también dentro de los productos de la pesca, especialmente los invertebrados marinos (esterol y estanol) (Kanazawa, 2001). En la literatura se ha documentado el efecto de los fitoesteroles en la disminución del colesterol y LDL, y también se han asociado con beneficios cardiovasculares (Derdemezis *et al.*, 2010). Un mecanismo propuesto, es que los fitoesteroles inhiben la absorción intestinal del colesterol (Ostlund, 2007). De igual forma, se ha demostrado que el sitoesterol modula la síntesis de colesterol (Marinangeli y Jones, 2010). Este efecto hipocolesterolémico asociado con la ingesta de microalgas, se debe al contenido de fitoesteroles. El aceite obtenido a partir de la microalga *Schizochytium* sp., contiene elevados niveles de DHA, además de un alto contenido de fitoesteroles (Bocanegra *et al.*, 2009). En distintas investigaciones se ha señalado que tanto en niños como en adultos con antecedentes de familiares que padecen hipercolesterolemia, el empleo de fitoesterol en la dieta ha demostrado que reduce el colesterol y LDL de 10 a 16 por ciento. También los fitoesteroles son utilizados como ingredientes en alimentos funcionales como yogurt, leche y jugo.

Taurina

La taurina es el aminoácido libre sulfurado más abundante (Boucknooghe *et al.*, 2006), que se encuentra presente en la mayoría de los tejidos, y en mayor proporción en el corazón, en sangre, retina y cerebro (Wójcik *et al.*, 2010). La taurina es considerada como un nutriente esencial porque su síntesis endógena es limitada, sin embargo, puede ser sintetizada a partir de metionina y cisteína en presencia de la vitamina B6 (Boucknooghe *et al.*, 2006), pero el principal suministro es a partir de la dieta, ya que se encuentra presente en el huevo, carne y en los productos de la pesca, particularmente algunos invertebrados marinos (Kataoka y Ohnishi, 1986).

El incremento en el consumo dietario de taurina se ha relacionado a efectos benéficos a la salud, ya que actúan como cardioprotectores (Zulli, 2010), hipertensivo (Militante y Lombardini, 2002) e inhibitorios de células tumorales, además se ha observado una disminución de problemas visuales en pacientes que padecen diabetes (Yu y col. 2008). Su deficiencia se asocia con síntomas de ansiedad, epilepsia, hiperactividad, depresión (Kong *et al.*, 2006). Elvevoll *et al.*, (1991), reportaron que la administración de suplementos de taurina en conjunto con ácidos grasos poliinsaturados omega-3 mejoran los niveles lipídicos en sangre en comparación con personas que sólo recibieron suplementos de omega-3. Esto se corrobora con diversos estudios en donde personas con problemas de obesidad la consumieron y se observó una reducción de los niveles de triglicéridos (Zhan *et al.*, 2004).

Sobre los autores

Dalila Fernanda Canizales Rodríguez,[1] Victor Manuel Ocaño Higuera,[1*] Enrique Márquez Ríos,[2] Nathaly Montoya Camacho,[1] María Susana Yepiz Gómez,[2] José Luis Cárdenas López,[2] Ramón Gertrudis Valdez Melchor.[1] [1]Depto., de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. [2]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora, Encinas y Rosales s/n. Hermosillo, Sonora, 83000, México, correo electrónico*ocano@guayacan.uson.mx Tel/Fax: + 52 (662)2592163.

Referencias

AICR (2007), *Food, nutrition, physical activity and the prevention of cancer: summary: a global perspective*, Washington, D. C. American Institute for Cancer Research.

Amano, H., M. Kakinuma, D. Coury, H. Ohno y T. Hara (2005), *Effect of a seaweed mixture on serum lipid level and platelet aggregation in rats*, *Fish. Sci.*, 71, pp. 1160-6.

Anthony, J. A., D. D. Roby y K. R. Turco (2000), *Lipid content and energy density of forage fishes from the Northern Gulf of Alaska*, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 248, pp. 53-78.

Appleton, K. M., P. J. Rogers y A. R. Ness (2010), "Updated systematic review and meta-analysis of the effects of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids on depressed mood", *Am. J. Clin. Nutr.*, 91, pp. 757-70.

Bernstein, A. M., Q. Sun, F. B. Hu, M. J. Stampfer, J. E. Manson y W. C. Willett (2010), "Major dietary protein sources and risk of coronary heart disease in women", *Circulation*, 22, pp. 876-83.

Bocanegra, A., S. Bastida, J. Benedí, S. Ródenas y F. J. Sánchez-Muniz (?), "Characteristics and nutritional and cardiovascular-health properties of seaweeds", *J. Med. Food*, 12, pp. 236-258.

Bouckenooghe, T., C. Remacle y B. Reusens (2006), "Is taurine a functional nutrient?", *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, núm. 9, pp. 728-33.

Brooks, J. D., E. J. Metter, D. W. Chan, L. J. Sokoll, P. Landis, W. G. Nelson, D. Muller, R. Andres and H. B. Carter (2001), "Plasma selenium level before diagnosis and the risk of prostate cancer development", *J. Urol.*, núm. 166, pp. 2034-2038.

Castro-González, M. I., V. A. Ojeda, B. S. Montaño, C. E. Ledesma y R. F. Pérez-Gil (2007), "Evaluación de los ácidos grasos n-3 de 18 especies de pescados marinos mexicanos como alimentos funcionales", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(1), pp. 85-93.

Chen, J. y M. J. Berry (2003), "Selenium and selenoproteins in the brain and brain diseases", *J. Neurochem*, 86, pp. 1-12.

Chiu, K.C., A. Chu, V. L. Go y M. F. Saad (2004), "Hypovitaminosis D is associated with insulin resistance and beta cell dysfunction", *Am. J. Clin. Nutr.*, num. 79, pp. 820-825.

Dalgard, C., M. S. Petersen, A. V. Schmedes, I. Brandslund, P. Weihe y P. Grandjean (2010), "High latitude and marine diet: vitamin D status in elderly Faroese", *British Journal of Nutrition*, núm. 104, pp. 914-918.

Dawczynski, C., R. Schubert y G. Jahreis (2007), "Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products", *Food Chem.*, núm. 103, pp. 891-899.

Derdemezis, C. S., T. D. Filippatos, D. P. Mikhailidis y M. S. Elisaf (2010), "Effects of plant sterols and stanols beyond low-density lipoprotein cholesterol lowering", *J. Cardiovasc. Pharmacol. Ther.*, num. 15, pp. 120-34.

Devillé, C., J. Damas, P. Forget, G. Dandrifosse y O. Peulen (2004), "Laminarin in the dietary fibre concept", *J. Sci. Food Agric.*, núm. 84, pp. 1030-1038.

Elvevoll, E. O., K. E. Eilertsen, J. Brox, B. T. Dragnes, P. Falkenberg, J. O. Olsen, B. Kirkhus, A. Lamglait y B. Østerud (1991), "Seafood diets: hypolipidemic and antiatherogenic effects of taurine and n-3 fatty acids", *Atherosclerosis*, num. 200, pp. 396-402.

FAO/WHO (1991), "Protein quality evaluation. Report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation", *FAO Food Nutrition paper*, p. 51.

Ford, E.S., U. A. Ajani, L. C. McGuire, S. Liu (2005), "Concentrations of serum vitamin D and the metabolic syndrome among U.S. Adults", *Diabetes Care*, núm. 28, pp. 1228-1230.

Friedman, M. (1996), "Nutritional value of proteins from different food sources", *J Agric Food Chem.*, num. 44, pp. 6-29.

Holick, M. F. (2007), "Vitamin D deficiency", *N. Engl. J. Med.*, num. 357, pp. 266-281.

Hosomi, R., K. Fukunaga, H. Arai, S. Kanda, T. Nishiyama y M. Yoshida (2011), "Fish protein decreases serum cholesterol in rats by inhibition of cholesterol and bile acid absorption", *Journal of Food Science*, 76(4), pp. 116-121.

Jackson, M. I. y G. F. Combs Jr. (2008), "Selenium and anticarcinogenesis: underlying mechanisms", *Curr .Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, núm. 11, pp. 718-26.

Kanazawa, A. (2001), "Sterols in marine invertebrates", *Fish. Sci.*, núm. 67, 997-1007.

Kataoka, H. y N. Ohnishi (1986), "Occurrence of taurine in plants", *Agric. Biol. Chem. Tokyo*, núm. 50, pp. 1887-8.

Kitts, D. D. y K. Weiler (2003), "Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery", *Curr. Pharm. Des.* núm. 9, pp. 1309-23.

Kong, W. X., S. W. Chen, Y. L. Li, Y. J. Zhang, R. Wang, L. Min y X. Mi (2006), "Effects of taurine on rat behaviors in three anxiety models", *Pharmacol. Biochem. Behav*, num. 83, pp. 271-276.

Kwon, H. J., S. Y. Bae, K. H. Kim, C. H. Han, S. H. Cho, S. W. Nam, Y. H. Choi y B. W. Kim (2007), "Induction of apoptosis in HeLa cells by ethanolic extract of Corallina pilulifera", *Food Chemistry*, num. 104, pp. 196-201.

Larsen, R., K. E. Eilertsen y E. O. Elvevoll (2011), "Health benefits of marine food and ingredients", *J. of Biotech. Advances*, num. 29, pp. 508-518.

Lee, J. H, J. H. O'Keefe, C. J. Lavie y W. S. Harris (2009), "Omega-3 fatty acids: cardiovascular benefits, sources and sustainability", num. 6, *Nat. Rev. Cardiol.*, pp. 753-8.

Lips, P. (2006), "Vitamin D physiology", *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, num. 92, pp. 4-8.

MacLean, H. J. y M. S. Freedman (2009), "Multiple sclerosis: following clues from cause to cure", num. 8, *Lancet Neurol*, pp. 6-8.

Marinangeli, C. y Jones. (2010), "Plant sterols, marine-derived omega-3 fatty acids and other functional ingredients: a new frontier for treating hyperlipidemia", num. 7, *Nutr. Metab.*, pp. 76-83.

Militante, J. D. y J. B. Lombardini (2002), "Treatment of hypertension with oral taurine: experimental and clinical studies", *Amino Acids*, num. 23, pp. 381-93.

Mozaffarian, D. y E. B. Rimm (2006), "Fish intake, contaminants, and human health: evaluating the risks and the benefits", *JAMA*, num. 296, pp. 1885-99.

Ocaño-Higuera, V.M., A. Z. Graciano-Verdugo, M. A. Tapia-López, F. J. Castillo-Yáñez (2008), "El consumo de alimentos de origen marino: un camino a la salud", *Revista Universidad de Sonora*.

Ostlund, R. E. (2007), "Phytosterols, cholesterol absorption and healthy diets", *Lipids*, num. 42, pp. 41-5.

Ouellet, V., J. Marois, S. J. Weisnagel y H. Jacques (2007), "Dietary cod protein improves insulin sensitivity in insulin-resistant men and women: a randomized controlled trial", *Diabetes Care*, 30, pp. 2816-2821.

Ouellet, V., S. J. Weisnagel, J. Marois, J. Bergeron, P. Julien, R. Gougeon, A. Tchernof, B. J. Holub y H. Jacques (2008), "Dietary cod protein reduces plasma C-reactive protein in insulin-resistant men and women", *J. Nutr.*, num. 138, pp. 2386-2391.

Robinson, J. G., N. Ijioma y W. Harris (2010), "Omega-3 fatty acids and cognitive function in women", *Womens Health* (*Lond Engl*), num. 6, pp. 119-134.

Rosell, M., A. M. Wesley, K. Rydin, L. Klareskog y L. Alfredsson (2009), "Dietary fish and fish oil and the risk of rheumatoid arthritis", *Epidemiology*, num. 20, pp. 896-901.

SAGARPA (2010), "Anuario Estadístico de Pesca 2010", Comisión Nacional de Acualcultura y Pesca, Secretaría de Agricultua, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Conapesca/SAGARPA, México.

Sikorski, Z. E. y B. S. Pan (1994), "Preservation of seafood quality" en F. Shahidi y J. R. Botta, Blackie, *Seafoods: Chemistry, Processing Technology and Quality*, Academic and Professional, Glasgow, U.K., p. 168.

Szymanski, K. M., D. C. Wheeler y L. A. Mucci (2010), "Fish consumption and prostate cancer risk: a review and meta-analysis", *Am. J. Clin. Nutr.* num. 92, pp. 1223-1233.

Wallis, D. E., S. Penckofer y G. W. Sizemore (2008), "The 'sunshine deficit' and cardiovascular disease", *Circulation*, num. 118, pp. 1476-1485.

Walston, J., Q. Xue, R. D. Semba, L. Ferrucci, A. R. Cappola, M. Ricks, J. Guralnik y L. P. Fried (2006), "Serum antioxidants, inflammation, and total mortality in older women", *Am. J. Epidemiol*, num. 163, pp. 18-26.

Wortsman, J., L. Y. Matsuoka, T. C. Chen y M. F. Holick (2000), "Decreased bioavailability of vitamin D in obesity", *Am. J. Clin. Nutr.*, num. 72, pp. 690-693.

Tierney, M. S., A. K. Croft y M. Hayes (2010), "A review of antihypertensive and antioxidant activities in macroalgae", *Bot. Mar.* num. 53, pp. 387-408.

Venugopal, V. (2006), *Seafood Processing*, CRC Press Boca Ratón, FL.

WHO (2007), "Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of the Joint WHO/FAO/UNU", Expert Consultation. Geneva: World Health Organization.

Wójcik, O. P., K. L. Koenig, A. Zeleniuch-Jacquotte, M. Costa y Y. Chen (2010), "The potential protective effects of taurine on coronary heart disease", *Atherosclerosis*, num. 208, pp. 19-25.

Yu, X., Z. Xu, M. Mi, H. Xu, J. Zhu, N. Wei, K. Chen, Q. Zhang, K. Zeng, J. Wang, F. Chen y Y. Tang (2008), "Dietary taurine supplementation ameliorates diabetic retinopathy via anti-excitotoxicity of glutamate in streptozotocin-induced Sprague-Dawley rats", *Neurochem Res.*, num. 33, pp. 500-507.

Zhang, M., L. F. Bi, J. H. Fang, X. L. Su, G. L. Da, T. Kuwamori y S. Kagamimori (2004), "Beneficial effects of taurine on serum lipids in overweight or obese non-diabetic subjects", *Amino Acids*, num. 26, pp. 267-271.

Zulli, A. (2010), "Taurine in cardiovascular disease", *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, num. 14, pp. 57-60.

Calidad de las proteínas de productos pesqueros

Iván de Jesús Tolano Villaverde, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Josafat Marina Ezquerra Brauer, Wilfrido Torres Arreola, Ramón Gertrudis Valdez Melchor y Enrique Márquez Ríos

Resumen

Las proteínas son el macrocomponente más caro y preciado en la industria alimentaria. Éste, además de ser de vital importancia en la nutrición del ser humano, imparte atributos sensoriales únicos en los alimentos. Asimismo, las proteínas son las responsables de una gran variedad de propiedades funcionales en los alimentos. Se entiende entonces, que pueden jugar diversos roles; sin embargo, independientemente del aspecto sensorial y funcional-tecnológico, su principal función es aquella relacionada con el aspecto nutricional. Se sabe que las proteínas de origen acuático son de buena calidad, debido a que contienen en su estructura todos los aminoácidos esenciales. No obstante, dicha calidad está en función de la especie, así como del manejo y procesamiento al que se someten los organismos de origen acuático. Por ello, el presente capítulo abordará los cambios en la calidad proteica como resultado del manejo y procesamiento al cual se someten los organismos acuáticos.

Palabras claves: proteínas, calidad nutricia, manejo y procesamiento

Introducción

En México el consumo de proteínas de origen animal se obtiene principalmente a partir de organismos terrestres como pollo, res y cerdo (SAGARPA, 2011). A pesar de

que nuestro país se sitúa en una buena posición en lo que a producción pesquera se refiere, la ingesta de productos de origen acuático representa una fuente menor de este macroelemento en la dieta. El bajo consumo de los productos pesqueros en este país se relaciona con diversos factores, tales como: hábitos alimenticios, en donde el consumo de pescados o mariscos se debe a la época, como cuaresma y fin de año; escaso conocimiento acerca de su valor nutricional; estrato socioeconómico del consumidor, ya que algunas especies están solo al alcance de consumidores con gran poder adquisitivo, como ejemplo de estas especies podemos mencionar a langostas, camarones, jaibas, salmón, entre otras; sin embargo, la razón principal probablemente se deba al aspecto cultural (Castro, 2004; Ferber, 1973; Villezca y Martínez, 2002; Luna *et al.*, 2006). Los mexicanos en términos generales no tenemos el hábito de consumir alimentos de origen acuático, mientras que a nivel mundial se tiene una media per cápita de 17 kg, en China ésta es de 72 kg y en México la media apenas alcanza los 10 kg (FAO, 2011).

En nuestro país, el consumo de pescados y mariscos está relacionado en gran medida con la ubicación geográfica de la población (Fernández, 1986), debido a que se relaciona con la disponibilidad del producto para el consumidor. Ahora bien, los gustos y preferencias de los consumidores determinaran en gran medida la demanda de un producto. En cuanto al consumo de los productos pesqueros en México aún hay mucho por hacer, debido a que a pesar de que en el país se capturan y cultivan un importante número de especies de pescados y mariscos, la mayoría se destinan al mercado de exportación, lo que ha provocado una menor variedad de estos productos en el mercado interno, donde en ocasiones son de menor calidad y deficiente presentación, comercializándose principalmente a granel, enhielado, congelado y sin datos nutricionales, esto favorece a que exista un bajo consumo de este tipo de productos (Luna *et al.*, 2006).

Por lo anterior, es fundamental conocer las preferencias del consumidor nacional, esto incrementará el consumo de los productos pesqueros, ya que si bien es cierto que las exportaciones generan divisas, es importante hacer una reactivación en el mercado interno, debido a que los productos pesqueros dan la oportunidad a la población nacional de bajos ingresos, de una buena alimentación a precios accesibles (Luna *et al.*, 2006). Esto para no caer en la paradoja de que cada día un mayor número de mexicanos tiene carencias de alimento, y por lo tanto una población mal nutrida en un país que posee recursos naturales con un alto valor nutricio, como son los productos pesqueros (Cifuentes *et al.*, 1997, citados por Luna *et al.*, 2006)

Los productos de la pesca son altamente perecederos, por ello es de vital importancia el correcto manejo de los organismos desde su captura hasta su comercialización. Se tiene bien documentando cual es el impacto del manejo y procesamiento

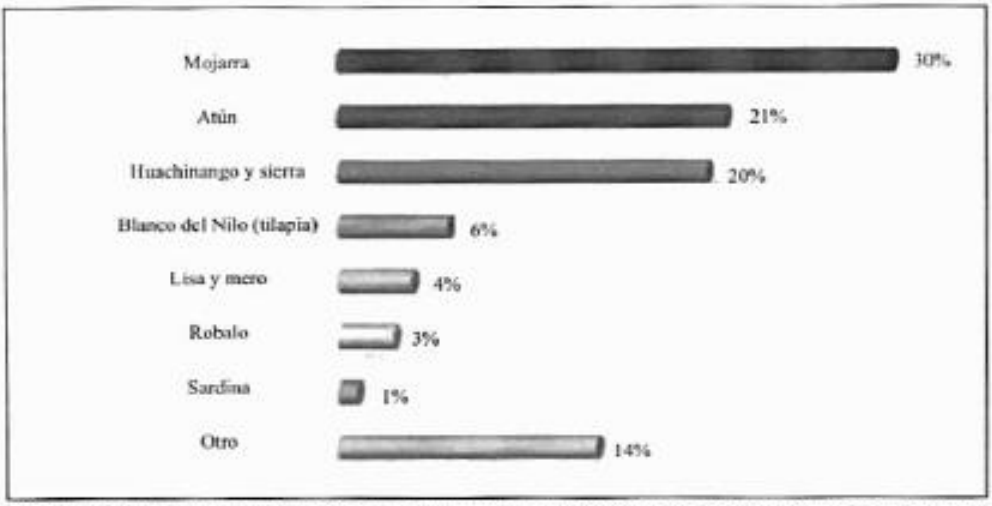
sobre la calidad sensorial, química, bioquímica y microbiológica; sin embargo, poco se ha hablado sobre cómo todas estas etapas influyen en la calidad proteica. Por ello, el presente capítulo describe cambios en las proteínas como resultado del manejo y procesamiento habitual al que se someten los productos pesqueros.

Situación del consumo de pescados y mariscos en México

En México las principales especies capturadas son destinadas para consumo humano directo, su captura está compuesta por peces óseos, como el huachinango, mero y atún; por elasmobranquios, como tiburón y cazón. Por otra parte, las principales especies de agua dulce capturadas son: bagre, bobo, carpa, el pescado blanco, las tilapias y las truchas. Estas pesquerías se realizan principalmente en los ríos de Tabasco y Veracruz (Cifuentes, Torres-García y Frías, 2011). Sin embargo, a pesar del gran aporte nutricional que poseen los pescados y mariscos, en México su consumo se caracteriza por tener alta demanda de mercado solamente en épocas, siendo la cuaresma y semana santa las principales, ya que se consume uno de cada cinco kilos de la producción pesquera, y el consumo per cápita de los mexicanos es de 12.8 kilogramos: 8.23 son de consumo directo (alimentación) y 4.58 indirectamente en productos derivados. Los principales estados consumidores en la república mexicana son: el Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Morelos y Distrito Federal, debido a que consumen siete de cada diez productos que son comercializados. A nivel nacional se ha estimado que la demanda de los productos pesqueros y acuícolas aumentará en los próximos años. Actualmente el consumo estimado es de un millón 112 mil toneladas para consumo directo y 649 mil 254 indirecto. Se estima que una quinta parte del consumo anual se realiza en cuaresma y semana santa (SAGARPA, 2011).

El hecho de que el mayor consumo del país se localice en los estados del centro puede relacionarse con la disponibilidad de los mismos, ya que en la ciudad de México es donde se encuentra el mercado la Nueva Viga (con una extensión de 9.2 hectáreas). Éste es el principal centro de distribución del país y uno de los más importantes en América Latina, comercializa aproximadamente 1 500 toneladas, conformando el 71% de la demanda de especies como la sierra, mojarra, atún y huachinango, mientras que el marisco más consumido es el camarón (figura 1) (SAGARPA, 2011).

Figura 1. Variedades más consumidas (porcentaje)



Fuente: Profeco, sondeo sobre hábitos de consumo de pescados y mariscos en Cuaresma y Semana Santa 2010.

Para aumentar el consumo de los productos acuáticos, el desarrollo de productos con valor agregado podría ser una opción viable, ya que llamarían más la atención del consumidor y le daría más variedad de presentaciones para consumir y no solamente a los que está acostumbrado a comprar, que son principalmente frescos, enhielados y congelados.

Valor nutricional de pescados y mariscos

Los pescados y los mariscos en general representan una buena fuente nutricional, ya que aportan vitaminas hidrosolubles y liposolubles, así como ciertos minerales. Además, algunas especies son buenas fuentes de ácidos grasos ω-3 y ω -6. Por otra parte, reciben especial atención debido a que aportan proteínas que poseen un alto valor biológico (Davalos *et al.*, 2005; citados por Luna *et al.*, 2006), ya que pueden encontrarse todos los aminoácidos esenciales que el hombre necesita consumir a partir de la dieta. Sin embargo, su composición y por ende su valor nutricional estarán influenciados por diferentes variables, como son: la especie, la edad, el medio en el que se desarrollan, tipo de alimentación, la época de captura (Ordoñez y De la Hoz, 1999), el tipo de captura, si son cultivados, así como el manejo y procesamiento al cual son sometidos.

Valor proteico de pescados y mariscos

Los pescados y mariscos se caracterizan por ser un tipo de alimento que aporta una buena cantidad de proteína de excelente calidad, ya que cuentan con todos los aminoácidos esenciales; sin embargo, presentan ventajas sobre la carne, debido a que aportan menor energía calórica, ya que contienen menor contenido de grasa y su proteína es más fácilmente digerida (Iglesias y Gomez, 2005). Debido al poco conocimiento nutricional acerca de los productos pesqueros y acuícolas, a continuación se presentan algunas investigaciones enfocadas a la cantidad y calidad proteica de pescados y mariscos.

En un estudio realizado por Izquierdo *et al.* (2001), se evaluó el contenido de proteína de doce especies de pescados, las cuales fueron: armadillo (*Hypostomus watwata*), cachama (*Colosoma macropomun*), tilapia (*Oreochromis* sp.), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), carpeta (*Eugerres awlae*), corvina (*Cysnoscion maracaiboensis*), lisa (*Mugil curema*), róbalo (*Centropomus undecimalis*), bocachico (*Prochilodus reticulatus*), mero (*Epinephelus striatus*), merluza (*Merluccius albidus*) y pargo (*Lutjanus buccanella*), en donde el menor porcentaje proteico fue para Merluza con 18.7% y el mayor fue para armadillo con 25.53% y un promedio de 21.44% en las 12 especies estudiadas. Estos niveles proteicos resultan elevados y son comparables con el contenido proteico que poseen otros organismos como el pollo (20%), carne de vacuno (20 a 22%), y cerdo (19 a 20%), cuyos valores satisfacen los requerimientos mínimos diarios de la dieta del hombre (Stansby, 1963; citados por Izquierdo *et al.*, 2001). Por otra parte la tilapia presentó el mayor contenido de aminoácidos esenciales, con 10.93%, mientras que la cachama fue la menor con 6.1%, de las doce especies analizadas. La metionina en las especies armadillo, bocachico, corvina, merluza y pargo está presente en menor porcentaje, con 0.29, 0.32, 0.50, 0.53 y 0.49%, respectivamente; sin embargo, la lisina fue el aminoácido esencial que estuvo presente en mayor porcentaje en estas especies, siendo 1.52, 1.91, 1.48, 1.50 y 1.65%, respectivamente. De acuerdo a Tavil y Gonik (1969), la lisina es uno de los aminoácidos que se encuentran presentes en mayor concentración en el pescado y que esta elevada concentración podría resultar negativa, debido al desequilibrio con respecto a otros aminoácidos que se encuentran en menor proporción. No obstante, si se tiene una dieta variada, el pescado es una fuente idónea para suplementar la carencia de lisina de otros alimentos como los cereales deficientes en lisina (Izquierdo *et al.*, 2001).

Comparando el contenido de histidina en las 12 especies estudiadas con la carne de bovino (34 mg/g) y leche de vaca (27 mg/g), se observó que en promedio de las especies contenían mayor cantidad de histidina (53 mg/g). Sin embargo, respecto a

los aminoácidos valina (32 mg/g), leucina (55 mg/g) e isoleucina (35 mg/g), éstos se encontraron en menor concentración en comparación con la carne y la leche, además de que están por debajo de los requerimientos mínimos establecidos por la FAO. No obstante, el contenido de la lisina estuvo por arriba de lo requerido por la FAO (55 mg/g), mientras que el promedio de las 12 especies fue de 56 mg/g, esto es muy importante debido a que este organismo considera a la lisina como un aminoácido limitante en la dieta (Izquierdo *et al.*, 2001).

Según Allara *et al.* (2001), el contenido de proteína en atún (*Thunnus thynnus*) es de 23.45% y es ligeramente mayor que el reportado para el caso de pollo (19%), cerdo (20%) y bovino (20-22%) (FAO/WHO/ONU, 1985). El aminoácido con mayor concentración es la isoleucina (8.13 mg de aminoácido/ 100 g de proteína), mientras que metionina presenta la menor concentración (3.0 mg de aminoácido/ 100 g de proteína), en tanto que la lisina presenta una concentración mayor (67 mg de aminoácido/g de proteína).

En cuanto a mariscos se refiere, el mejillón (*Mytilus californianus*) contiene 14.4% de proteína (De la Garza, 1987), mientras que su contenido de aminoácidos esenciales se compone de la siguiente manera (valores expresados por cada 100 g de proteína): arginina 3.47%, histidina 0.69%, leucina 3.77%, isoleucina 2.47%, lisina 2.92%, metionina 1.3%, fenilalanina 2%, treonina 2.28% y valina 2.62% (Mateus y Scoot, 1986).

Dentro de los alimentos de origen marino, el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) contiene 16. 4 g de proteína/ 100 g de porción comestible, la cual es mayor que la del pulpo (12.6 g de proteína/ 100 g de porción comestible) (FAO-Latinfoods, 2002). *Dosidicus gigas* destaca por la calidad de su carne, debido a que aporta los diez aminoácidos esenciales para el cuerpo humano (Córdova, 2005) y es de fácil digestión, de este organismo puede aprovecharse hasta el 75% de sus partes después de eviscerarse (Salinas *et al.*, 2003), además de ser una especie magra (Ezquerra *et al.*, 2002). En el caso del calamar gigante su relación taurina-colesterol se ha convertido en un *plus* para que el mercado de esta especie se amplíe, ya que la tendencia al consumo de productos más saludables es creciente. La taurina es un aminoácido compuesto, que suprime la acumulación de colesterol en el cuerpo, lo que trae como consecuencia que el colesterol casi nunca se eleve, además la taurina posee otras funciones que ayudan a que el cuerpo funcione mejor, como ejemplo, la reducción de la grasa neutra, mantiene la presión arterial y previene la diabetes al proporcionar la secreción de la insulina (Klett, 1996).

Efecto del manejo y procesamiento sobre la calidad de las proteínas

El manejo y el proceso al que son sometidos los alimentos implican una serie de operaciones unitarias para transformar la materia prima en el producto final, que en ciertos casos puede pueden afectar los nutrientes o la disponibilidad de los mismos para que sean bien aprovechados. Por lo que es de vital importancia analizar qué pasa con las proteínas al aplicarse diferentes tratamientos, por ello a continuación se presentan algunas investigaciones enfocadas al estudio de los cambios que sufren las proteínas, con los diversos métodos de conservación.

Efecto de la temperatura

Refrigeración. Las bajas temperaturas se utilizan para aumentar la vida de anaquel de los alimentos y más en el caso de pescados y mariscos, que son altamente perecederos, debido a que inmediatamente después de la muerte algunos cambios bioquímicos y enzimáticos se activan en el músculo del pescado y si el pescado se maneja de manera inadecuada, estos cambios se producen más rápidamente. Entre los cambios más graves está la degradación del músculo causado por las proteasas endógenas, que es la causa primaria de la pérdida de calidad proteica durante el almacenamiento en frío o el manejo pos captura (Haard, 1994).

Cuando el pescado es almacenado a bajas temperaturas, tanto las reacciones enzimáticas como las reacciones químicas disminuyen, por ello los cambios bioquímicos y fisicoquímicos han sido utilizados como parámetros para medir el deterioro del músculo (Benjakul *et al.*, 1997; Rawdkuen *et al.*, 2008).

En un estudio realizado con siluro gigante (*Pangasianodon gigas*), Rawdkeun *et al.* (2010), almacenaron el pescado a 4 °C por 14 días para determinar el efecto que tiene el almacenamiento en refrigeración sobre los cambios bioquímicos y fisicoquímicos del músculo. Las mediciones se realizaron a los 0, 2, 4, 7, 10 y 14 días de almacenamiento. En el caso de los cambios bioquímicos se observó una marcada disminución de la actividad a los 14 días de (ATPasa), mientras que el estudio de la hidrofobicidad de superficie de las proteínas musculares, así como la cuantificación de grupos sulfhidrilos reactivos, solo presentaron un pequeño decremento. Mientras que, el patrón electroforético mostró que la cadena pesada de miosina disminuyó su intensidad conforme aumentó el tiempo de almacenamiento, atribuyéndose lo anterior a la actividad enzimática de proteasas endógenas, principalmente. Por otra parte, en la prueba de textura (esfuerzo al corte) se registró la mayor fuerza al segundo día. Mientras que el análisis de microscopía electrónica de barrido mostró como los haces

musculares eran menos compactos conforme pasaba el tiempo de almacenamiento. Estos autores llegaron a la conclusión de que a pesar de que se observan cambios considerables durante el almacenamiento en refrigeración, estos cambios no son tan considerables como para afectar la apariencia de la muestra (Rawdkuen *et al.,* 2010). Poco se ha estudiado sobre el impacto de cambios conformacionales y estructurales sobre la calidad nutricia de las proteínas, más bien, estos estudios se han conducido con la finalidad de explicar los cambios en la funcionalidad de las proteínas.

Enhielado. Reza *et al.* (2009), evaluaron la vida de anaquel de diferentes especies tropicales durante el almacenamiento en hielo, las especies fueron mero de plata (*Johnius argentatus*), Bombay duck (*Harpo donnehereus*), patudo (*Scomber omorusgottatus*), china reineta (*Stromateus chinensis*) y pez sable (*Trichiurus haumela*), para ello evaluaron aspectos organolépticos, bioquímicos y bacteriológicos, encontrándose que las cinco especies se encontraban con calidad aceptable a los 10-13 días; sin embargo, las especies china reineta y patudo, pueden durar de 2 a 3 días más que las otras tres especies. El análisis proximal mostró que la humedad incrementó ligeramente, mientras que tanto el contenido de proteínas y lípidos baja gradualmente conforme aumenta el tiempo de almacenamiento. Los cambios en la actividad ATPasa de las proteínas miofibrilares y su respectiva solubilidad mostraron que la actividad Ca^{+2} ATPasa en presencia de KCl 0.1 M y 0.5 M decrece gradualmente, mientras que en la actividad Mg^{+2} ATPasa no existen cambios significativos en la presencia y ausencia de Ca^{+2}. Los autores encontraron que la solubilidad de las proteínas miofibrilares de todas las especies analizadas disminuyó considerablemente durante el almacenamiento en hielo y que el decremento en la actividad ATPasa y la solubilidad indican la desnaturalización de las proteínas miofibrilares durante el almacenamiento en hielo (Reza *et al.,* 2009).

Congelado. El método de congelación es excelente para la conservación de la calidad. La congelación se realiza en los barcos que se dedican a la pesca, ya que cuentan con congeladores para congelar inmediatamente después de pescar (Cappeln *et al.,* 1999). Sin embargo, a pesar de ser un muy buen método de conservación, las proteínas del pescado y mariscos pueden presentar cambios estructurales y fisicoquímicos cuando son congelados. Los cambios más comunes durante el almacenamiento en congelación son alteraciones físicas en la textura que pueden ser debidos a la formación de cristales, quemaduras por congelación, oxidación de lípidos en especies grasas, entre otros (Herrera *et al.,* 2001; Leelapongwattana *et al.,* 2005; citados por Burgaard y Jorgensen, 2010).

En un estudio realizado al bacalao (*Gadus morhua*), en donde se evaluó el efecto de los cambios relacionados con la calidad al someterse al organismo a tiempos cortos y largos de almacenamiento en congelación. Los autores encontraron que al es-

tudiar ocho diferentes temperaturas, que van desde -10 a -80 °C, con tiempos de almacenamiento de 1 a 18 meses, usando como medidas indicadoras al goteo, capacidad de retención de agua, actividad de catepsinas, entre otros; encontraron que, de -30 a -80 °C, a 12 meses de almacenamiento, no se registraron cambios significativos en las variables analizadas (Burgaard y Jorgensen, 2010).

Cocción. Allara *et al.* (2001), estudiaron el efecto de tres métodos de cocción del atún (*Thunnus thynnus*), en base al contenido de proteínas y perfil de aminoácidos. Los tres métodos de cocción fueron: frito en aceite vegetal, hervido y microondas. Encontraron que en comparación con el atún crudo el porcentaje de proteína aumenta con los tres métodos de cocción, ya que el atún crudo, contiene 23.45%, el hervido 26.53%, el frito 31.17% y el de microondas 36.37 por ciento. Los autores reportan que este aumento puede deberse a que el freído y el calentamiento con microondas afectaron de forma significativa el contenido de humedad del atún. En el caso del freído, explican que puede deberse a la intensa deshidratación del músculo por la elevación de la temperatura, mientras que con el microondas esta disminución de humedad se produce por la interacción de las microondas con las moléculas de agua generándose calor por fricción molecular. Por último, en el caso de la cocción, el medio donde se realiza no provoca deshidratación. En el promedio de aminoácidos esenciales del atún crudo (expresados en g de aminoácido/100 g de proteína), en comparación con los tres diferentes tratamientos (frito, hervido y microondas) Allara *et al.* (2001), reportan que no se encontraron diferencias entre los distintos tratamientos aplicados entre los contenidos de cada aminoácido esencial en comparación con el atún crudo, por lo que podría decirse que el contenido de aminoácidos esenciales no se ve afectado por los tratamientos aplicados. Sin embargo, en el contenido de aminoácidos totales si se observa una diferencia entre los tratamientos (hervido 43.27 g/100 g de proteína, frito 42.38 g/100 g de proteína y microondas 48.98 g/100 de proteína) y el atún crudo (47.188 g/100 g de proteína), según los investigadores puede explicarse como una consecuencia de la concentración de los constituyentes por el efecto del tratamiento que se aplico en cada caso.

Seco-Salado. El método de conservación seco-salado se basa en la disminución de la actividad de agua debido a la concentración de los solutos del alimento, no obstante, este tipo de proceso de conservación a diferencia del congelado y el refrigerado, le da un valor agregado al producto, ya que han sido modificadas sus características. El método tradicional de salado y uso de salmuera, resultan procesos muy deficientes si se quiere rehidratar el alimento. Por ello, Thorarinsdottir *et al.* (2011), realizaron un estudio en donde inyectaron en filetes de bacalao dos tipos de salmuera: al 25 y 22.5% de NaCl, con 2.5% de fosfatos como primer paso antes de salar o introducir en salmuera los filetes, lo que trajo consigo un mayor aumento en el peso

de los filetes después de hidratarse, en comparación con el método tradicional y uso de salmuera por sí sola. Los investigadores expusieron que las diferencias en rendimiento pudieron deberse al grado de desnaturalización de la proteína y agregación,como influencia de cada uno de los tratamientos. El grado de agregación de las proteínas durante el salado es mayor para el uso solamente de salmuera, seguido del salado tradicional y por último la combinación de inyección con salado. Esto trae consigo un aumento en la retención de agua en los filetes inyectados explican los autores, lo cual pudo deberse al efecto que tiene la sal dentro del filete, debido a que reduce la agregación de las proteínas del músculo durante el paso de salado normal. Mencionaron además que las diferencias en la desnaturalización y agregación son debidas tanto a la miosina como al colágeno.

Sobre los autores

Iván de Jesús Tolano Villaverde,[1] Víctor Manuel Ocaño Higuera,[2] Josafat Marina Ezquerra Brauer,[1] Wilfrido Torres Arreola,[1] Ramón Gertrudis Valdez Melchor[2] y Enrique Márquez Ríos.[1]* [1]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora. Rosales y Luis Encinas s/n. C.P. 83000. Hermosillo, Sonora, México.[2]Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad de Sonora. Rosales y Luis Encinas s/n. C. P. 83000. Hermosillo, Sonora, México, correo electrónico *emarquez@guayacan.uson.mx

Referencias

Allara M., J. Añez, P. Delgado, P. Izquierdo y G. Torres (2001), "Contenido de Proteínas y Perfil de Aminoácidos del Atún (Thunnus Thynnus): Efecto de tres métodos de cocción", *Multiciencias,* 1(2), pp. 141-147.

Benjakul, S., T. A. Seymour, M. T. Morrissey y H. An (1997), "Physicochemical Changes in Pacific Whiting Muscle Proteins during Iced Storage", *Journal of Food Science,* 62(4), pp. 729-733, doi: 10.1111/j.1365-2621.1997.tb15445.x

Burgaard, M. G., and B. M. Jørgensen (2010), "Effect of Temperature on Quality-Related Changes in Cod (Gadus morhua) During Short- and Long-Term Frozen Storage", *Journal of Aquatic Food Product Technology,* 19(3-4), pp. 249-263, doi: 10.1080/10498850.2010.510944

De la Garza-Montaño C. (1987), "El cultivo del mejillón en Galicia", España, *Acuavisión, Revista Mexicana de Acuacultura,* 10, pp. 17-20.

Ezquerra-Brauer, J. M., N. F. Haard, R. RamÍRez-Olivas, H. Olivas-Burrola and C. J. Velazquez-Sánchez (2002), "Influence of harvest season on the proteolytic activity of hepatopancreas and mantle tissues from jumbo squid (Dosdicus gigas)", *Journal of Food Biochemistry*, 26(5), pp. 459-475. doi: 10.1111/j.1745-4514.2002.tb00766.x

FAO/WHO/ONU (1985), "Energy and Protein Requirements", Geneva. Switzerland, Report of a Joint FAO/WHO/ONU Expert Consultation.

FAO (2011), *Estadisticas de pesca y acuicultura*, Árni M. Mathiesen, (subdirector General), Roma, ISBN 978-92-5-006975-3, p. 78.

Fernández M. G. (1986), *La comercialización y el abasto de productos pesqueros. Análisis y perspectivas. Desarrollo pesquero mexicano, 1985-1986*, vol. 2, México, Secretaría de Pesca, pp. 346-361.

Haard, N. F. (1994), "Protein hydrolysis in seafoods" en F. Shahidi and J. R. Botta (eds.), *Seafoods: chemistry, processing technology and quality*, pp. 10-33, New York, Chapman and Hall.

Iglesias C., and C. Gómez (2005), "Pescado y salud", en J. R. Martínez Gómez, C., Aranceta, J. Villarino, A. Moreno, P. Iglesias, C., de Arpe, C., Ortuño, I. Pons, P. A and C. M. (eds.), *El pescado en la dieta. Colección Nutrición y Salud*, vol. 6, Comunidad de Madrid.

Izquierdo, P., G. Torres-Ferrari, M. Allara, E. J. Márquez-Salas, Y. Barboza and E. Sánchez (2001), "Análisis proximal, contenido de aminoácidos esenciales y relación calcio/fósforo en algunas especies de pescado", *Revista Científica FCV-LUZ*, 11 (2), pp. 95-100.

Klett Traulsen, A. (1996), "Pesquería del calamar gigante Dosidicus gigas" en M. Casas and G. Ponce (eds.), *Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur*, vol. I, pp. 127-149, México, CIB-CICIMAR-UABCS.

Mateus, and Scoot (1986), "Composición química del mejillón Mytilus sp. de la costa occidental de Baja California", *Contribuciones biológicas y tecnologico-pesqueras*, Secretaria de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigacion Pesquera, pp. 72-76.

Ordoñez J. A., and I. De la Hoz (1999), "Carnes, pescados y huevos" en M. Hernández, A. Sastre (ed.), *Tratado de Nutrición*, Madrid Díaz Santos, pp. 363-375.

Rawdkuen, S., A. Jongjareonrak, S. Benjakul and M. Chaijan (2008), "Discoloration and Lipid Deterioration of Farmed Giant Catfish (Pangasianodon gigas) Muscle during Refrigerated Storage", *Journal of Food Science*, 73(3), C179-C184. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00683.x

Rawdkuen, S., A. Jongjareonrak, S. Phatcharat and S. Benjakul (2010), "Assessment of protein changes in farmed giant catfish (Pangasianodon gigas) muscles during

refrigerated storage", *International Journal of Food Science & Technology*, 45(5), doi: 10.1111/j.1365-2621.2010.02217.x, pp. 985-994.

Reza, M. S., M. A. J. Bapary, C. T. Ahasan, M. N. Islam and M. Kamal (2009), "Shelf life of several marine fish species of Bangladesh during ice storage", *International Journal of Food Science & Technology*, 44(8), pp. 1485-1494. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01613.x

SAGARPA (2011), *Uno de cada cinco kilogramos de la producción pesquera se consume en cuaresma y semana santa*, vol. 22, México D. F.

Salinas–Zavala, C, J. S. Sánchez Hernández, C. Sánchez Verdugo, M. González Angulo, S. Camarillo Coop, A. Mejía Rebollo, E. Flores Quintana y L. F. Beltrán Morales (2003), Alternativas para fortalecer la cadena productiva de la pesquería de calamar gigante, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México.

Stansby M. (1963), *Industrial Fishery Technology*, New York, Reinhold Publishing Corporation.

Thorarinsdottir, K. A., S. Arason, S. Sigurgisladottir, T. Valsdottir and E. Tornberg (2011), "Effects of different pre-salting methods on protein aggregation during heavy salting of cod fillets", *Food Chemistry*, 124(1), doi: 10.1016/j.foodchem.2010.05.095, pp. 7-14.

Villezca B. P. A., y I., M. J. (2002), "Efectos de factores socioeconómicos en el consumo de alimentos en el Área Metropolitana de Monterrey", *Ciencia UANL*, 5(3), pp. 367-357.

Función de los ácidos grasos insaturados en la salud cardiovascular

José Ernesto Cervantes Martínez, Guadalupe Bustos Vázquez, Gricelda Vázquez Carrillo y Yolanda Salinas Moreno

Resumen

Los ácidos grasos comúnmente llamados aceites y grasas ya sean de origen vegetal o animal, son compuestos orgánicos muy insolubles en agua y ricos en energía metabólica de la dieta humana. Se consumen de muy diversas formas en alimentos preparados, margarinas, frituras, botanas, repostería, ensaladas, y directamente en el consumo de carnes, cereales y oleaginosas, entre otros. Los ácidos grasos se encuentran presentes en las grasas, raramente libres, y casi siempre esterificando al glicerol y eventualmente a otros alcoholes. También se identifican como cadenas lineales hidrocarbonadas con un grupo metilo en un extremo CH_3- y en el otro extremo un grupo carboxilo -COOH (que le confiere su propiedad de ácido o ácido carboxílico) y número par de átomos de carbono. Los ácidos grasos son constituyentes de los triglicéridos y de lípidos complejos que pueden esterificar el colesterol. Existe a nivel digestivo una importante regulación tanto en el sistema nervioso como endocrino y uno de los factores que intervienen en esta regulación lo constituyen los ácidos grasos. El ácido oleico es un estímulo fundamental en la liberación de hormonas gastrointestinales y junto con poliinsaturados cumplen la función de combustible energético mediante su degradación oxidativa. México se caracteriza como uno de los países con más alto índice de obesidad y una de las causas de ello es el alto consumo de grasa per cápita, y una de las consecuencias de

ello son los problemas cardiovasculares debido al alto nivel de colesterol sanguíneo. En este capítulo, se analiza los tipos de ácidos grasos saturados e insaturados comestibles y su utilidad en la dieta alimenticia para prevenir enfermedades que afectan la salud cardiovascular.

Introducción

Un ácido graso es un ácido carboxílico alifático de cadena larga, raramente se encuentran libres en la naturaleza ya que más bien se hallan en forma esterificada como componentes mayoritarios de los diferentes lípidos. Los ácidos grasos son ácidos orgánicos de cadena larga que poseen desde 4 a 24 átomos de carbono, tiene un solo grupo carboxilo y una "cola prolongada no polar hidrocabonada que confiere a la mayor parte de los lípidos su naturaleza de insolubles en el agua y su aspecto y consistencia grasosa u oleaginosa (Melo Ruiz y Cuamatzi Tapia, 2008).

Los ácidos grasos se clasifican según el número de dobles enlaces que poseen. Las grasas saturadas no contienen dobles enlaces, las monoinsaturadas contienen uno y las poliinsaturadas dos o más. Los ácidos grasos poliinsaturados se clasifican además en dos familias, según la posición del primer doble enlace: *Los ácidos grasos omega-6* (o n-6) tienen el primer doble enlace en el sexto átomo de carbono de la cadena y se derivan principalmente del ácido linoleico. *Los ácidos grasos omega-3* (o n-3) tienen el primer doble enlace en el tercer átomo de carbono de la cadena y se derivan principalmente del ácido alfa-linolénico.

Ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados se pueden clasificar, según la estructura de su molécula, en *cis* (forma curvada) o *trans* (en línea recta). La mayoría de los ácidos grasos insaturados de la dieta tienen generalmente la forma *cis* pero, por ejemplo, la carne y la leche de los rumiantes, como bovinos y ovejas, y los productos que contienen aceites endurecidos de forma industrial, por hidrogenación parcial, contienen algunos ácidos grasos insaturados en forma de *trans*. Todas las grasas están formadas por una combinación de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, pero generalmente predomina uno de ellos. Algunos alimentos tienen relativamente más grasas saturadas, como los lácteos y algunas carnes, mientras que otros, como la mayoría de los aceites vegetales y los pescados grasos, contienen más grasas insaturadas.

En los últimos años el consumo de nuez ha crecido, el interés por parte de los consumidores es debido a los posibles efectos beneficiosos en la salud que ofrece este fruto. Estudios demuestran que la nuez contribuye a disminuir la incidencia de las enfermedades coronarias debido al contenido de ácidos grasos insaturados (Chun y Eitenmiller, 2005; Shate *et al.*, 2008). La nuez presenta un alto contenido de aceite, el cual está compuesto por ácidos grasos insaturados, lo cual le ha generado una importante demanda de la industria de alimentos saludables. Por lo anterior, el consumo de la nuez debe ser promovido, debido a que este producto es considerado un alimento funcional, el cual provee beneficios a la salud mas allá de la nutrición básica, es decir, cuenta con cualidades benéficas para diversas funciones del organismo, mejoran el estado de salud y previenen o disminuyen el riesgo de contraer enfermedades (Montoya *et al.*, 2010). La dieta y especialmente, su contenido en grasa, puede influir sobre los factores de riesgo cardiovascular y sobre los mecanismos que contribuyen al juicio y al desarrollo de la placa de ateroma y de la enfermedad cardiovascular. A diferencia de otros factores como los genéticos, que también determinan aparición de esta enfermedad, se tiene la posibilidad de modificar la dieta como, una medida preventiva, o más exactamente, como una manera de retrasar la aparición de la enfermedad.

Ácidos grasos trans

Se ha mostrado preocupación con respecto a la ingesta elevada de ácidos grasos *trans* (AGT). Los AGT se metabolizan de forma similar a las grasas saturadas, pero todavía existen dudas sobre si su efecto sobre la salud cardiovascular es comparable al de estas últimas. Los AGT no sólo incrementan el colesterol LDL, al igual que los ácidos grasos saturados, sino que además reducen el nivel de colesterol HDL también conocido como colesterol "bueno". Se encuentran en algunos productos lácteos y en ciertas grasas parcialmente hidrogenadas, que se utilizan para la elaboración de productos de repostería industrial como galletas, pasteles y bollos, (Katan, 2000).

Tanto la dieta como la actividad física tienen un papel fundamental en el control de los lípidos en sangre. Para seguir una dieta cardioprotectora, en lo que respecta a las grasas, se debería restringir moderadamente su consumo y mejorar el equilibrio entre las grasas saturadas e insaturadas. Si se come al menos una o dos raciones de pescados grasos a la semana, se podrán mantener los niveles adecuados de ácidos grasos de cadena larga omega-3 (Katan, 2000).

Los AGT no son componentes ajenos en nuestra alimentación. El hombre, durante las diferentes etapas de su desarrollo (cazador-recolector, agricultor, y posteriormente industrial) ha consumido AGT de diferente origen y en diversas cantidades según la época, lugar geográfico, y tipo de alimentación. La industrialización, iniciada en la segunda mitad del siglo XIX, introdujo tecnologías que permitieron masificar la obtención y comercialización de aceites vegetales y animales, y procesos de conservación y de transformación química de estos. Los AGT que consumimos actualmente en la dieta tienen un origen biológico y tecnológico, estos últimos presentes en margarinas, mantecas industriales, aceites de fritura doméstica e industrial, productos de repostería, y en una gran variedad de alimentos del tipo bocadillos. Una cantidad importante de AGT proviene de la llamada "grasa invisible", aquella que se utiliza como materia prima para la manufactura, de alimentos de composición más compleja (Simopoulos, 1998).

Origen biológico de los AGT: la biohidrogenación

Estos AGT provienen, principalmente, desde las carnes, leche, y derivados lácteos de animales rumiantes, en cantidades menores a las consumidas a partir de los productos industrializados. En los rumiantes se produce una biohidrogenación parcial de los ácidos grasos insaturados que es realizada por microorganismos (bacterias y protozoos) presentes en el rumen, los que son incorporados a los distintos tejidos del animal. El ácido oleico, linoleico, y linolénico que contienen los granos, hojas, tallos, raíces y piensos que consumen los rumiantes, se reducen químicamente (se hidrogenan) y se isomerizan, transformándose en derivados di y monoisaturados con isomería *trans* (Valenzuela, 2008).

Origen tecnológico: la hidrogenación industrial

La hidrogenación, como proceso industrial, comenzó a utilizarse en los inicios del siglo XX a partir del trabajo del químico alemán Wilhelm Normann (Allen, 1982), quien obtuvo en 1903 una patente en la *Britishen compuestos saturados.* Sin embargo, el proceso de hidrogenación no fue extensivo sino hasta 1950, cuando la industria se interesó en la fabricación de margarinas a partir de aceites hidrogenados, con el propósito de obtener un sustituto de la mantequilla, de menor costo, más estable, de mayor punto de fusión, y en muchos casos, de mejores características organolépticas. Años después se inició en Europa, especialmente en los países nórdicos, la

preparación de productos hidrogenados a partir del aceite de pescado, práctica industrial que se introdujo en Latinoamérica, particularmente en Chile, Perú, Ecuador, y Panamá, durante los años setenta derivada de la abundancia en estos países de la actividad pesquera.

La principal materia prima para el proceso industrial de hidrogenación son los aceites vegetales y marinos. La transformación de productos líquidos e inestables, por su susceptibilidad a la oxidación, en productos sólidos o semi-sólidos, estables y de manejo más fácil, los hace muy adecuados como sustitutos de las mantecas o sebos animales, y particularmente de la mantequilla (Patterson, 1996). Cuando el proceso de hidrogenación se realiza en forma intensa ("full" hidrogenación, en la terminología industrial), se obtiene un producto 100% saturado y de alto punto de fusión, que no presenta isómeros cis y trans. Cuando la hidrogenación se realiza bajo condiciones controladas (hidrogenación parcial), se obtiene una mezcla de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, y pequeñas cantidades de poliinsaturados, con isomería cis y trans. Estudios realizados (Valenzuela, 2008) demostraron en forma contundente que los AGT afectan negativamente las funciones celulares y que su consumo constituye un riesgo para la salud, particularmente en el desarrollo de las enfermedades cardiovaculares.

Papel de las grasas en la tecnología alimentaria

En los países desarrollados, donde los productos alimenticios son abundantes y variados, la palatabilidad es un aspecto determinante a la hora de escoger los alimentos. La grasa contribuye a la palatabilidad de los alimentos, por su sabor y su textura. Todas las grasas y aceites actúan como vehículos de elementos liposolubles, que confieren a los alimentos su sabor. Las características de las grasas y los aceites tienen también importancia en la producción y elaboración de los alimentos, así como en la textura y apariencia del producto final (Kelly, 2001).

La materia grasa proporciona energía y es en realidad el macronutriente más energético de todos, ya que 1 g proporciona 37 kJ (9 kcal). Sin embargo, los componentes de la materia grasa, los ácidos grasos, no son una mera fuente de energía, sino que son necesarios para que el cuerpo cumpla otras numerosas funciones. Cada vez existe una mayor sensibilización respecto a los posibles beneficios para la salud que aportan determinados tipos de ácidos grasos (Lunn y Theobald, 2006).

Función de las grasas en el organismo

Aunque a menudo se considera que no es sano consumir grasas, conviene recordar que éstas desempeñan una serie de funciones vitales en nuestro organismo.

La grasa es la principal reserva energética del cuerpo humano y es la fuente de energía más concentrada de la dieta, 1 gramo de grasa aporta 37 kJ. (9 Kcal), más del doble de la que proporcionan las proteínas o los carbohidratos (4 Kcal). Los depósitos de grasa del cuerpo humano se utilizan para satisfacer las exigencias energéticas cuando se reduce la energía aportada por la dieta, por ejemplo, si las personas tienen poco apetito o se encuentra en estado de inanición. También pueden ser necesarios para satisfacer necesidades energéticas altas, como cuando se realizan actividades físicas intensas o para niños o bebés en edad de crecimiento. Además de ser una reserva de energía, los depósitos grasos rodean y protegen los órganos vitales y contribuyen a aislar al organismo del frío (Kelly, 2001).

En los alimentos, la grasa transporta las vitaminas liposolubles A, D, E y K y permite la absorción de dichas vitaminas. Aporta los ácidos grasos esenciales, el ácido linoleico (omega-6) y el ácido alfa-linolénico (omega-3).

Ácidos grasos esenciales

El ácido linoleico (familia omega-6) y el ácido alfa-linolénico (familia omega-3) no pueden ser sintetizados en el organismo y por lo tanto deben ser obtenidos a través de la dieta. Son necesarios para el crecimiento y el desarrollo, así como para mantener una buena salud. Aunque el cuerpo humano no puede producir estos dos ácidos grasos, sí puede transformarlos en cadenas más largas, que actúan como elementos estructurales de los eicosanoides, que son precursores de hormonas (como las prostaglandinas). Estas sustancias parecidas a las hormonas son importantes en la formación de las membranas celulares e intervienen en la coagulación sanguínea, la cicatrización de heridas y el proceso inflamatorio. Aunque el organismo es capaz de convertir el ácido alfa-linolénico en ácidos de cadena larga EPA (ácido eicosapentanoico) y en menor medida en DHA (ácido docosahexanoico), parece que dicha capacidad es bastante limitada. Por este motivo, también necesitamos obtener directamente de los alimentos estas grasas omega-3 de cadena larga. La fuente más rica en estos ácidos grasos es el pescado graso (Kris-Etherton *et al.*, 2002).

Obesidad

El exceso de masa corporal es uno de los factores que mayor influencia tiene en el origen de muchas afecciones, como enfermedades cardiacas, tensión arterial alta (hipertensión), diabetes tipo 2 y algunos tipos de cáncer. Se sabe que la obesidad, que se define como un índice de masa corporal superior a 30 (kg/m2), es un factor de riesgo de la enfermedad coronaria.

Existe bastante controversia con respecto a la repercusión de las dietas ricas en grasas en el desarrollo de la obesidad y el sobrepeso. Muchos estudios han demostrado que el exceso de grasa corporal está relacionado con la ingesta de grasas alimentarias. La grasa es una fuente concentrada de energía y no parece que inhiba ni el apetito ni el consumo excesivo de alimentos de forma tan eficaz como los carbohidratos y las proteínas. Se ha sugerido que la capacidad saciante de las grasas, comparativamente menor, contribuye a un consumo excesivo de alimentos grasos, concepto que se denomina sobre-consumo pasivo. Asimismo, las proteínas y los carbohidratos generan una mayor respuesta térmica que la grasa. La respuesta térmica es la energía que se pierde en forma de calor después de una comida.

En contraposición a estos datos, se ha observado que en los últimos 25 años ha disminuido la ingesta de grasas en algunos países de Europa, lo cual ha tenido como consecuencia en la mayoría de la población una notable reducción del aporte energético. No obstante, en el mismo periodo de tiempo el sobrepeso y la obesidad han aumentado bruscamente, lo cual indica que existen claramente otros factores implicados en este hecho aparte de la grasa procedente de la dieta. La dieta ideal para perder peso debería consistir en una dieta equilibrada, con menos calorías que una dieta normal, y tendría que estar adaptada a cada persona e ir acompañada de una mayor actividad física.

Sobre los autores

José Ernesto Cervantes Martínez,[1] Guadalupe Bustos Vázquez,[1] Gricelda Vázquez Carrillo[2] y Yolanda Salinas Moreno.[2] [1]Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica multidisciplinaria Mante. E. Cárdenas González 1201. Mante, Tam. jecervan@uat.edu.mx; [2] INIFAP, Valle de México. Caingo Mex. 56230, correo electrónico vazquez.gricelda@inifap.gob.mx.

Referencias

Allen R. R. (1982), "Hydrogenation" en D. Swern, (ed.), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, New York, John Wiley and Sons, pp. 1-95.

Chun, J., J. Lee and R. R. Eitenmiller (2005), "Vitamin E and oxidative stability during storage on raw and dry roasted peanuts packaged under air and vacuum", *Journal of Food Science*, 70 (4), pp. C292-C297.

Cuadrado Carmen Departamento de Nutrición. Universidad Complutense de Madrid.

Joanne Lunn y E. Hannah Theobald (2006), "Nutrición durante el embarazo", documento informativo de la Fundación Británica de la Nutrición.

Katan M. B. (2000), "Trans fatty acids and plasma lipoproteins", *Nutrition Reviews*, 58, pp. 188-191.

Kelly C. (2001), *Flair-Flow 4: Synthesis report on dietary fat and cardiovascular disease for health professionals*, British Nutrition Foundation.

Kris-Etherton P. M., W. S. Harris, L. J. Appel (2002), "Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease", *Circulation*, 106, pp. 2747-57.

Melo Ruiz Virginia y Cuamatzi Tapia Óscar (2008), *Bioquímica de los procesos Metabólicos*, Reverté S. A., pp. 122-123.

Montoya Ballesteros Luz del Carmen, García Pérez Tulita Gricelda, Martínez Núñez Yésica Judith, Vázquez O.† Francisco y Robles-Ozuna Luis Enrique (2010), "Comportamiento de los ácidos grasos insaturados y vitamina E durante el almacenamiento de nuez (*Carya illinoensis*)", *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, vol. 11(1), pp. 59-66.

Patterson H. B. (1996), *Hydrogenation of fats and oils: Theory and practice*, AOCS Press, Champaign, IL, pp. 25-48.

Roche, HM. (2000), "Low-fat diets, triglycerides and coronary heart disease risk", *Nutrition Bulletin*, 25, pp. 49-53.

Sathe, S. K., N. P. Seeram, H. H. Kshirsagar, D. Heber and K. A. Lapsley (2008), "Fatty acid composition of California grown almonds. Institute of Food Technologists", *Journal of Food Sciencie*, 73 (9), pp. C607-C614.

Simopoulos A. (1998), "Overview of evolutionary aspects of omega-3 fatty acids in the diet", *World Rev Nutr Diet*, 83, pp. 1-11.

Truswell AS. (1995), *Dietary fat: some aspects of nutrition and health and product development*, ILSI Europe Concise Monograph Series, ILSI Press, Washington DC.

Valenzuela B. A. (2008), "Acidos grasos con isomeria trans i. Su origen y los efectos en la salud humana", *Revista Chilena Nutr*, vol. 35, núm. 3., Centro de Lípidos, Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos, (INTA), Universidad de Chile, Santiago de Chile.

La evaluación sensorial establece la calidad de los alimentos grasos fritos

Reyna Luz Vidal Quintanar, Ofelia Rouzand Sández

Resumen

En la dieta típica mexicana predomina el proceso de freído de carnes, pescados, quesadillas y vegetales. Además incluye una variedad de productos de maíz fritos y deliciosamente aderezados con especias y chiles, incluyendo atacos, gorditas, totopos y tiras de tortillas para sopas. De ahí que se presente una alta prevalencia de enfermedades crónicas en relación a los hábitos alimenticios. Los alimentos fritos en promedio contienen 36% de grasa, lo que permite clasificarlos como densamente calóricos. La autoxidación de las grasas disminuye la calidad porque producen radicales libres y componentes volátiles desagradables en su sabor y olor. El efecto de los radicales libres consumidos en las frituras, potencializa el daño en la salud del consumidor. La industria, para garantizar la distribución de alimentos saludables, cumple los criterios de control de calidad. Éste incluye al análisis cuantitativo, la composición y la evaluación sensorial de los alimentos. Esta metodología determina la estabilidad, clasifica en niveles de calidad y relaciona las propiedades sensoriales con la aceptación o preferencia de compra. El presente capítulo analiza la participación de la evaluación sensorial para establecer la calidad y vida útil de los alimentos fritos. Además, busca establecer la importancia de la relación entre el estado oxidativo y los parámetros sensoriales de los alimentos grasos.

Palabras clave: alimentos fritos, evaluación sensorial, calidad de las frituras.

Introducción

El procesamiento de alimentos está en constante cambio para satisfacer la diversidad de demandas del consumidor. En él confluyen multidisciplinariamente, la física y la ingeniería química, con el conocimiento de las propiedades de los alimentos. Los tecnólogos transfieren su conocimiento para producir a precios competitivos variedad de alimentos nutritivos y saludables, en provecho del consumidor (Keast, 2010). El análisis de calidad de los alimentos en el mercado se compone de variables respuestas químicas, sensoriales y cuantitativas que establecen los grados de calidad, seguridad y vida útil de los alimentos (Ortega-Rivas, 2010). Las herramientas modernas en sistemas de cómputo, automatización, biotecnología, nanotecnología o diseño de equipos de procesamiento novedoso, facilitan la producción, protección y distribución de los alimentos. La mayoría de ellas han demostrado superioridad respecto a métodos tradicionales para abastecer al mercado con alimentos procesados microbiológicamente seguros, con los mínimos cambios sensoriales y nutricionales. Sin embargo, la reglamentación en mejoramiento de la calidad, seguridad y aseguramiento de los alimentos ha evolucionado lentamente, aun en los países tecnológicamente desarrollados (Schröder, 2003). El objetivo de este capítulo es mostrar a la evaluación sensorial como una herramienta para estimar la calidad y conocer la preferencia respecto al estado oxidativo de la grasa en los alimentos fritos.

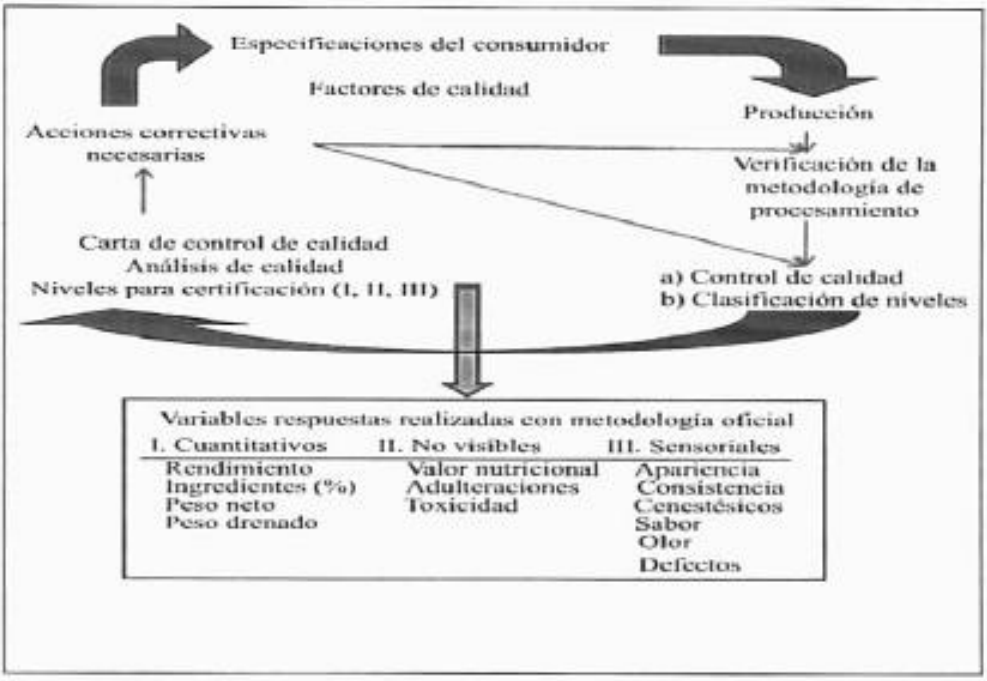
Calidad de alimentos y su relación con la salud

La calidad de alimentos es un concepto multidimensional y puede definirse tanto por características objetivas como subjetivas, que en conjunto rigen su vida útil o de anaquel (Hough, 2010). La figura 1, muestra los componentes del círculo de atención de la calidad de los alimentos: la producción, los métodos de procesamiento, el control de calidad y la retroalimentación del consumidor. Los componentes objetivos son del tipo de composición y su relación entre cantidad de nutrientes y precio (g/$) y los subjetivos se refieren a las características funcionales, sensoriales y nutricionales. El consumidor percibe y predetermina la calidad con claves personales bajo el contexto de situaciones particulares. Donde, la satisfacción sensorial y económica experimentada, determinará la probabilidad de futuras compras del alimento (Muñoz *et al.*, 1992).

El análisis de la calidad garantiza que el alimento no cause daño o contenga componentes tóxicos previos al consumo (Waite y Yousef, 2010). Para ello, se debe incluir sólo ingredientes aprobados por la reglamentación estándar de compuestos

generalmente reconocidos como seguros (GRAS). Además, certifica que el procesamiento cumpla el protocolo de buenas prácticas de manufactura (BPM), que son un conjunto de métodos correctos de manejo, preparación y almacenamiento de ingredientes y alimentos terminados (Ortega-Rivas, 2010). La seguridad es sólo un componente implícito en la calidad de los alimentos. Ésta presenta varias rutas con niveles de preocupación diferentes, como son; la composición, los microorganismos, las toxinas naturales, los compuestos alergénicos, la intolerancia composicional específica y los contaminantes asociados al ambiente (Kabir y Kim, 2011). Un alimento de calidad satisface la normatividad estándar para ingredientes y alimentos procesados.

Figura 1. Componentes del círculo de atención de la calidad de los alimentos



Fuente: Hough (2010); Mestdagah *et al.* (2004).

Los alimentos fritos presentan amenazas probables de componentes tóxicos y radicales libres, generados en el proceso de deterioración de las grasas durante el calentamiento (Choe y Min, 2007). La concentración de productos oxidados es menor en aceites saturados que insaturados. Además, los productos de la oxidación lipídica,

identificados por el olor sensorial, son mayores en alimentos fritos que en hervidos, horneados y tostados (Kabir y Kim 2011). Los ácidos insaturados como oleico, linoleico y linolénico, producen durante el calentamiento, ácidos conjugados dienoicos, hidroperóxidos, aldehídos, ácidos carboxílicos y alcoholes. La reglamentación estándar dice que un alimento graso de calidad no debe rebasar a 6 meq O_2/kg de peróxidos y 15 mmol *p*-anisidina/kg (Choe y Min, 2007; Marquez-Castillo y Vidal-Quintanar, 2011). El cuadro 1 muestra a los componentes de la autoxidación de lípidos producidos en el proceso de freído y la metodología usada en la regulación de la calidad. La concentración de ácidos conjugados dienoicos, peróxidos y características sensoriales son las variables respuesta indispensables para conocer el estado oxidativo del alimento graso.

La oxidación de lípidos es ubicua en los alimentos, aunque los niveles de los productos oxidados varían con la concentración y tipo de grasa presente. La temperatura de procesamiento, la exposición al oxígeno, la luz, los radicales libres metálicos y los antioxidantes son los principales factores que inducen y modulan a la oxidación de lípidos (cuadro 1) (López-Duarte y Vidal-Quintanar, 2009). En el freído y durante el tiempo de calentamiento, el total de insaturaciones disminuye, produciendo con velocidades variables a los compuestos peróxidos y volátiles. La liberación de radicales peroxilos es una reacción en cadena o continúa, que termina al agotarse los reactantes, los ácidos grasos insaturados. El conjunto de estos cambios produce un aumento en la presencia de compuestos polares, ácidos grasos libres, compuestos productores de oscurecimiento, compuestos poliméricos de mediano y alto peso molecular y formación de espuma en el aceite (Choe y Min, 2007).

Los alimentos deshidratados (huevo, leche, carne y pescado), los cocinados a alta temperatura (embutidos y quesos), los alimentos fritos y aceites vegetales para frituras, presentan sensibilidad a oxidarse. Y aun cuando el nivel de oxidación sea bajo, es un problema en la distribución de los alimentos, porque compromete severamente la calidad y limita su vida útil (cuadro 2). La oxidación modifica las características sensoriales, por lo tanto el sabor y el olor característicos del alimento desaparecen ante la potencia de los componentes oxidados, que son desagradables para el consumidor (Calligaris *et al.*, 2007). Adicionalmente, las características nutritivas disminuyen y se aumenta el riesgo de consumir radicales libres y compuestos tóxicos absorbidos en la matriz del alimento (Spiteller, 2005).

Cuadro 1. Productos obtenidos durante la auto-oxidación de los ácidos grasos insaturados y los principales moduladores de la oxidación lipídica en alimentos

Productos	*Ácido Oleico C18:1, Ω-9*	*Ácido Linoleico C18:2, Ω-6,9*	*Ácido Linolénico C18:3, Ω-3,6,9*	*Análisis*
Hidroperóxidos	C8, C9, C10, C11	C9, C13	C9, C12, C13, C16	Peróxidos (VP) Dienos Conjugados (CD)
Aldehídos	Octanal Nonanal 2-decenal Decanal	Pentanal Hexanal 2-octenal 2-nonenal 2,4-decadienal	Propanal Butanal 2-butenal 2-pentenal 2-hexenal 3,6-nona-dienal Decatrienal	Responsables del olor. Valor de p-anisidina, (Vp-A)
Ácidos metílicos de	Heptanoato Octanoato	Heptanoato Octanoato	Heptanoato Octanoato	Valor ácido (VA)
	8-oxooctanoato	8-oxooctanonato	Nonanoato	
	9-oxononanoato	9-oxononanoato	9-oxononanoato	
	10-oxodecanoato	10-oxodecanoato	10-oxodecanoato	
	10-oxo-8-decenoato			
	11-oxo-9-undecenoato			
Alcoholes	1-heptanol	1-pentanol 1-octane-3-nol		
Hidrocarbonos	Heptano Octano	Pentano	Etano Pentano	
Moduladores de la oxidación en diferentes fuentes de aceites y alimentos				
Secuestrantes Antioxidantes Naturales Sintéticos	Ácidos: oxálico, cítrico, fosfórico, acético, fórmico. Ácido etilendiamino tetraacético (EDTA). α-, β-, γ-, δ-tocoferoles, clorofila, carotenoides, compuestos fenólicos. Butil hidroxi anisol (BHA), butil hidrixitolueno (BHT), tocoferoles, propil galatos, Flavonoides (quercitina), mono-ter-butil hidroquinona (TBHQ).			

Fuentes: Hoffmann (1989); Frankel (1985); Cho y Min (2006); Ziaiifar *et al.* (2008).

La formación y propagación de compuestos oxidados del tipo hidroperóxidos, durante la autooxidación en los alimentos fritos, representa un riesgo potencial a la salud (Choe y Min 2007). Los compuestos oxidados ejercen daño en los ácidos nucleicos,

lípidos y proteínas, condicionando severamente la salud y viabilidad de la respuesta celular (Dalle-Donne *et al.*, 2006). El estrés oxidativo celular se genera cuando el organismo agota su capacidad antioxidante de autodefensa. Los tejidos responden con daño e inflamación ante la exposición temporal o frecuente a los oxidantes, nutrientes o contaminantes. El daño oxidativo causado depende de la cantidad y frecuencia de consumo y se cree que contribuyen a desarrollar enfermedades crónicas, como diabetes y obesidad (Hamre *et al.*, 2010). Las personas obesas consumen mayor contenido graso que las no obesas. También, han desarrollado alta sensibilidad a la presencia de ácido oleico (C18:1) y presentan dificultad para identificar el contenido graso de los alimentos, como lo muestran los resultados de Stewart *et al.*, (2010 y 2011), Steward y Keast (2011) y Little y Feinle-Bisset (2011). Otros estudios han demostrado que los problemas cardiovasculares, en parte, también se deben al consumo de grasas y productos provenientes de la oxidación lipídica presente en alimentos fritos y procesados (Spiteller, 2005).

Proceso de freído de los alimentos

El freído es una operación de transferencia simultánea de masa y calor durante el cocinado del alimento. El sistema de freído se compone de tres partes: el equipo, el aceite o medio calefactor y el alimento. Las especificaciones para grasas y aceites de freído se centran en ácidos grasos libres (AGL, 0.05-0.08%), valor de peróxidos (VP, 1.0 meq O_2/kg de grasa), punto de humo (PH, 200 °C) y humedad (0.1%) (Choe y Min 2007). La calidad del aceite se altera, al alcanzar 20 y 30 h de calentamiento y debe cambiarse al producir 27% de compuestos polares totales, ya que va acompañado de abundante formación de espuma y liberación de olor graso desagradable (Tseng *et al.*, 1996). Los equipos para el freído constan de una cámara de calentamiento del aceite (120-200 °C) que puede ser del tipo continuo o discontinuo (Nunes y Moreira, 2009; Ziaiifar *et al.*, 2008). Los agentes oxidantes principales durante el proceso de freído son la presencia de oxígeno, la incidencia de luz y la temperatura alta.

Cuadro 2. Características de estabilidad y oxidación lipídica de algunos alimentos

Alimento	*Vida útil*	*Evaluación sensorial*	*Variable respuesta principal*		*Referencia*
(Niveles de calidad)	Tiempo		Análisis	Valores	
Pescado frito (catfish): en (soya hidrogenada)	< 30 min < 30 min	Servido caliente 100% aceptación	Peróxidos (VP)	0.8 meq O_2/ kg grasa	Weber *et al.*, 2008
Pechuga (cocida)	5 días. Sin desangrar 3.45 días. Decapitado	EC[4]= 1-15 Olor y sabor 7.1 6.1	TBAR[1]	11.1 mg/ kg 9.6 mg/ kg	Alvarado *et al.*, 2007
Tiras de tortilla Totopos (Única)	70 días 56 días	EC[4] = 15 7.2 4.8	VP	50 meq O_2/kg grasa 85 meq O_2/ kg grasa	Morales-Sesma y Vidal-Quintanar, 2011; Quiroz-Moreno *et al.*, 2011.
Leche (UTH)[2] plástico opaco PET[3]	25 días 25°C	Olor y sabor desagradable a los 2 días	Hexenal VP	32 ng/ml 1 meq O_2/kg grasa	Mestdagah *et al.*, 2004.
Pan de sal (Regular)	39 días 30°C	50% rechazo	VP	10.9 meq O_2 /kg grasa	Calligaris *et al.*, 2007.
Cacahuates Primera	136 días 40°C	No presenta	Hexanal	600 ng/ ml aceite	Lee y Krochta, 2002.
Masa de maíz (Única)	168 días 25°C	89% rechazo CE[4] =1-52	VP	87.3 meq O_2 /kg grasa	Vidal-Quintanar *et al.*, 2003.
Salmón (congelado)	180 días -20°C	CE=1-5 0.5	VP	5.03 meq O_2/kg grasa	Rodríguez *et al.*, 2007.
Aceite de soya (refinado)	Q_{10} 2.05 100°C	No presenta	Rancimat	17.2 OSI[5]	Farhoosh, 2007.

Fuente: elaboración propia. [1]Sustrato reactivo de ácido tribarbiturico. [2]Pasteurizada a temperatura alta. [3]Tereftalato de polietileno. [4]Escala categórica para atributo oxidado-rancio. [5]Índices de estabilidad oxidativa.

El freído se rige por la cinética química, donde la velocidad de producir hidroperóxidos, aproximadamente se duplica por cada 10 °C de aumento en la temperatura (Vidal-Quintanar *et al.*, 2003; Callagaris *et al.*, 2007). La temperatura alta elimina microrganismos, coagula la proteína e inhibe a las enzimas. Además, despliega

otras reacciones bioquímicas en el alimento, causando cambios nutricionales y sensoriales irreversibles. Los métodos de freído, el tipo de alimento y calidad del aceite o grasa determinan la iniciación y la velocidad de degradación de lípidos en la fritura (Choe and Min, 2006).

La severidad del procesamiento, en relación a la temperatura por el tiempo transcurrido, es directamente proporcional a la seguridad, pero inversa a la calidad total del alimento frito (Calligaris *et al.*, 2007). Actualmente, el enfoque tecnológico para reducir contaminación y preservar la calidad, es desarrollar procesos que combinan a los métodos térmicos con presión, vacío, atmósferas modificadas, microondas y ultravioleta (Rivers, 2008; Dueik y Bouchon, 2011; Nunes y Moreira, 2009). Estos métodos alternativos demandan nuevo conocimiento, en varios campos de la ciencia, incluyendo aspectos bioquímicos, nutricionales, toxicológicos y estudios de viabilidad del procesamiento. Las franquicias transnacionales, cocinas institucionales y hospitalarias utilizan con éxito los equipos de nueva generación para preparar pollo, papas, pescado, donas, manzanas, zanahorias y mango. Estos alimentos freídos al vacío presentan menor retención de grasa residual, mayor crujibilidad, textura deseada y color dorado ideal para el consumidor promedio (Rivers, 2008).

El freído afecta significativamente el contenido graso de los alimentos y modifica la cantidad y calidad de la grasa consumida. Los cambios en la calidad del alimento ocurren mediante varios mecanismos (Ziaiifar *et al.*, 2008; Ansonera *et al.*, 2010). En primer lugar, aumenta el contenido de ácidos grasos como resultado de la absorción de la grasa del freído. Los alimentos fritos generalmente contienen un tercio de su peso como grasa. Las frituras de maíz preparadas por métodos continuos o discontinuos aumentan hasta 35% de grasa, el pollo varía desde 27 a 33%, las zanahorias tienen 32%, las papas 36% y las manzanas 33 por ciento. Sin embargo, estos tres alimentos cuando se procesan en equipos al vacío el contenido graso absorbido disminuye (0.8-1%) (Dueik y Bouchon, 2011). Por otro lado, el alimento pierde grasa composicional soluble y actúa como pro oxidante durante el freído. Además, absorbe en su matriz productos oxidados generados en la grasa sobrecalentada. La intensidad del cambio depende de la naturaleza de la grasa y la manipulación de los componentes tecnológicos que participan en el proceso (Ziaiifar *et al.*, 2008; Waite y Yousef, 2010). Gastronómicamente, el freído de alimentos es un método ampliamente aceptado porque genera cualidades sensoriales únicas en color, textura, olor y sabor. Además, la preparación es rápida, limpia y reduce las pérdidas de materias primas (Nunes y Moreira, 2009).

La autooxidación de lípidos se desarrolla en tres etapas: inducción, propagación y terminación. La temperatura, tipo y calidad de la fuente grasa, establecen la velocidad de cada etapa oxidativa (Ziaiifar *et al.*, 2008). Las frituras aumentan el contenido

calórico y absorben los productos oxidados generados durante el freído, por lo que comprometen severamente la calidad nutricional y limitan la vida útil del alimento (Kabir y Kim, 2011; Hough, 2010). Los cambios sensoriales inducidos por la oxidación son los principales problemas en el deterioro de la calidad durante el procesamiento y almacenamiento (Calligaris *et al.*, 2007). Las reacciones de hidrólisis, oxidación, isomerización, polimerización y calcinado de los ácidos grasos son los principales mecanismos de deterioro del aceite sobrecalentado en repetidas ocasiones y por varios días (Du *et al.*, 2012). La seguridad y calidad del alimento la establece la calidad del aceite y el tiempo de inmersión a temperaturas de 120 a 200 °C. La fuente y composición determinan la calidad del aceite, los principales indicadores son: el índice de saturación, el peso molecular del ácido graso, conformación del triglicérido y el contenido de antioxidantes (cuadro 1). A mayor número de insaturaciones, mayor es la velocidad de oxidación del ácido graso (Choe y Min, 2006). Las fuentes tropicales son más resistentes por su composición y antioxidantes naturales presentes (cacao-grano de palma-palma), seguido están los aceites hidrogenados de oleaginosas (algodón-maíz-soya-colza) y finalmente, las fuentes animales (mantequilla-mantecas-cebos) (Frankel, 1985).

La evaluación sensorial y calidad de los alimentos grasos

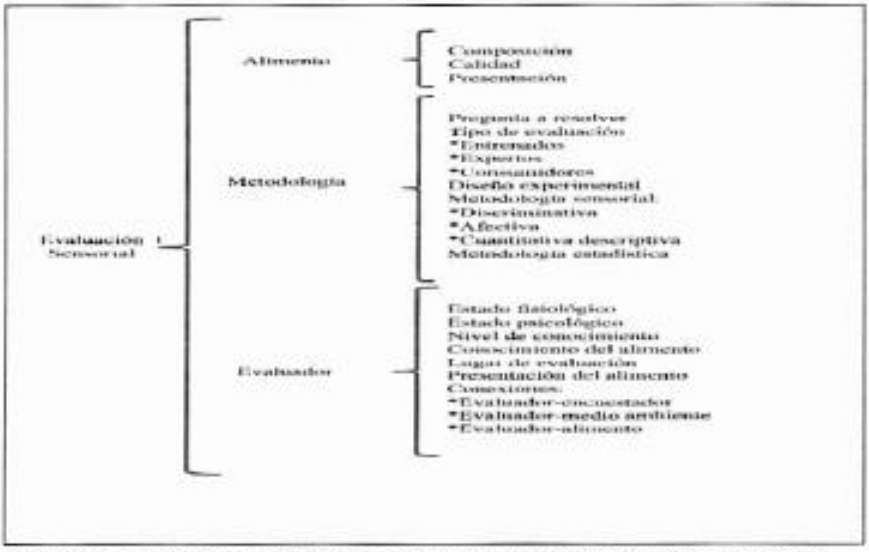
La evaluación sensorial estudia sistemáticamente las experiencias del consumidor con los productos alimenticios de su preferencia (Hough, 2010). Esta ciencia estudia la relación entre estímulo y respuesta, percibido e interpretado por los evaluadores o jueces sensoriales (Kolanowski *et al.*, 2007). Los estímulos se perciben por uno o varios sentidos humanos y la intensidad de la percepción dirige la respuesta hacia la aceptación o rechazo del alimento (Rodríguez *et al.*, 2007). La evaluación sensorial es una herramienta del control de calidad en la investigación o empresa. La industria de alimentos utiliza a la evaluación sensorial para prevenir defectos en los alimentos procesados (Farhoosh, 2007). La evaluación sensorial participa en el desarrollo de los niveles de calidad, donde se integran las características del alimento, la metodología y los evaluadores (figura 2), como las variables experimentales necesarias para conocer las necesidades y preferencias del consumidor (Choe y Min, 2007).

El estudio de los aspectos fisiológicos de la evaluación sensorial se inició desde hace dos siglos, aproximadamente en 1834 (Moskowitz *et al.*, 2006). A partir de las guerras mundiales, creció el interés de los industriales por la evaluación sensorial como herramienta importante, que describe las preferencias del consumidor y enfoca el desarrollo de nuevos alimentos. Las primeras metodologías discriminatorias, como las actuales descriptivas cuantitativas, requieren de planeación experimental.

Además, los resultados obtenidos deben analizarse bajo tratamiento matemático y estadístico para establecer conclusiones claras y precisas que rijan las políticas de calidad y comercialización de los alimentos (Meilgaard *et al.*, 1999). Actualmente, el éxito o fracaso de un producto en el mercado está determinado por la metodología de obtener, analizar estadísticamente y usar los datos sensoriales para satisfacer las demandas del consumidor.

El sabor de los alimentos grasos depende de la oxidación provocada por la reacción del oxígeno soluble en la fase grasa. Por ejemplo, la reacción de 1 mmol O_2/kg de grasa a temperatura ambiente, genera 2 meq O_2/kg de hidroperóxido (Hoffmann, 1989). Ahora, si una fracción de hidroperóxido se descompone a 3-cis-hexenal, con un umbral de detección de 0.1 mg/kg, se percibe un sabor desagradable tipo zacate picado (Choe y Min, 2006). El cambio de olor es rápido y complejo, dependiente de los hidroperóxidos producidos (cuadro 1). Por ello, las variaciones en composición química de los ácidos grasos insaturados del aceite, determinarán el tipo y cantidad de subproductos oxidados formados. Además, la concentración de cada subproducto presente por arriba del umbral de detección, establecerá la potencia percibida del olor oxidado, como lo muestra el cuadro 3 (Kolanowski, *et al.*, 2007). La aceptación o rechazo de un alimento frito descansa principalmente en la percepción de los atributos que forman el perfil del sabor oxidado o rancio.

Figura 2. Componentes metodológicos del análisis sensorial



Fuente: Modificado de las fuentes Mestdagah *et al.* (2004); Moskowitz *et al.* (2006).

Cuadro 3. Relación entre atributos sensoriales y compuestos químicos desarrollados en alimentos

Compuesto	*Atributos Sensoriales*	*Umbral de detección (mg/kg de grasa)*
Acetaldehído	Oxidado (acre)	
Octano	Caramelo	0.940
Propanal	Oxidado (acre)	
Pentanal	Madera, amargo, aceitoso	0.240
2-butenal	Pintura	130
Hexanal	Grasa, fuertemente aceitoso, hierba	0.320
2-metil-2-butenal	Pintura, hierba picada	
2-pentenal	Pintura	0.300
1-penten-3-ol	Oxidado	
Heptanal	Aceitoso, grasoso, madera	0.500
Octanal	Grasoso, acre	0.320
2-heptenal	Oxidado, seboso	0.005
Nonanal	Grasoso, ceroso, pintura	0.150
2-octenal	Picante, hierba picada	0.004
2-decenal	Pintura, olor a pescado, grasoso	0.010
Nonatrienal	Metal oxidado	60-130
Decatrienal	Olor a pescado oxidado	70-80
Ácido acético	Vinagre, irritante, fermentos	1380
Ácido butanoico	Calcetines sudados	8119
Ácido pentaenoico	Fermentado, queso, calceta sucia	330
Ácido hexanoico	Calcetas sucias	810

Fuentes: Kolanowski *et al.* (2007); Rius *et al.* (2005); Luna *et al.* (2006); Fenaille *et al.* (2003).

La oxidación de los productos de maíz ocurre en varias etapas y por diferentes factores (Tseng *et al.*, 1996). La calidad de las frituras artesanales se establece principalmente por la mezcla de nixtamal con masa instantánea, el tipo de aceite (vegetal, base palma o parcialmente hidrogenado) y el proceso (continuo y lotes) (Ziaiifar *et al.*, 2008; Martínez-Valenzuela y Vidal-Quintanar, 2010). Adicionalmente, el tipo de empaque participa al dejar pasar la luz; esto porque las empresas utilizan papel celofán transparente. La masa de maíz, como ingrediente principal de las frituras, en general inicia el proceso oxidativo durante el almacenamiento y su velocidad depende de la temperatura y el agua disponible, como lo

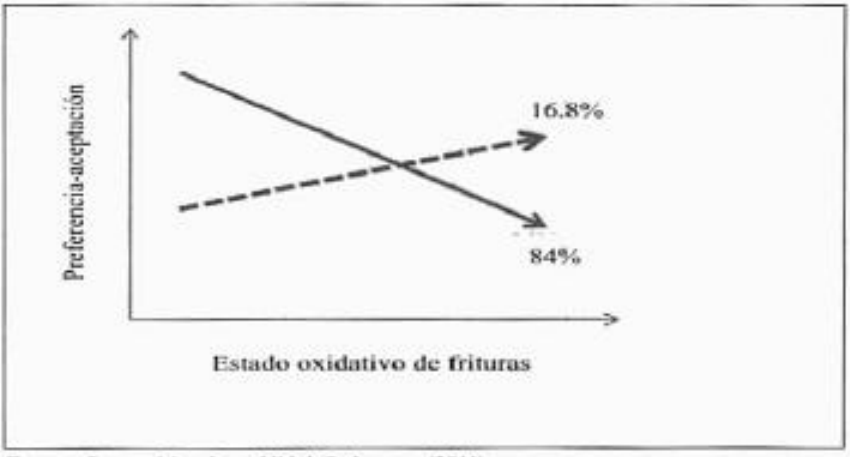
muestran las investigaciones de Vidal-Quintanar *et al.*, (2003) y López-Duarte y Vidal-Quintanar (2011). En estos estudios las harinas de maíz se clasificaron como medianamente perecederas (32 días). En ellas, la presencia de 8-55 meq O_2/kg frecuentemente pasó desapercibida para los evaluadores sensoriales, creando desviaciones en el concepto del estado de la calidad respecto a las harinas frescas.

La figura 3 muestra esquemáticamente la aceptación de las frituras de maíz evaluadas por consumidores (n=700) en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Una tendencia similar en aceptación, muestran los resultados de quesos en los estudios de Hough (2010). La evaluación sensorial de frituras de maíz mostró que el 16% de 700 encuestas de una población adulta (20-40 años), se identificó y prefirió frituras con cierto nivel oxidativo (>20 meq O_2/kg) (Sesma-Morales y Vidal-Quintanar, 2010). Las opiniones de los consumidores registrados, mostraron preferencia por el sabor fuerte y con alto contenido graso de las frituras (37%) obtenidas en un proceso continuo. Las frituras con frecuencia son aderezadas con una amplia variedad de sabores y olores, enmascarando los productos oxidados que deterioran tanto la calidad como las propiedades nutricionales y/o biofuncionales. En estos casos se observó que las poblaciones jóvenes toleran, o bien prefieren, a las frituras en proceso acelerado de oxidación (68 meq O_2/kg) (Ruiz-Quero y Vidal-Quintanar, 2011). La herramienta de la evaluación sensorial es una buena herramienta analítica, porque permite conocer los efectos evolutivos o de adaptación a sabores pungentes, salados, picantes, amargos y rancios, característicos del tipo, la fuente y la marca del alimento (Little y Feinle-Bisset, 2011; Stewaet *et al.*, 2011).

Los atributos que describen el perfil sensorial se muestran en el cuadro 4. La definición y umbrales de percepción se identifican con valores de peróxidos entre los 10 y los 80 meq O_2/kg (Martínez-Valenzuela y Vidal-Quintanar, 2010; Kolanowski *et al.*, 2007). El olor a pintura (2-butenal y 2-pentenal), la combinación de viejo, calcetas sudadas y sucias (ácidos butanoico, pentanoico y hexanoico), en conjunto con fermentado y ácido, fueron los atributos que mostraron valores altos (escala 0-10) de percepción en las frituras de maíz, como lo muestra la figura 4 (Martínez-Valenzuela y Vidal-Quintanar, 2010). El tipo de evaluador determinó la habilidad para percibir el estado oxidativo de las frituras. Las definiciones o descriptores de los atributos en general, presentaron diferentes significados para cada individuo consumidor. Por ejemplo, el rancio u oxidado fueron en ocasiones términos iguales o sinónimos para el consumidor joven. Además, ellos no diferenciaron las intensidades de viejo almacenado, referente a calceta sucia o calcetas sudadas con fermentado o ácido. La mejor interpretación del estado oxidativo de la fritura se obtuvo con una escala de cinco puntos, donde el nivel mayor de oxidación se refería a rancio y oxidado. El consumidor diferenció ($p<0.05$) a las frituras control de las

oxidadas. Sin embargo, confundió la intensidad de varios atributos en las frituras de niveles de oxidación, intermedio y alto. Por ello, los consumidores con percepción limitada de la oxidación enfrentan mayor riesgo a ingerir un mayor contenido de peróxidos en los alimentos.

Figura 3. Representación esquemática de la preferencia y aceptación de frituras de maíz en dos experimentos con cuatro niveles de oxidación, realizada en Hermosillo con consumidores adultos (20 a 55 años) (n=700 encuestas)



Fuente: Sesma-Morales y Vidal-Quintanar (2011).

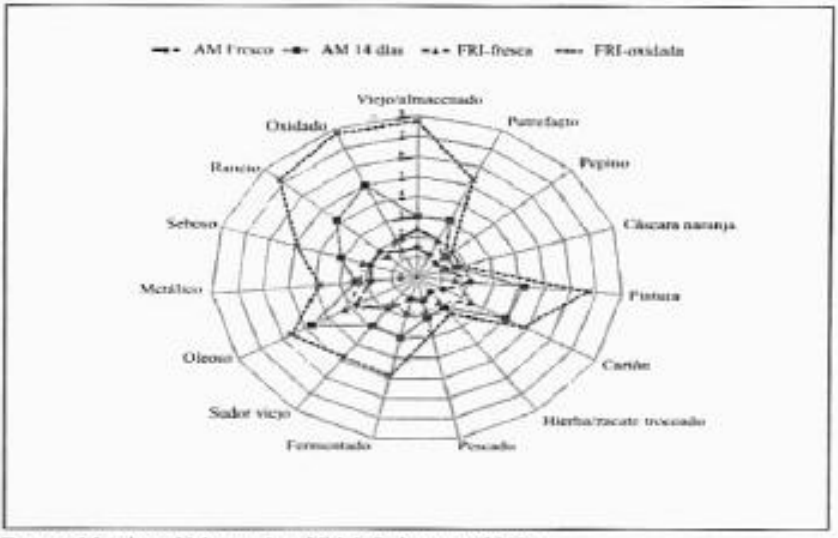
La evaluación sensorial del estado oxidativo de los lípidos requiere de jueces entrenados y evaluaciones con consumidores para establecer los niveles de calidad de los alimentos fritos o de alto contenido graso. Los jueces entrenados establecen guías y enfocan los objetivos durante el desarrollo de nuevos productos y de investigación. Mientras que, los consumidores limitan la perspectiva de compra y preferencia durante la introducción al mercado de un producto nuevo (Ruiz-Quero y Vidal-Quintanar, 2011). En este caso, la evaluación con consumidores permitió obtener la evaluación inicial sobre el nivel de percepción de una muestra (n=700) de la población de Hermosillo, respecto a la oxidación de la fritura de maíz. Por otro lado, los resultados de los experimentos con jueces entrenados mostraron las diferencias significativas entre los niveles de oxidación de los tratamientos.

Cuadro 4. Def niciones de los atributos que conforman el perf l sensorial de frituras oxidadas

Atributos	*Definición consolidada de 18 jueces*
Rancio	Olor desagradable que se percibe durante la oxidación de lípidos en un alimento al ser sometidos al calor
Seboso	Olor penetrante de grasa no procesada de origen animal en estado sólido
Oxidado	Olor ligero de grasas expuestas a condiciones en presencia de oxígeno y calor asociado a olor fierro viejo
Metálico	Olor asociado a metal húmedo viejo, ejemplo: aluminio
Oleoso	Olor característico de aceite no expuesto al calor
Sudor	Olor corporal intenso desagradable asociado a salinidad
Fermentado	Olor ácido asociado a leche agria o pan húmedo con ligero olor a alcohol
Pescado	Olor a amoniaco que presenta el pescado en mal estado
Hierba/zacate	Olor característico a hierba húmeda recién cortada
Cartón	Olor asociado con papel mojado
Pintura	Olor penetrante a solvente o plástico
Cáscara de naranja	Aroma agradable asociado a zumo de cítricos
Pepino	Olor ligero que desprende la cáscara de pepino
Queso putrefacto	Olor ácido asociado a pies con hongos o sudados
Olor a viejo	Olor concentrado de alimentos almacenados por mucho tiempo

Fuente: Martínez-Valenzuela y Vidal-Quintanar (2010).

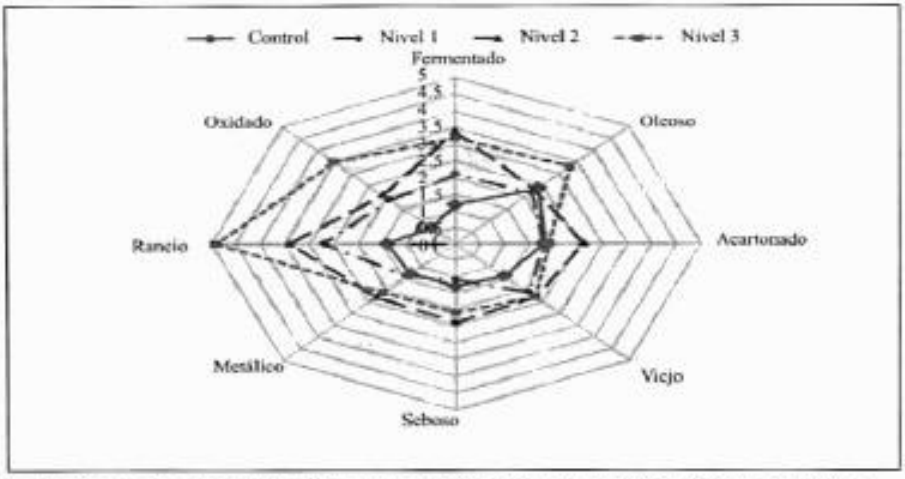
Figura 4. Representación multieje para aceite y frituras frescas (3 meq O_2/kg y 2.8 meq O_2/kg respectivamente) y oxidadas (50 meq O_2/kg y 20.8 meq O_2/kg respectivamente) para quince atributos con jueces no entrenados (20 a 55 años) (n=32).



Fuente: Martínez-Valenzuela y Vidal-Quintanar (2010).

El análisis descriptivo cuantitativo, con ocho atributos del perfil oxidativo realizado con jueces entrenados se muestra en la figura 5. Claramente la fritura fresca mostró valores ($p<0.05$) menores al nivel 3 de oxidación, para la mayoría de los atributos estudiados. Los nivel 2 y 3 mostraron valores cercanos entre sí, para los atributos fermentado, viejo y metálico. El atributo oxidado no mostró diferencias significativas entre los niveles de oxidación 1 y 2. Sin embargo, éstos fueron significativamente menores que en el nivel de oxidación 3 (Sesma-Morales y Vidal Quintanar, 2010). Las frituras con nivel 3 oxidativo fueron fácilmente identificadas, originando baja preferencia y probabilidad de compra. Actualmente y a pesar de los nuevos logros en investigación sensorial, no se sabe si una baja insensibilidad para detectar el tipo y cantidad de grasa, predisponga al consumo graso excesivo. El consumo calórico proveniente de un alto contenido graso (36%) de los alimentos fritos aumenta la probabilidad a desarrollar obesidad y otras enfermedades crónicas degenerativas (Stewart y Keast, 2011; Little y Fienle-Bisset, 2011).

Figura 5. Representación multieje para control (5 meq O_2/kg) y tres niveles de oxidación (16 me O_2/kg, 21 meq O_2/kg, 38 meq O_2/kg respectivamente) de frituras de maíz producidas en Hermosillo, con jueces entrenados por 60 horas, 6 hombres y 6 mujeres, estudiantes y trabajadores universitarios (20 a 55 años)



Fuente: Sesma-Morales y Vidal Quintanar (2010); Ruiz -Quero y Vidal-Quintanar (2010).

Conclusiones

El análisis sensorial es una herramienta de utilidad para establecer la calidad del alimento frito en relación a la intensidad de las reacciones de oxidación desarrolladas durante el proceso. La metodología sensorial con jueces entrenados provee de los componentes del perfil sensorial. Los jueces consumidores establecen las especificaciones sensoriales de preferencia y selección de la marca de los productos fritos en el mercado. Los radicales libres y volátiles producidos en la oxidación lipídica modifican el sabor y disminuyen la seguridad de los alimentos fritos. La evaluación sensorial es un indicador de la calidad comestible de los alimentos grasos y ubica la probabilidad de compra respecto a su calidad oxidativa. La preferencia de los alimentos varía con la calidad y cantidad de grasa. Ésta modifica la percepción del sabor y consecuentemente el consumo total de los alimentos fritos. La evaluación sensorial con consumidores podría también usarse, para difundir y advertir de los riesgos en salud respecto a la presencia de los productos oxidados en los alimentos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a María Auxiliadora Teresa Urquijo Durazo y Cutberto López Reyes por su valiosa participación en la edición del manuscrito.

Sobre los autores

Reyna Luz Vidal Quintanar, Ofelia Rouzand Sández. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora, Rosales s/n Colonia Centro, Apartado Postal 1658. Hermosillo Sonora, México 83000, correo electrónico rvidal@guaymas.uson.mx

Referencias

Alvarado, C. Z., M. P. Richards, S. F. O'Keefe, H. Wang (2007), "The effect of blood removal on oxidation and shelf life of broiler breast meat", *Poutry Sci.* 86, pp. 156-161.

Ansonera, D., A. Guembe, T. Mendizábal and I. Astiasarán (2010), "Effect of fish and oil nature on frying process and nutritional product quality", *J. of Food Sci.* 75(2), pp. H62-H67.

Calligaris, S., L. Manzocco, G. Kravina and M. C. Nicoli (2007), "Shelf-life modeling of bakery products by using oxidation indices", *J. Agric. Food Chem.* 55, pp. 2004-2009.

Choe, E. and D. B. Min (2006), "Mechanisms and factors for edible oil oxidation", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety of Inststitute of Food Techn.* 5, pp. 169-186.

Choe, E. and D. B Min (2007), "Chemistry of deep-fat frying oils", *J. of Food Sci*, 72(5), pp. R77-R86.

Dalle-Donne, I., R. Rossi, R. Colombo, D. Giustarini and A. Milzani (2006), "Biomarkers of oxidative damage in human disease", *Clinical Chem*, 52(4), pp. 601-623.

Du, R., D. Lai, Z. Xiao, Y. Shen, X. Wang and Y. Huang (2012), "Evaluation of the quality of deep frying oils with Fourier transform near-infrared and mid-infrared spectroscopy", *J. food Sci*, 77(2), pp. C261- C266.

Ducik, V. and P. Bouchon (2011), "Vacuum frying as a route to produce novel snacks with desired quality attributes according to new health trends", *J. of Food Sci*, 76(2), pp. E188-E195.

Farhoosh, R. (2007), "The effect of operational parameters of the rancimat method on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil", *J. of Am. Oil chem. Soc.*, 84(3), pp. 203-209.

Fenaille, F., P. Visani, R. Fumeaux, C. Milo and P. A. Guy (2003), "Comparison of mass spectrometry-based electronic nose and solid phase micro extraction gas chromatography-mass spectrometry technique to asses infant formula oxidation", *J. Agric. Food Chem.*, 51(9), pp. 2790-2796.

Frankel, E. N. (1985), "Chemistry of autoxidation: mechanism, products and flavor significance" en D. B. Min and T.H. Smouse (eds.), *Flavor chemistry of fats and oils. American Oil Chemists' Society*, Champaign, USA, pp. 1-70.

Hamre, K., B. E. Torstensen, A. Maage, R. Waagbo, R. B. Berge and S. Albresktsen (2010), "Effects of dietary lipid, vitamins, and minerals on total amount and redox status of glutathione and ubiquinone in tissues of atlantic salmon (*Salmo salar*): a multivariate approach", *Br. J. of Nutri.*, 104, pp. 980-988.

Hoffmann, G. (1989), *The chemistry and technology of edible oils and fats and their high fat products*, London, Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, cap. 1. pp. 1-28.

Hough, G. (2010), *Sensory shelf life estimation of food products*, CRC, Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 10-20.

Kabir, E. and K. Kim (2011), "An investigation on hazardous and odorous pollulant emission during cooking activities", *J. of Hazardous Materials*, 188, pp. 443-454.

Kolanowski, W., D. Jaworska and J. Weissbrodt (2007), "Importance of instrumental and sensory analysis in the assessment of oxidative deterioration of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid-rich foods", *J. of the Sci. of Food and Agric.*, 87(2), pp. 184-191.

Keast, R. S. J. (2010), "Food quality perception" en E. Ortega Rivas (eds), *Processing effects on safety and quality of foods*, CRC Taylor and Francis Group, Boca Raton, cap. 3, pp 67-86.

Lee, S. Y. and J. M. Krochta (2001), "Accelerated shelf life testing of whey-protein-coated peanuts analyzed by static headspace gas chromatography", *J. Agri. Food chem.*, 50, pp. 2011-2028.

Little, T.J. and C. Feinle-Bisset (2011), "Effects of dietary fat on appetite and energy intake in health and obesity-oral and gastrointestinal sensory contributions", *Physiology & Behavior*, 104, pp. 613-620.

López-Duarte, A. L. and R. L. Vidal-Quintanar (2009), "Oxidation of linoleic acid as a marker for shelf life of corn flour", *Food Chemistry*, 114, pp. 478-483. doi:10.1016/j.foodchem.2008.09.105.

Luna, G., M. T. Morales and R. Aparicio (2006), "Changes induced by UV radiation during virgin olive oil storage", *J. Agric. Food Chem*, 54(13), pp. 4790-4794.

Marquez-Castillo, A. and R. L. Vidal-Quintanar (2011), "Improvements in the shelf life of commercial corn dry masa flour (CMF) by reducing lipid oxidation", *J. of Food Sci.*, 76(2), pp. C236-C241.

Martínez-Valenzuela, N. del R., and R. L. Vidal-Quintanar (2010), "Perfil sensorial de rancidez lipídica en frituras de maíz con jueces entrenados", *Memorias del VII Congreso de Noroeste y* III *Nacional de Ciencias Alimentarias y Biotecnología*, México, Hermosillo Sonora, noviembre 8-13, Extenso CLO-02, pp. 195-209.

Meilgaard, M, G. V. Civille and B. T. Carr (1999), *Sensory evaluation techniques*, CRC, Boca Raton, pp. 265-304.

Mestdagh, F., B. De Meulenaer, J. De Clippeleer, F. Devilieghere and A. Huyghebaert (1988), "Protective influence of several packaging material son light oxidation of milk", *J. Dairy Sci.*, 88, pp. 499-510.

Moskowitz, H.R., J. H. Beckley and A. V. A. Resurreccion (2006), *Sensory and consumer research in food product design and development*, cap. 2 y 3, USA., IFT and Blackwell Publishing, p. 17-40.

Muñoz, A.M., G. V. Civille and B. T. Carr (1992), *Sensory evaluation in quality control*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 13-21.

Nunes, Y. and R.G. Moreira (2009), "Effect of osmotic dehydration and vacuum-frying parameters to produce high-quality mango chips", *J. of Food Sci.*, 74(7), pp. E355-E362.

Ortega-Rivas, E. (2010), "Food Preservation Technologies" en E. Ortega Rivas (eds). *Processing effects on safety and quality of foods*, CRC Taylor and Francis Group: Boca Ratón, cap. 1. pp. 3-9.

Quiroz-Moreno, A.L., R. Fontes-Gagiola and R. L. Vidal-Quintanar (2011), "Preferencia e identificación de las frituras producidas en Hermosillo", *Memorias del congreso Reunión Universitaria de Investigación en Materiales (RUIM)*, Universidad de Sonora, noviembre 21-25 de 2011, pp. 151-152.

Rius, M.A., M. Hortós and R. J. A. García (2005), "Influence of volatile vompounds on the development of off-flavours in pig back fat samples. Classified with boar taint by a test panel", *Meat Sci.* 71, pp. 595-602.

Rivers, R. (2008), "Nuevos desafíos en la inocuidad de la papa", reporte INEA-REMEHUE, *Publicación FAO Grupo de Sanidad e inocuidad alimentaria*, pp. 5-8.

Rodriguez, A., V. Losada, M.A. Larrain, V. Quitral, J. Vinagre and S. P. Aubourg (2007), "Development of lipid changes related to quality loss during the frozen storage of farmed coho salmon (oncorhynchus kisutch)", *J. of Am. Oil Chem. Soc.* 84(8), pp. 727-734.

Ruiz-Quero, A. and R. L. Vidal-Quintanar (2011), "Preferencia e identificación del estado oxidativo de frituras de maíz producidas en Hermosillo", *Memorias del VIII encuentro de participación de la mujer en ciencias,* León Guanajuato, mayo 18-20.

Schröder, M. J. A. (2003), "Food quality and consumer value" en M. J. A. Schröder (eds.), *Food quality and consumer value*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, pp. 32-39.

Sesma-Morales, Z. and R. L. Vidal-Quintanar (2011), "Evaluación sensorial con consumidores de frituras de maíz bajo almacenamiento acelerado", *Memorias del VIII encuentro de participación de la mujer en ciencias,* León Guanajuato. mayo, pp. 18-20.

Spiteller, G. (2005), "The relation of lipid peroxidation processes with atherogenesis: a new theory on atherogenesis", *Mol. Nutri and Food Res.*, 49(11), pp. 999-1013.

Steward, J.E., C. Feinle-Bisset, M. Golding, C. Delahunty, P. M. Clifton and R.S.J. Keast (2010), "Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects", *Br. J. of Nutr*, 104, pp. 145-152.

Stewart, J.E. and R. S. Keast (2011), "Resent fat intake modulates fat taste sensitivity in lean and overweight subjects", *Int. J. of Obesity*, DOI:10.1038/ijo.2011.155, august 9.

Steward, J.E., L.P. Newman and R.S.J. Keast (2011), "Oral sensitivity to oleic acid is associated with fat intake and body mass index", *Clinical Nutr.* 30, pp. 838-844.

Tseng, Y. C., R. Moreira and X. Sun (1996), "Total frying-use time effects on soybean-oil deterioration and on tortilla chip quality", *Int. J. of Food Sc. And Techn.*, 31, pp. 287-294.

Vidal-Quintanar, R. L., M. H. Love, J. A. Love, P. J. White and L. A. Johnson (2003), "Lipid-autoxidation-limited shelf-life of nixtamalized instant corn masa", *J. of Food Lipids*, 10(6), pp. 153-163.

Waite, J. G. and A. E. Yousef (2010), "Overview of food safety" en Ortega Rivas *Processing effects on safety and quality of foods.* CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, capítulo 2, pp. 11-66.

Weber, J., v.C. Bochi, C.P. Ribeiro, A. M. Victório and T. Emanuelli (2008), "Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets", *Food Chem.* 106, pp. 140-146.

Ziaiifar, A.M., N. Achir, F. Courtois, I. Trezzani and G. Trystram (2008), "Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process", *Int. J. of Food Sci and Tech*, 43, pp. 1410-1423.

El Pozole: situación actual y calidad nutricional

María Gricelda Vázquez Carrillo, David Santiago Ramos, Yolanda Salinas Moreno, José Ernesto Cervantes Martínez

Resumen

En el presente capítulo se describe el origen, la importancia y la situación actual en torno a la elaboración del pozole y su aporte nutricional. Es un platillo típico de México, que a pesar de su importancia y gran popularidad, ha sido poco estudiado. Se describen algunas de las razas de maíz-ingrediente principal-más utilizadas, la zona de producción y las características físicas que las hacen aptas para este uso. Posteriormente se describen los procesos tradicional y comercial y, finalmente se evalúa la calidad pozolera del maíz *Cacahuacintle* por estos dos procesos y uno adicional denominado alternativo, con el objetivo de determinar el efecto, de los aditivos utilizados y el tratamiento que se le da al grano de maíz en cada etapa, sobre el contenido de almidón, amilosa, proteína, lípidos, lisina, triptofano, Ca, Na y K, componentes del grano que finalmente llegan a cumplir una función nutricional en el platillo final preparado.

Palabras clave: calidad pozolera, componentes del grano, maíz *Cacahuacintle*, pozole.

El Pozole en México: origen e importancia

El pozole, del náhuatl *pozolli*, "espumoso", de *pozol* "espuma", o del cahita *posoli* "cocer maíz", es un platillo prehispánico, típico y original de México, que consiste

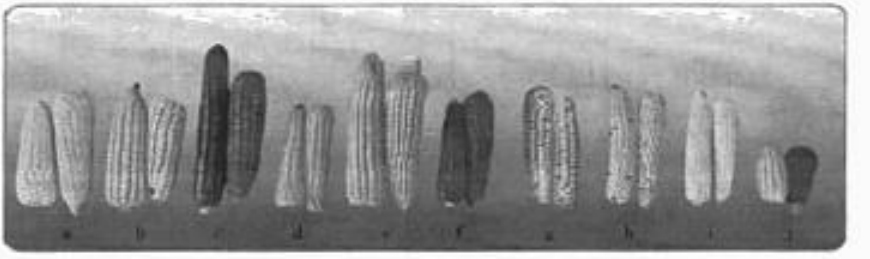
en una sopa de granos de maíz, carne, verduras y sal (Rodríguez, 2010). Existen muchas versiones sobre el origen del pozole, Rodríguez (2010) menciona que los platillos no tienen en realidad un origen, ya que la gran variedad de sus ingredientes y los distintos lugares en que se preparan y consumen, hace prácticamente imposible tener con precisión, salvo algunas excepciones, el lugar y momento preciso en que nació una receta. La historia más aceptada sobre el origen del pozole se remonta a la época de la conquista cuando Fray Bernardino de Sahagún en su obra *Historia General de las Cosas de la Nueva España* menciona que, en las ceremonias en honor de *Xipe Tótec*, se cocía maíz con carne de los guerreros sacrificados en los ritos solares, hechos avalados por antropólogos que han recabado recetas de cocina de frailes españoles, en ellos se manifiesta que restos de cuerpos humanos se cocían con maíz. La percepción de aberración que la antropofagia causaba entre la cultura española, y la importancia del platillo en los ritos y ceremonias solares fueron las principales razones por las cuales la carne humana fue sustituida por la de cerdo, que según el testimonio de algunos frailes "tienen un sabor similar". Esta transición de ingredientes fue la consecuencia lógica del proceso de adaptación a lo hispano que hicieron los colonizadores de las costumbres, tradiciones y ritos indígenas, relacionados sobre todo con la religión, sin embargo, se despojó al platillo del significado simbólico, y desde entonces se propició y extendió su consumo a todos los sectores de la población, dejando de ser exclusivo para los sacerdotes (Jiménez, 2006; Rodríguez, 2010). El principal ingrediente del pozole es el maíz, la raza más utilizada es *Cacahuacintle*, la razón por la cual este maíz fue utilizado dentro de la amplia gama de razas existentes, se debe a dos grandes razones, la primera posiblemente al significado simbólico del maíz y del color blanco que caracterizaba la cosmovisión del mundo azteca (Jiménez, 2006), y la segunda por sus características particulares de grano grande, harinoso y suave. En México, el pozole es uno de los platillos más representativos de la tradición mexicana y de los que más ha trascendido la historia, recorriendo todo el territorio nacional e incluso más allá de las fronteras, recogiendo a su paso ingredientes novedosos que se han incorporado para hacerlo más exótico. Su consumo está destinado de manera preferente para las fiestas nacionales, sin embargo, en los últimos tiempos su ingesta se ha extendido a lo cotidiano mediante restaurantes especializados. Según información estadística, al menos el 96.3 % de la población nacional ha probado, consumido y se siente orgulloso de la existencia de este platillo, convirtiéndolo, después del mole, en el segundo platillo típico más popular de este país, aumentando su popularidad a través de los años (Campos, 2010; Campos y Hernández, 2011). Esta amplia popularidad del pozole, no solo se debe a su origen sino a la flexibilidad en su preparación y acompañamiento. Los estilos más populares son el blanco, representativo de Guerrero, y el rojo, muy común en Sinaloa

y Jalisco; el pozole muestra la diversidad de la cultura mexicana, pues en todas las regiones del país han creado su propia versión (Rodríguez, 2010).

El maíz como ingrediente principal del pozole

Los maíces nativos tienen múltiples usos y son base de muchos platillos para los cuales los maíces mejorados no son aptos, algunos son únicos para los llamados "usos especiales" (Ortega, 2003), como el caso del pozole. De las 59 razas descritas por Sánchez *et al.* (2000), se ha identificado que al menos 10 se utilizan en diversas regiones del país para la elaboración del pozole (figura 1).

Figura 1. Razas de maíz utilizadas en la elaboración de pozole: a) Cacahuacintle, b) Ancho, c) Elotes Occidentales, d) Tabloncillo, e) Jala, f) Bofo, g) Harinoso de Ocho, h) Gordo, i) Blando de Sonora y j) Bolita



Fuente: Material proporcionado por el Banco de Germoplasma del INIFAP.

Estos maíces se caracterizan por el gran tamaño de sus mazorcas (excepto Bolita), y de sus granos, así como la suavidad de su endospermo. En los estados del centro del país (Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Distrito Federal) la raza más utilizada es *Cacahuacintle*, que se encuentra limitada a altitudes de 2200 a 2800 msnm, en los estados de México, Puebla y Tlaxcala, por ser un tipo de maíz con un nicho ecológico muy específico, los productores que se dedican a su cultivo son únicos en su género, lo que les permite tener ante sí, un amplio mercado nacional (Bonifacio *et al.*, 2005). En Guerrero y Morelos se usa la raza Ancho (Muñoz *et al.*, 2009), aunque informan que en Morelos también se demanda, hasta en un 26%, la raza Elotes Occidentales para la producción de pozole (Trujillo y Gómez, 2011). En Jalisco la raza Elotes Occidentales de color blanco o rojo es la más usada para la elaboración de este platillo, ya sea a nivel doméstico o envasado-precocido (Ramos, 2011). Estas tres razas sobresa-

len por el volumen que se destina a este alimento, la cantidad producida, las áreas especializadas de producción y su sobreprecio en el mercado. Las áreas más importantes de producción comercial de éstas tres razas se localizan en los estados de Puebla, México, Jalisco, Aguascalientes, Guerrero, Oaxaca y Morelos (Sarmiento, 2010). En 2010, se sembraron en total 7 742 ha, con una producción de 40 993.86 ton y rendimientos entre 3.11-10.78 ton ha^{-1}, siendo el estado de Puebla el principal productor (10.78 ton ha^{-1}), seguido del estado de Morelos y México (SIAP, 2012). Otra raza, muy usada y con gran extensión en el occidente de México es Tabloncillo. Bofo es una raza con características semejantes a Elotes Occidentales, se encuentra en abundancia en alturas intermedias de la Sierra Madre Occidental en Nayarit, Jalisco y Durango. En estados del norte, como Sonora y Chihuahua, se utiliza la raza Gordo. Tres razas más con potencial para la elaboración de pozole son: Jala, que solo se cultiva en el Valle de Jala en Nayarit y que presenta las mazorcas mas largas (71 cm) (Muñoz, 2003); Harinoso de ocho, presente en Sonora, Sinaloa y Nayarit, y Blando de Sonora, todas se cultivan y consumen en regiones muy específicas, fuera de sus áreas de producción es difícil encontrarlas, además son razas en peligro de extinción. Una última raza de uso poco común en pozole pero con una amplia distribución es Bolita, dominante en los Valles Centrales de Oaxaca (Ortega, 2003; Conabio, 2012). Las características físicas del grano de algunas razas utilizadas para la producción de pozole se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características físicas del grano de cinco razas de maíz utilizadas para la elaboración de pozole

Raza	PH ($kg\ hL^{-1}$)	PCG (g)	IF (%)	Estructura (%)				
				PED	PER	GER	EH	EC
Ancho	65.2±0.3	84.6±1.7	97±2.1	1.6±0.1	4.9±0.2	11.4±0.3	44.7±4.5	37.4±3.9
Blando	64.6±0.2	40.2±1.4	92±2.1	1.4±0.0	4.9±0.1	12.6±0.6	61.4±0.8	19.7±0.4
Cacahuacintle	59.1±0.1	60.1±1.3	100±0.0	2.4±0.1	5.7±0.2	11.5±0.5	80.6±0.2	0.0±0.0
Gordo	63.3±1.2	47.9±4.7	99±0.7	1.1±0.1	5.2±0.1	10.5±1.2	45.0±4.2	38.2±5.4
Elotes Occidentales	71.2±1.3	53.3±3.9	92±3.2	1.9±0.1	5.4±0.4	10.0±0.0	41.0±1.7	41.7±2.0
DMS	4.21	21.80	8.41	0.40	0.46	2.70	9.00	11.44

Fuente: PH: peso hectolítrico; PCG: peso de cien granos; IF: índice de flotación; PED: pedicelo; PER: pericarpio; EH: endospermo harinoso; EC: endospermo córneo. DMS: diferencia mínima significativa.

El peso hectolítrico (PH) y el índice de flotación (IF) son medidas indirectas de la dureza del grano de maíz, valores de PH superiores a 80 kg hL^{-1} e IF < 12% son comunes en maíces de endospermo muy duro (Vázquez *et al.*, 2003), en tanto que valores bajos de PH e IF > 87% son característicos de maíces muy suaves. El PH de las cinco razas mostradas en el cuadro 1, presenta un valor promedio de 64.7 kg hL^{-1} y un IF de 96%, correlacionadas significativamente (r = -0.71*), además de un alto contenido de endospermo harinoso, lo que demuestra la suavidad de los granos de estos maíces. El peso de cien granos (PCG) varía de 40.25 g a 84.62 g, esta variable, como indicador del tamaño de grano, refleja que las cinco razas presentan granos de tamaño grande (PCG > 38 g) (Salinas *et al.*, 2010). Todas estas razas presentan un contenido de pericarpio menor al promedio de los maíces criollos normales (6.12%) (Vázquez *et al.*, 2011a), coincidente con los resultados de Narváez *et al.* (2007), quienes encontraron que los maíces con menor espesor de pericarpio eran los más aptos para la elaboración de pozoles. Sobresale *Cacahuacintle* por su contenido alto de endospermo harinoso y pedicelo, coincidiendo con resultados informados (Bonifacio *et al.*, 2005; Hernández, 2010). Por estas características, otros "usos especiales" de estos maíces es como elote (grano tierno) o como pinole (Vázquez *et al.*, 2011b), sin embargo, cuando es la única fuente de alimento, se procesan para elaborar tortillas y otros alimentos tradicionales (Muñoz, 2003). La suavidad de su grano, así como su elevado precio, limitan su comercialización como materia prima para la elaboración de tortillas y harinas de maíz nixtamalizado. La composición química del grano varía, dependiendo de las condiciones de cultivo, el ambiente y la contribución genética. En la raza *Cacahuacintle*, se han informado contenidos de almidón entre 65.3-74.4%, amilosa 23.7%, proteína 7.2-9.6%, lisina 0.342%, triptófano 0.076%, aceite 4.3-5.02%, azúcares 2.73% y fibra cruda 1.2% (Hernández, 1986; Pineda, 2003).

Comercialización del maíz pozolero

De todas las razas utilizadas para elaboración de pozole *Cacahuacintle* es la que ha tenido una mayor distribución y diversificación de su comercialización, debido a que el principal nicho de consumo de esta raza es el Valle de México, mientras que las otras razas solo se consumen en regiones muy específicas del país o son utilizadas para autoconsumo. El grano de maíz *Cacahuacintle* para pozole se comercializa en dos presentaciones: grano entero y grano "descabezado", que representan 20 y 65% del volumen total, respectivamente, el otro 15% se utiliza para semilla (Pineda, 2003). Una vez cosechado el maíz, se almacena para su acondicionamiento y posterior comercialización como grano entero o descabezado. Las mazorcas que son consideradas óptimas para descabezar son aquellas que cuentan con los granos más grandes y alargados pues esto reduce considerablemente

los desperdicios. Se estima que en el descabezado se desperdicia alrededor del 8% del producto (Pérez, 2003). La venta de maíz descabezado agrega un valor al producto, por lo tanto esta actividad ha pasado de realizarse manualmente a realizarse con ayuda de maquinaria especial (figura 2), diseñada por los propios productores.

Figura 2. Descabezado de mazorcas de maíz Cacahuacintle



Fuente: Imagen proporcionada por el Banco de Germoplasma del INIFAP.

Una vez descabezado, el maíz se criba, para seleccionarlo por tamaño. El maíz entero es absorbido por las industrias que producen grano precocido, en tanto que el descabezado es consumido por las amas de casa que gustan del pozole preparado de manera tradicional. La preferencia de los consumidores por adquirir el grano descabezado es porque se logra mejor sabor en el pozole, y para el caso del grano precocido se prefiere por la rapidez que implica su preparación. La preferencia por la adquisición de maíz entero no es representativa, pues en el proceso de preparación del pozole, el descabezado es la operación que implica más tiempo y es una labor manual para las amas de casa (Avilés y Carrasco, 2000).

La elaboración del pozole

Actualmente se identifican dos procesos para la elaboración del pozole: el tradicional y el comercial. En el primero las amas de casa realizan un laborioso proceso desde la selección del maíz hasta obtener el producto final que dura alrededor de 25

horas, mientras que en el segundo, pequeñas o medianas industrias elaboran mediante el uso de maquinaria y productos químicos un grano precocido, disponible a la venta en comercios, que solo requiere un proceso adicional de 3 a 4 horas para obtener el platillo final. La elaboración tradicional del pozole involucra, inicialmente, un proceso de nixtamalización, es decir un precocimiento de los granos de maíz en una solución de agua con hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] (cal) (0.5-2.0 %). Este precocimiento lleva aproximadamente un par de horas y se hace principalmente con el propósito de remover el pericarpio del grano. Después, el nixtamal se deja reposar por 14 a 16 horas y se lava intensamente para eliminar el exceso de cal y el pericarpio. Posteriormente, la punta o pico (pedicelo) se retira manualmente "grano por grano", con lo que se busca mejorar las características palatables, al eliminarse la parte fibrosa del pedicelo, se logra un mayor volumen de floreado y se reduce el tiempo de cocimiento para el reventado del grano (figura 3). Finalmente el maíz descabezado se somete a un último cocimiento, que dura varias horas y se hace en agua, la cual constituye el caldo del pozole (Bonifacio *et al.*, 2005). El maíz se hincha y fractura progresivamente durante el cocimiento, y adquiere una forma similar a la de una flor, por lo que a este proceso también se le conoce como "floreado". Una vez que los granos de maíz han floreado, es posible agregar la carne para que el guiso adquiera el sabor de la misma (Rodríguez, 2010).

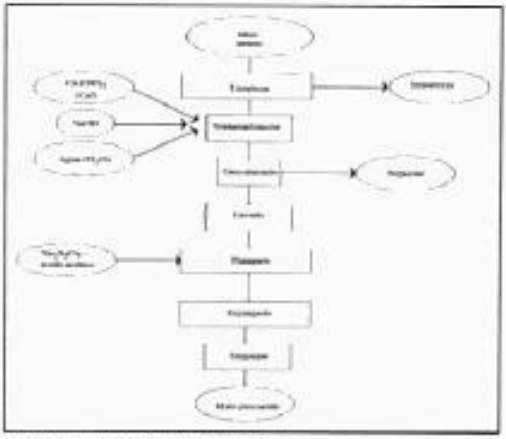
Figura 3. Diagrama del proceso tradicional de elaboración de pozole



Fuente: elaboración propia.

En el proceso comercial, las empresas procesadoras elaboran un grano precocido, el proceso utilizado varia ampliamente entre empresas, aunque se puede decir que las principales partes de este proceso son el descabezado y el blanqueado. La nixtamalización implica un cocimiento del maíz con agua, hidróxido de calcio (0.3-0.5%) e hidróxido de sodio en cantidades variables dependiendo de la empresa, esto con la finalidad de facilitar el desprendimiento del pedicelo, proceso que dura alrededor de una hora. Una vez transcurrido ese tiempo el maíz se lava para eliminar el pericarpio y se procede a descabezar. El descabezado es una práctica encaminada a reducir el tiempo de floreado, ya que al retirar el pedicelo, queda en la base del grano una oquedad por la cual penetra el agua libremente, favoreciendo la gelatinización de los almidones del endospermo. Esta operación se realiza en grandes tanques provistos de un eje transversal con paletas, que giran frotando el nixtamal contra la pared del tanque consistente en un malla por la cual se libera el pedicelo del grano con ayuda de un flujo continuo de agua. Esta etapa dura entre 10 y 20 minutos. Algunas empresas, posterior al descabezado, hacen un proceso denominado precocción, que consiste en poner a ebullición el maíz descabezado con acido fosfórico, durante un tiempo corto (Pineda, 2003). Se ha observado que el grano con mayor blancura es el más apreciado por el consumidor, de esta forma la agroindustria elige elaborar un producto con estas características, por lo que una vez descabezado el grano se realiza un blanqueo, en donde se utiliza metabisulfito de sodio (3-7.5%), el maíz se deja reposar en la solución de metabisulfito por un promedio de 20 horas. La industria procesadora de grano precocido, en un principio elaboraba este maíz manualmente, pero por la demanda que ha tenido el producto en los últimos años se han tenido que mecanizar algunas partes del proceso, como el descabezado y el envasado, lo que contribuye a que se obtenga más producto en un menor tiempo (figura 4).

Figura 4. Diagrama de bloques general del proceso industrial de elaboración de maíz precocido



Fuente: elaboración propia.

El maíz precocido: ¿un riesgo para la salud?

Según el *Codex Alimentarius* un aditivo alimentario es cualquier sustancia que no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento, es con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) desde la fabricación hasta el transporte o almacenamiento del mismo, y que pueda preservar razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características (FAO, 2011). En la misma norma se establecen las condiciones en que se pueden utilizar aditivos alimentarios en todos los alimentos, también se definen las categorías de alimentos o los productos alimenticios individuales en los que el uso de aditivos alimentarios no está permitido o debe restringirse. Dentro de la amplia gama de alimentos mencionados en la norma no se encuentra el maíz precocido para pozole, o algún alimento similar, incluso dentro de las normas mexicanas tampoco se encuentra catalogado este alimento, por lo que no existe normatividad alguna para este platillo; algunos autores como Pineda (2003) lo clasifican como un plato precocinado basándose en el *Codex Alimentarius* de 1992, en la actualidad este documento ha sido rebasado. En el *Codex Alimentarius* vigente, el maíz precocido para pozole podría estar incluido en el apartado 16.0 de Alimentos compuestos que comprende lo siguiente: "platos preparados

o combinados en los que se añaden aditivos directamente al alimento compuesto", sin embargo, esta clasificación es ambigua y poco aplicable al alimento en cuestión. Las industrias que elaboran maíz precocido para pozole, utilizan sustancias químicas para coadyuvar y facilitar algunas partes del proceso como lo son la nixtamalización, descabezado, blanqueo y envasado. Las sustancias más frecuentemente utilizadas son el hidróxido de sodio, metabisulfito de sodio, ácido acético, ácido fosfórico y benzoato de sodio. El hidróxido de sodio es un aditivo regulador de la acidez, sin embargo, en el proceso de elaboración de maíz precocido se usa para facilitar el desprendimiento del pedicelo durante el descabezado. El metabisulfito de sodio, en el proceso de blanqueo, cumple la función de decolorante. El ácido acético tiene como propósito bajar el pH del grano, para que los conservadores puedan actuar, además ayuda al blanqueo y según los procesadores también suaviza y esponja el grano, para que presente un aspecto más grande (Pineda, 2003). El ácido fosfórico también tiene la función de esponjar el grano. El benzoato de sodio sirve como conservador en el envasado, aunque algunas empresas no requieren de este aditivo porque envasan el grano precocido al vacío. Esos aditivos son utilizados por la industria indiscriminadamente, ya que actualmente casi no existen investigaciones relacionadas con el efecto específico de estos compuestos sobre el proceso de elaboración y las cantidades óptimas a utilizar sin afectar la calidad del producto final y la nutrición de los consumidores finales. Por lo anterior es importante revisar la normatividad en cuanto a los aditivos utilizados actualmente por la industria y determinar si el uso indiscriminado no rebasa las dosis máximas permitidas en este alimento.

El consumo del pozole y la nutrición

Poco se ha escrito sobre el aporte nutricional del pozole en la alimentación del mexicano, sin embargo, de acuerdo con Rosete (2010), además del delicioso sabor de este platillo típico, por la gran variedad de ingredientes utilizados en su elaboración (maíz, carne de cerdo, carne de pollo, chile, especias, sal), aporta muchos nutrientes como carbohidratos, proteína, hierro, potasio, magnesio, sodio, zinc, vitaminas. Un análisis nutrimental realizado por el mismo autor, arroja que un plato de pozole brinda un contenido energético promedio de 780 Kcal, incluyendo todos sus ingredientes. Otros autores informan entre 220-235 Kcal, sin embargo, depende de la preparación y la cantidad de ingredientes que se le ponga, el hecho es que tan solo 100 g de maíz *Cacahuacintle* procesado aportan 275 Kcal. Debido a la gran cantidad y variedad de ingredientes presentes, este platillo puede cumplir con las indicaciones del plato del buen comer.

Calidad pozolera del maíz *Cacahuacintle*

Como ya se mencionó, hasta ahora no existe una norma de calidad que especifique las características que deben poseer tanto el grano de maíz entero, como precocido, para elaborar un buen pozole. Bonifacio *et al.* (2005), mencionan que algunas variables físicas tales como la forma y tamaño del grano, el peso hectolítrico y la densidad, están asociadas con características de calidad pozolera en maíz *Cacahuacintle*, tales como el tiempo de cocción necesario para el florcado del grano. Recientemente el Laboratorio de Calidad de Maíz del INIFAP, retomando este tema, ha evaluado la calidad pozolera de algunas razas nativas, entre ellas algunas de las descritas anteriormente, con énfasis en el maíz *Cacahuacintle*, debido a su amplia producción y comercialización en el centro de México. Uno de los objetivos de esta evaluación es la caracterización de cada una de las etapas que integran el proceso, con miras al desarrollo de procesos que permitan la producción de un maíz precocido, de buena calidad comercial y nutricional, bajo el uso racional de compuestos químicos. En una primera etapa se desarrolló un proceso con el uso de una mezcla $Ca(OH)_2$-KOH en la nixtamalización, y $K_2S_2O_5$ en el blanqueo, denominado método "alternativo". La calidad pozolera del maíz *Cacahuacintle* evaluada por los tres métodos (tradicional, comercial, alternativo) fue expresada por variables de nixtamal, grano blanqueado y grano floreado durante el proceso de elaboración de pozole (cuadros 2, 3 y 4).

Cuadro 2. Calidad del nixtamal del maíz *Cacahuacintle* obtenido bajo tres métodos

Método	*Rendimiento*	*VE (cm³)*	*GD (%)*	*H (%)*	*S (%)*	*Color*			*Dureza (gf)*
						L	*hue†*	*croma†*	
Tradicional $Ca(OH)_2$	1.5+0.0	58.0+0.0	100.0+0.0	49.0+1.1	4.9+0.3	70.9+1.3	90.8+0.9	22.8+0.5	224+2.7
Comercial $Ca(OH)_2$+NaOH	1.4+0.0	34.3+2.1	93.4+5.6	43.8+1.3	8.1+0.2	63.4+1.0	87.5+0.4	39.6+0.7	291+2.2
Alternativo $Ca(OH)_2$+KOH	1.3+0.0	26.4+2.1	91.0+1.7	41.4+1.8	8.4+0.2	69.6+0.0	90.3+1.4	39.5+0.5	271+2.1
DMS	0.05	4.26	8.46	3.60	0.61	2.38	2.50	1.47	6.08

Fuente: elaboración propia. (kg nixtamal descabezado kg maíz-1), VE: Volumen de expansión; GD: granos descabezados; H: humedad; S: sólidos; L: luminosidad, ╪hue= arctan (b/a), †croma= (a2 + b2)1/2, gf: gramos fuerza. DMS: diferencia mínima significativa.

En el cuadro anterior se puede observar que el mayor rendimiento, volumen de expansión y contenido de humedad en nixtamal se obtienen mediante el método tradicional y los valores más bajos en el método alternativo. Tanto el rendimiento

como el volumen de expansión se correlacionan positivamente con el contenido de humedad ($r = 0.92^{**}$, $r = 0.95^{**}$). Esto se explica principalmente, porque en el método tradicional, el tiempo de reposo (14-16 h) permite una mejor hidratación de los gránulos de almidón y un mayor contacto con la solución alcalina, permitiendo que los iones de calcio penetren en las regiones amorfas ricas en amilosa de los gránulos rompiendo los enlaces intermoleculares y causando un alto nivel de hinchamiento (Pineda *et al.*, 2011), lo que resulta en un mayor rendimiento y volumen de expansión. Por otra parte, en los métodos comercial y alternativo, la alta concentración de hidróxido de calcio, sodio y potasio actúan estabilizando los gránulos y su rigidez, disminuyendo por tanto su volumen. El porcentaje de granos descabezados en el método tradicional es del 100%, debido a que es una actividad manual realizada por las amas de casa y se procura eliminar totalmente el pedicelo. En el caso de los otros métodos, no se observan diferencias significativas, sin embargo, el porcentaje de GD es ligeramente mayor en el método comercial que en el método alternativo, a pesar de la mayor concentración de $Ca(OH)_2$ e KOH que se utiliza en éste último. Esto refleja que el NaOH es más efectivo en la hidrólisis de los compuestos presentes en el pedicelo, que permite retirarlo con mayor facilidad. El método alternativo produce el mayor contenido de sólidos (8.4%) en el nejayote y el tradicional el menor (4.9%), debido a la concentración utilizada; resultados similares fueron obtenidos por Singh *et al.* (1997), quienes encontraron el mayor grado de efectividad en el descascarillado de maíz con el NaOH, seguido del KOH y muy por debajo el $Ca(OH)_2$. Durante la nixtamalización los álcalis hidrolizan gran parte del pericarpio, por lo que la única estructura que permanece en el grano es la aleurona, la cual adquiere una tonalidad amarillenta por la presencia de éstos compuestos (Bonifacio *et al.*, 2005). El color del nixtamal, una vez lavado, es más claro (mayor valor de L) en el método comercial. En el método tradicional el color es mucho mas amarillo debido al mayor contacto del hidróxido de calcio con el grano durante el reposo. De acuerdo con Khan *et al.* (1982), la dureza del nixtamal disminuye a medida que el tiempo de cocción aumenta, por lo que se esperaría que el método comercial (60 min) tuviera los granos de nixtamal más suaves, y el tradicional los más duros, fenómeno que no ocurrió. El comportamiento de la dureza se explica por el contenido de humedad ($r = -0.75^{**}$). El método tradicional produce los granos mas suaves debió al mayor tiempo de reposo que permite una hidratación mas completa del grano. En los métodos restantes no hay reposo por lo que el interior del grano no fue lo suficientemente hidratado y es más duro. En la producción de maíz precocido la segunda y última etapa después de la nixtamalización comprende el blanqueo del grano para eliminar el color amarillo-verdoso de la capa de aleurona, y obtener un color blanco apreciable por los consumidores. El rendimiento de grano precocido es de suma importancia para

la industria debido a que entre mayor sea el rendimiento obtenido mayor serán las ganancias. Como se puede observar en el cuadro 3, el método alternativo produce un rendimiento de grano precocido, volumen de expansión y un contenido de humedad mayor que el comercial, comportamiento que no es acorde al tiempo de blanqueo, debido a que en el método comercial el maíz permanece 20 h en el blanqueo, en tanto que en el alternativo son 3 h, sin embargo, es claro que los gránulos de almidón no estaban completamente hinchados y en esta etapa continúa su hinchamiento.

Cuadro 3. Calidad del grano blanqueado de maíz Cacahuacintle obtenido por dos métodos

Método	*Rendimiento*	*VE* (cm^3)	*H (%)*	*S (%)*	*Color*			*Dureza (g)*
					L	*Hue°*	*Croma°*	
Comercial $Na_2S_2O_5$	1.73±0.0	47.7±4.0	51.8±0.6	5.2±0.1	81.11±0.4	93.80±0.6	17.52±1.2	141±3.5
Alternativo $K_2S_2O_5$	1.75±0.0	62.4±1.4	52.2±1.3	2.7±0.1	75.95±3.4	92.19±2.4	38.16±1.1	207±5.0
DMS	0.06	6.92	2.25	0.21	5.44	3.98	2.60	9.57

Fuente: elaboración propia. (kg grano precocido kg maíz-1), VE: Volumen de expansión; H: humedad; S: sólidos; L: luminosidad, ┼hue= aretan (b/a), †croma= (a2 + b2)1/2, gf: gramos fuerza. DMS: diferencia mínima significativa. En el método tradicional no se realiza el proceso de blanqueo.

El método comercial produce más sólidos en la solución de blanqueo debido al mayor tiempo que permanecen los granos en la solución. El color del grano blanqueado es más blanco en el método comercial como resultado de las 20 horas que el grano permanece sumergido en la solución de metabisulfito de sodio y ácido acético. El ácido acético coadyuva con el metabisulfito de sodio en el blanqueo, en el método alternativo no se utiliza esta sustancia y esta puede ser una de las razones de la menor blancura del grano precocido. La dureza del grano blanqueado fue mayor en el método alternativo que en el método comercial, producto del tiempo de blanqueo que ablandó más el grano. La etapa final que implica la elaboración de éste platillo es el floreado del grano, en la cual los parámetros más importantes son el volumen de expansión del grano y el tiempo de floreado (cuadro 4).

Cuadro 4. Calidad del grano foreado de maíz *Cacahuacintle* por tres métodos

Método	*Rendimiento*	*VE (cm³)*	*GF (%)*	*H (%)*	*S (%)*	*Color*			*Dureza (g)*	*TF (min)*
						L	*Hue*[†]	*Croma*[‡]		
Tradicional	2.5±0.0	204.0±2.0	79.4±3.8	71.3±0.7	1.4±0.2	69.0±0.4	92.1±1.3	18.1±0.7	49±1.9	149±1.9
Comercial	2.5±0.0	209.7±4.9	90.4±0.8	69.0±0.2	1.1±0.1	74.2±1.3	96.8±1.0	12.2±0.9	47±1.9	114±3.6
Alternativo	2.3±0.0	216.6±4.1	93.3±0.6	68.3±1.8	1.0±0.1	76.3±4.2	95.7±1.1	14.5±1.8	61±2.5	103±6.0
DMS	0.05	9.74	5.61	2.82	0.28	6.41	2.85	3.11	5.69	10.43

Fuente: elaboración propia. kg grano floreado; kg maíz^{-1}; [†]hue= arctan (b/a); [‡]croma= $(a^2 + b^2)^{1/2}$; VE: Volumen de expansión; GF: granos floreados; H: humedad; S: sólidos; L: luminosidad; TF: tiempo de floreado. DMS: diferencia mínima significativa.

Los métodos de nixtamalización tradicional y comercial proporcionaron los mayores rendimientos de grano floreado que el método alternativo, sin embargo, el mayor volumen de expansión lo proporciona el método alternativo. Pese a la eliminación total del pedicelo, el método tradicional requiere un mayor tiempo de florcado, alrededor de 30 minutos más que los demás, el menor tiempo lo requirieron los granos obtenidos por el método alternativo. Bonifacio *et al.* (2005), reportaron tiempos de floreado, en maíz *Cacahuacintle*, entre 120-218 min utilizando el método tradicional y atribuyen un menor tiempo de florcado a la presencia de granos grandes y redondos, mientras que el mayor tiempo de floreado correspondió a granos de forma apastillada triangulada o redondeada. En el presente estudio los granos fueron redondos-globosos. El porcentaje de GF no se vio favorecido por el descabezado, se esperaría que entre mayor fuese el tiempo de floreado mayor sea el porcentaje de GF (Bonifacio *et al.*, 2005), sin embargo, el comportamiento fue contrario. El contenido de sólidos en el caldo de cocción, fue mayor en el grano florcado por el método tradicional, no obstante, esto es irrelevante, debido a que los compuestos que pudieran haberse lixiviado se consumen en ese caldo.

Calidad nutricional del pozole

El contenido de almidón en el nixtamal presenta un aumento, respecto al grano entero, debido a la concentración de éste componente, como resultado de la pérdida de otros (pericarpio, pedicelo, proteína), durante la nixtamalización. Mientras que en el blanqueado hay una ligera disminución que refleja una solubilización de almidones

en la solución de blanqueo. En el floreado el contenido de almidón disminuye a medida que aumenta el tiempo de cocción (cuadro 5).

Cuadro 5. Composición química del maíz *Cacahuacintle* en las diferentes etapas de la elaboración del pozole

Etapa	*Proceso*	*Almidón (%)*	*Amilosa (%)*	*Proteína (%)*	*Aceite (%)*	*Cenizas (%)*
Grano Entero		73.0+1.2	23.9+0.0	8.3+0.0	4.63+0.04	1.31+0.27
Nixtamal	Tradicional	78.6+0.7	20.9+0.6	7.5+0.2	3.57+0.10	1.31+0.01
	Comercial	77.7+0.1	20.0+0.2	7.6+0.0	2.91+0.07	1.44+0.01
	Alternativo	79.0+0.2	20.2+0.4	7.8+0.0	3.80+0.07	1.61+0.01
Blanqueado	Comercial	77.6+0.1	27.3+0.6	7.6+0.0	4.26+0.30	1.77+0.01
	Alternativo	78.6+0.3	25.0+0.2	8.3+0.0	4.13+0.02	1.29+0.02
Floreado	Tradicional	76.6+0.0	16.4+0.4	7.3+0.0	4.16+0.11	1.02+0.01
	Comercial	77.2+0.5	21.6+0.4	7.8+0.0	4.07+0.05	0.64+0.02
	Alternativo	79.7+1.8	20.9+0.2	7.8+0.0	3.81+0.03	0.97+0.01

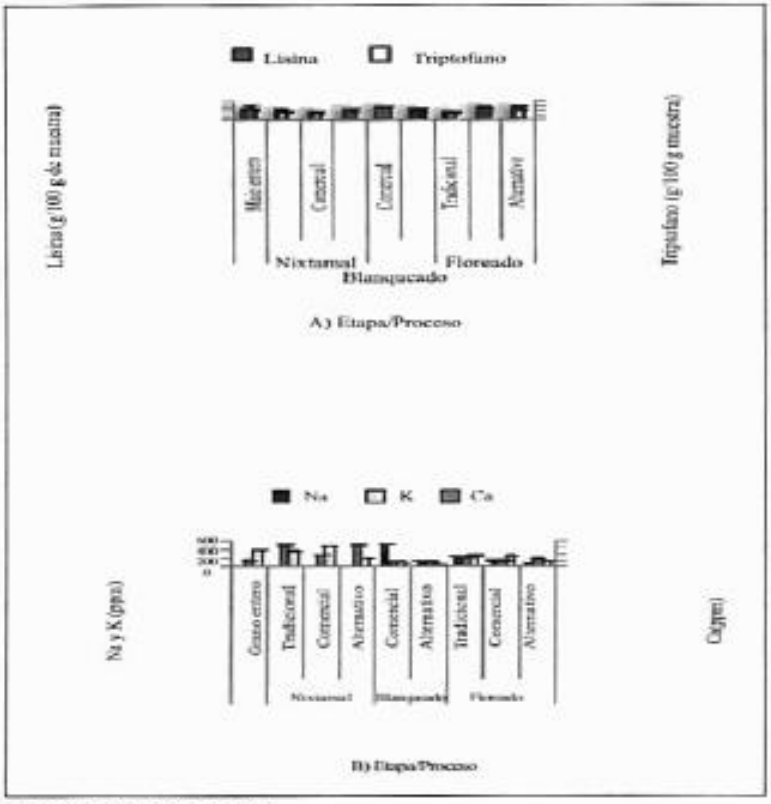
Fuente: elaboración propia.

El contenido de amilosa en el grano fue de 23.9%, valor similar al informado por Hernández (1986) y Hernández (2010). La amilosa y la amilopectina tienen diferente capacidad de hidratación, la amilopectina se hidrata más fácilmente que la amilosa (Ansari *et al.*, 2010), por lo que se esperaría que a menor contenido de amilosa, y por tanto mayor de amilopectina, el tiempo de floreado fuera menor, sin embargo, el contenido de amilosa en el grano floreado se correlacionó negativamente con el tiempo de floreado ($r = -0.93$), lo que significa que a mayor tiempo de floreado menor contenido de amilosa, el mismo comportamiento se presentó con el contenido de proteína ($r = -0.97$). Esto se debe a que durante el floreado del grano se liberan en el caldo de cocción proteínas solubilizadas, almidón y hasta fragmentos de granos floreados (Bonifacio *et al.*, 2005). El contenido de aceite en el grano fue de 4.63%, durante la nixtamalización el proceso comercial fue el que afectó más su contenido y el alternativo menos. Esta disminución se debe a la saponificación de los lípidos por el contacto con los hidróxidos durante la nixtamalización (Martínez *et al.*, 2001).

Posteriormente, en el blanqueo se observa un incremento y una ligera disminución en el floreado.

El contenido de triptófano muestra una disminución progresiva en cada una de las etapas del método tradicional, en el método comercial no se detectó triptofano en el grano blanqueado, posiblemente por la gran cantidad de metabisulfito de sodio presente, que pudiera interferir en el método; en el método alternativo se observa una ligera disminución de grano entero a nixtamal y de nixtamal a blanqueado, sin embargo en el floreado aumenta (figura 5-A).

Figura 5. Efecto de la elaboración de pozole en los contenidos de: A) lisina y triptófano y B) Ca, Na y K, en grano de maíz y los productos obtenidos



Fuente: elaboración propia.

Por su parte, el contenido de lisina en el nixtamal elaborado por el método tradicional y alternativo permanece constante, mientras que en el comercial disminuye un poco, posteriormente en el blanqueo se observa un aumento, en ambos métodos. Resultados similares fueron obtenidos por Sanderson *et al.* (1978). En el grano floreado se mantiene prácticamente constante.

En grano entero, el mineral con mayor presencia es el K (figura 5-B). Durante el proceso de nixtamalización el contenido de Ca y Na en el nixtamal aumenta considerablemente, y el de potasio disminuye en los métodos tradicional y alternativo. En la etapa de blanqueado el contenido de Ca y K disminuye en los dos métodos y el de Na aumenta, sobre todo en el método comercial, donde el aumento es del 5 635%, lo que demuestra que las grandes cantidades de $Na_2S_2O_5$ y las 20 horas que dura el proceso dejan residuos de Na en el grano blanqueado. En lo que respecta al método alternativo, a pesar del uso de $K_2S_2O_5$ el contenido de K disminuye, lo que indica que el tiempo de blanqueo en este método solo influye en la decoloración del grano, pero no deja residuos en él. Es claro que la disminución del contenido de Ca durante el blanqueado, en ambos métodos, se debe a que durante la nixtamalización el calcio solo se adhiere a las capas mas externas del grano y no penetra al interior (Gutiérrez *et al.*, 2007), además de que no existe un tiempo de reposo como en el método tradicional. Durante la etapa de floreado el contenido de todos los minerales disminuye en los tres métodos, sin embargo, esos contenidos no se pierden sino que se quedan en el caldo de cocción que finalmente se consume.

Perspectivas

Al igual que muchos alimentos, el pozole se ha venido adaptando a un mercado y consumidores cada vez más exigentes y acorde a las condiciones de vida actuales; es así que en 2006, jóvenes estudiantes desarrollaron un proceso para la elaboración de pozole instantáneo que consiste en un precocido del maíz y sellado al alto vacío en recipientes especiales, lo que elimina el uso de conservadores (Carlos, 2008). Además de tener varias presentaciones, su comercialización implica la distribución de tostadas y sus demás ingredientes totalmente deshidratados. Rodríguez *et al.* (2007), desarrollaron un pozole instantáneo enriquecido con soya de calidad organoléptica y nutricional aceptable. Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años, indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación y la evidente importancia y arraigo cultural que el pozole tiene en la

cultura mexicana, generan una nueva área de desarrollo en el tema de los platillos o alimentos regionales, por lo que vale la pena reconsiderar el uso de algunos aditivos, o en su caso desarrollar y optimizar nuevos procesos que permitan mantener o afectar lo menos posible los componentes del grano, además de adicionar otros nutrientes para finalmente elaborar un producto de calidad tanto organoléptica como nutritiva.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Gilberto Esquivel Esquivel del Banco de Germoplasma del INIFAP por las imágenes proporcionadas y a los colaboradores del Laboratorio de Calidad de Maíz del INIFAP por su apoyo.

Sobre los autores

María Gricelda Vázquez Carrillo,[1] David Santiago Ramos,[1] Yolanda Salinas Moreno,[1] José Ernesto Cervantes Martínez.[2] [1]Laboratorio de Calidad de Maíz, Campo Experimental Valle de México-INIFAP, [2]Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Referencias

Ansari O., M. Baga, R. N. Chibbar, N. Sultana and N. K. Howes (2010), "Analysis of starch swelling power in Australian breeding lines of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.)", *Field Crops Research,* 115, pp. 171-178.

Avilés C., M. y Z. M. T. Carrasco (2000), "Costos de producción y comercialización del maíz *Cacahuacintle* en Santa María Nativitas, Municipio de Calimaya, Estado de México", tesis profesional, Universidad Autónoma Chapingo.

Bonifacio v., E. I., M., Y. Salinas, R. A. Ramos and O. A. Carrillo (2005), "Calidad pozolera en colectas de maíz *Cacahuacintle*", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3), pp. 253-260.

Campos, R. (2010), "Cocina tradicional mexicana: Patrimonio inmaterial de la UNESCO. Los principales platillos", México, disponible en http://www.consulta.mx; consultado el 20 de enero de 2012, consulta Mitofsky.

Campos, R., and A. M. Hernández (2011), "Orgullos del mexicano 2011 (Música, comida, bebida, deporte, ciudad, cantante", Encuesta Nacional en Viviendas, México, disponible en http://www.consulta.mx; consultado el 20 de enero el 2012, consulta Mitofsky.

Carlos A., J. (2008), "Idean dos jóvenes pozole instantáneo para competir en el mercado de la comida rápida", *La Jornada de Oriente*, p. 1.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (2012), "Tabla descriptiva de razas de maíz en México", México, Conabio, disponible en http://www.biodiversidad.gob.mx/genes.

Gutierrez, E., M., I. Rojas, H. J. L. Pons, H. Guzman, A. B. Aguas, J. Arenas, P. Fernandez, F. A. Palacios, G. Herrera and M. E. Rodríguez (2007), "Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature", *Cereal Chemistry*, 84(2), pp. 186-194.

Hernández C., J. M. (1986), "Estudio de caracteres químicos del grano de las razas mexicanas de maíz y clasificación racial", tesis de Maestría, Colegio de Posgraduados.

Hernández G., C. A. (2010), "Diversidad morfológica de maíz *Cacahuacintle* en una región de los Valles Altos de Puebla", tesis de maestría, Colegio de Posgraduados.

Jiménez M., A. J. (2006), "Recuperando significados: El sentido ritual del pozole en la sociedad azteca", *Teoría y Praxis*, 2, pp. 25-32.

Khan, M. N., M. C. Des Rosiers, L. W. Rooney, R. G. Morgan and V. E. Sweat (1982), *Corn tortillas: Evaluation of corn cooking procedures. Cereal Chemistry*, 59(4), pp. 279-284.

Martínez B. F. F., H. E. Martínez, M. E. Sanmartín, S. F. Sánchez, Y. K. Chang, A., D. Barrera and E. Ríos (2001), "Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, pp. 1455-1462.

Muñoz O., A. (2003), *Centli maíz*, México, Colegio de Posgraduados.

Muñoz O., A., C. S. Miranda, S., J. A. Cuevas, V. A. Santacruz and D., S. Sánchez (2009), *Resistencias, prehistoria, historia, y diferencias de teocintle a maíz*. México, Colegio de Posgraduados.

Narváez G., E. D., C. J. D. Figueroa and S. Taba (2007), "Aspectos microestructurales y posibles usos del maíz de acuerdo con su origen geográfico", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 30(3), pp. 321-325.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2011), *Norma general del Codex para los aditivos alimentarios* (CODEX STAN 192-1995), Roma, Italia, Codex Alimentarius, disponible en http://www.codexalimentarius.net.

Ortega P., R. (2003), "La diversidad del maíz en México" en G. Esteva y C. Marielle (eds.), *Sin maíz no hay país,* México, Conaculta, pp. 123-154.

Pérez M., E. N. (2003), "Comercialización del maíz *Cacahuacintle* de la región del valle de Toluca", tesis profesional. División de Ciencias Económico-Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo.

Pineda R., S. (2003), "Estandarización del proceso de elaboración de grano precocido para pozole *(Zea mays L.)*", tesis profesional. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo.

Pineda G., P., D. F. Coral, R. D. Ramos, R. A. Rosales y G., M. E. Rodríguez (2011), "Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch", *ProcediaFood Science,* 1, pp. 370-378.

Ramos T., B. (2011), "Mejoramiento y usos de una variedad de maíz criollo en Tlajomulco, Jalisco" en R. E. Preciado O. y S. F. Márquez (eds.), *Memoria de resúmenes:* IV *Reunión nacional sobre el mejoramiento, conservación y usos de maíces criollos,* México, Sociedad Mexicana de Fitogenética (p. 95).

Rodríguez C., F. (2010), "De chile, mole y pozole", *Revista Claridades Agropecuarias*, 205, pp. 43-47.

Rodríguez S., S., M., E., Montiel, M. M. A. Ramírez, D. M. Vázquez and A. J. D. Olguín (2007), "Pozole instantáneo enriquecido con soya", *Revista de Salud Pública y Nutrición,* 12, ed. especial, pp. 636-640.

Rosete P., A. C. (2010), "Los saberes y sabores de la cocina: un viaje a través de la química de alimentos", Pozole estilo Jalisco, tesis profesional, Colegio de Gastronomía, Universidad del Claustro de Sor Juana.

Salinas M., Y., M. N. O. Gómez, M. J. E. Cervantes, M. M. Sierra, C. A. Palafox, M., E. Betanzos and E. B. Coutiño (2010), "Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(4), pp. 509-523.

Sanchez G. J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber (2000), "Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico", *Economic Botany*, 54(1), pp. 43-59.

Sanderson, J., J. S.Wall, G. L. Donaldson and J. F. Cavins (1978), "Effect of alkaline processing of corn on its amino acids", *Cereal Chemistry*, 55*(2).* pp. 204-213.

Sarmiento S., B. I. (2010), "El maíz *Cacahuacintle* y el régimen de protección especial del maíz. Estudio de caso: Santa María Nativitas, municipio de Calimaya, Estado de México", tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana.

Singh, S. K., N., Du, L. Singh and S. R. Eckhoff (1997), "Effect of sodium hydroxide, calcium hydroxide, and potassium hydroxide on debranning of corn", *Cereal Chemistry*, 74(3), pp. 254-257.

Sistema de Información Agrícola y Pesquera (SIAP) (2012), "Cierre de la producción agrícola por estado", disponible en http://www.siap.gob.mx; consultado el 3 de febrero del 2012,

Trujillo C., A., y M., N. O. Gómez (2011), "Evaluación preliminar del rendimiento racial de maíces criollos de la región del trópico seco del estado de Morelos" en O. R. E. Preciado y F. S. Márquez (eds.), *Memoria de resúmenes:* IV *Reunión nacional sobre el mejoramiento, conservación y usos de maíces criollos,* México, Sociedad Mexicana de Fitogenética, p. 66.

Vázquez C., M. G., B. L. Guzmán, G. J. L. Andrés, S. F. Márquez y M. J. Castillo (2003), "Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas", *Revista Fitotecnia Mexicana,* 26(4), pp. 231-238.

Vázquez C., M. G., L. S. García, M. Y. Salinas, D. J. Bergvinson and R., N. Palacios (2011a), "Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico", *Plant Foods for Human Nutrition,* 66, pp. 203-208.

Vázquez C., M. G., C. A. Ortega, H. M. Guerrero, E. B. de Coutiño (2011b), "Evaluación bioquímica e industrial de razas nativas de maíz de la región serrana de Sonora" en O. R. E. Preciado and S. F. Márquez (eds.), *Amplitud, mejoramiento, usos y riesgos de la diversidad genética de maíz en México,* México, Sociedad Mexicana de Fitogenética, pp. 97-142.

Características nutricionales del garbanzo

Leopoldo González Cruz, Santiago Filardo Kerstupp,
José Mayolo Simitrio Juárez Goiz, Norma Güemes Vera,
Aurea Bernardino Nicanor[1]

Resumen

Algunas leguminosas como el garbanzo (*Cicer arietinum*) han sido estudiadas únicamente para su uso en la nutrición animal, sin embargo, debido a la escasez de proteína para consumo humano, se ha incrementado el interés en su utilización para la obtención de concentrados proteínicos, aprovechando la ventaja de que algunas variedades de garbanzo, particularmente la variedad kabuli presenta cantidades relativamente bajas de factores antinutricionales. En algunos países de Asia, se ha venido utilizando como base de alimentos para menores, incluso puede emplearse como reemplazo de la leche de vaca, tanto para bebés lactantes como en edades posteriores. El garbanzo se puede considerar un alimento funcional, ya que proporciona gran cantidad de calorías y energía; por su riqueza en proteínas e hidratos de carbono, proporciona fuerza y vigor a quien lo consume, útil en épocas frías del año y en personas que desarrollan fuertes trabajos físicos, por su contenido en fibra de celulosa estimula el peristaltismo intestinal, combate el estreñimiento y la anemia, favorece el crecimiento de los jóvenes por su concentración de fósforo. Dentro de los análisis que demuestran la bondad del garbanzo, también se han reportado factores antinutricionales tales como inhibidores de tripsina, oligosacaridos, taninos e inhibidores de amilasa, sin embargo se han probado diferentes trata-

[1] aureabernardino@yahoo.com

mientos que han permitido reducir dichos factores y favorecer la utilización de este grano para el desarrollo de alimentos funcionales.

Introducción

El garbanzo pertenece a la familia de las leguminosas, es una planta erecta y ramificada, puede medir entre 0.2 y 1.0 m de altura, el color de sus flores puede ser blanco, violeta, azul o rosado, su fruto es una vaina que contiene generalmente una o dos semillas de color blanco, amarillo, café, negro o rojizo, de forma redonda u ovoide cuyo tamaño varía entre 0.4 y 1.0 cm según la variedad (Rodríguez y Porras, 1985). La semilla es una buena fuente de energía, proteínas, algunas vitaminas (tiamina, niacina, ácido ascórbico) y minerales (Ca, P, Fe, Mg, K). Rubio *et al.* (1998), reportaron que la proteína del garbanzo genera un perfil nutricional parecido al de la proteína de soya, ya que al alimentar ratas con garbanzo, estas mostraron niveles mas altos de glicina, fenilalanina, histidina, arginina y metionina en el plasma sanguíneo en comparación con los niveles encontrados en las ratas alimentadas con lactoalbúmina (control). Nestares *et al.* (1997), sugieren que cuando el garbanzo es consumido junto con carne, papas y otros vegetales (como ocurre comúnmente en la dieta de los seres humanos), la interacción con la proteína dietética evita la pérdida de magnesio proveniente de esta leguminosa.

En la mayoría de las leguminosas el manejo y almacenamiento a temperatura superior 25 °C, con una humedad relativa mayor a 65%, causa su endurecimiento, lo que reduce su valor nutricional, incrementa el tiempo de cocción, y deteriora las características sensoriales (Uma-Reddy y Pushpamma, 1986; Reyes-Moreno *et al.*, 2000). Sin embargo, el proceso de descascarillado/suavizado/extrusión mejora significativamente la digestibilidad de las proteínas del garbanzo, por lo que es una alternativa tecnológica para mejorar sus características fisicoquímicas, funcionales y sensoriales y transformarlo en un producto de alto valor nutricional (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993; Reyes-Moreno *et al.*, 2002).

En el garbanzo existen algunos factores antinutricionales como son las saponinas y las hemaglutininas, estas últimas pueden deber su efecto antinutricional a la habilidad que tienen para ligarse a sitios específicos en las células del epitelio intestinal, con lo que causan interferencia en la absorción de nutrientes, sin embargo sólo se ha encontrado actividad de las hemaglutininas en semillas verdes de garbanzo.

La evidencia sugiere que los factores antinutricionales pueden ser eliminados o bien reducir su efecto por el procesamiento, siendo el tratamiento térmico el que ha resultado eficaz para eliminar antienzimas y hemaglutininas (Chavan *et al.*, 1987), sin

embargo, un tratamiento térmico severo puede eliminar aminoácidos y vitaminas, por lo que para mantener el valor nutricional del grano, se debe tomar en cuenta la temperatura y tiempo de duración de dicho tratamiento, con el propósito de no alterar otros nutrimentos básicos (Ávila, 1984; Cubero y Moreno, 1983; Kay, 1990).

Condiciones de desarrollo del garbanzo

El garbanzo es un cultivo subtropical, tolerante a altas temperaturas durante sus últimas etapas de desarrollo, su resistencia a bajas temperaturas depende de la variedad. Para su crecimiento óptimo necesita temperaturas de día y de noche que oscilen en un intervalo de 18 a 26 °C y de 21 a 29 °C respectivamente. Existe variación importante de acuerdo con el cultivo en la temperatura del suelo requerida para la germinación, siendo necesario que sobrepase los 5 °C y no se incrementa por encima de los 15 °C (Aykroyd y Doughty, 1982; Guerrero, 1981; Kay, 1990).

La semilla de garbanzo es un cultivo que prefiere tierras silíceo-arcillosas que no contengan carbonatos, ya que éstas generan garbanzos de mala calidad y difícil cocción. Las tierras con materia orgánica sin descomponer tampoco son adecuadas para obtener granos de buena calidad (Aykroyd y Doughty, 1982; Guerrero, 1981; Kay, 1990).

Durante la germinación diferentes factores nutritivos, tales como la concentración de vitamina, biodisponibilidad de minerales, proteína y ácido ascórbico se ven incrementados (Wajid *et al.*, 2006), al mismo tiempo se favorece la disminución del ácido fítico y de los oligosacáridos rafinosa y estaquiosa (agentes causales de flatulencia), así mismo se incrementa la digestibilidad de la proteína y se favorecen las propiedades sensoriales (Lintschingeret *et al.*, 1997; Wajid *et al.*, 2006).

Durante el desarrollo del garbanzo, se ha demostrado que el contenido de minerales tiende a cambiar, observándose una disminución en la concentración de nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, calcio y zinc a medida que se desarrollan las semillas. Una vez que la semilla ha alcanzado su madurez, la concentración de minerales no varía significativamente al secarse (Samarah *et al.*, 2010).

El color del grano depende de la variedad, pudiendo ser crema, café, amarillo, negro, verde, naranja o rojo. Por otra parte, considerando la distribución geográfica, el garbanzo es agrupado en dos tipos, *desi* (originario de la India) y *Kabuli* (originario del Mediterráneo). El garbanzo obtenido del cultivo *Kabuli* se utiliza generalmente para la obtención de harina a partir del grano entero tratado térmicamente (Singh, 1988), mientras que los granos obtenidos del cultivo *desi* son normalmente usados para la producción del dhal (cotiledones sin testa) y para tostar (Chavan *et al.*, 1987;

Malhotra *et al.*, 1987). La variedad *Kabuli* presenta mejores propiedades de absorción de agua, menor tiempo de cocción, menor contenido de fibra cruda y un alto valor calórico con respecto al tipo *desi* (Khan *et al.*, 1995).

Características nutricionales del garbanzo

Las características nutricionales del garbanzo lo sitúan como un alimento de buena calidad, considerando que su contenido de proteína se encuentra en un intervalo de 14.9 a 24.6% (Huisman y Van der Poel, 1994; Hulse, 1991; Iqbal *et al.*, 2006) y la concentración de aminoácidos esenciales excepto los azufrados y el triptófano se encuentran presentes en cantidades superiores a las recomendadas en el patrón FAO/WHO/UNU (1985) para la dieta de un infante de 2 a 5 años (cuadro 1).

Se ha encontrado que la semilla de garbanzo cruda tiene una Relación de Eficiencia Proteínica (PER) de 2.2 y se incrementa hasta 2.5 cuando es tratada térmicamente, mientras que la digestibilidad de la proteína varía entre 76 y 78% por otra parte, existen reportes que indican que la germinación disminuye la concentración de proteína (Rahman *et al.*, 2008). Sin embargo si se varía el tipo de iluminación durante la germinación, tanto la concentración de la proteína como su digestibilidad se incrementan (Khattak *et al.*, 2008).

Cuadro 1. Comparación de la composición de aminoácidos del garbanzo y los valores indicados en el patrón FAO/WHO/UNU (1985) (mg de aminoácido/100 g de proteína)

Aminoácido	*Patrón FAO/WHO/UNU*	*Garbanzo*
Histidina	1.9	3
Lisina	5.8	7.2
Leucina	6.6	8.7
Isoleucina	2.8	4.8
Metionina + Cisteína	2.5	1.7
Fenilalanina + tirosina	6.3	8.3
Treonina	3.4	3.1
Triptofano	1.1	0.9
Valina	3.5	4.6

Fuente: Iqbal *et al.* (2006).

Con relación a la concentración de carbohidratos, el garbanzo se encuentra en el intervalo de 38 a 59%, de los cuales el 47% es almidón y de este aproximadamente el 3.39% es almidón resistente (De Almeida *et al.*, 2006) y el resto corresponde a dextrinas y oligosacáridos, entre los que merecen mención especial la estaquiosa y rafinosa, que se encuentran en un 1.1 y 1.9% respectivamente (Huisman y Van der Poel, 1994; Hulse, 1991), así como el 8% de azúcares solubles (Maheri-Sis *et al.*, 2008).

El contenido de lípidos del garbanzo, varía entre 4.8 y 5.5 por ciento. Están compuestos en gran parte por ácidos grasos de cadena larga, entre los que sobresalen los ácidos linoleico y oleico (Kowsalaya y Kantharaj, 1979; Huisman y Van der Poel, 1994; Hulse, 1991). Se ha reportado que el garbanzo tiene alta concentración de ácidos grasos poliinsaturados, cuyos porcentajes pueden variar del 43 al 56%, una concentración intermedia de ácidos grasos monoinsaturados (20 a 36 %) y baja concentración de ácidos grasos saturados (10 a 23%). Teniendo una relación de ácidos grasos insaturados: saturados determinada por el cultivar de garbanzo analizado (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2007; De Falco *et al.*, 2010). El garbanzo es una fuente importante de minerales como son el calcio, fósforo, magnesio, hierro y potasio (cuadro 2), la mayor cantidad del calcio está concentrada en la testa, por lo que el consumo de la semilla entera es recomendable para personas que presentan deficiencia de este elemento (Chavan *et al.*, 1987).

Cuadro 2. Contenido de minerales del garbanzo

Mineral	(mg/100 g de muestra)
Sodio	101
Potasio	1155
Fósforo	251
Calcio	197
Hierro	3
Cobre	11.6
Zinc	6.8
Manganeso	1.9
Magnesio	4.6
Relación Na:K	0.09
Relación Ca:P	0.78

Fuente: Iqbal *et al.* (2006).

Estudios recientes han mostrado que el proceso de germinación provoca un incremento en la concentración de vitaminas del complejo B (Aslam *et al.*, 2008), *β*–caroteno y proteína, siendo el tipo de iluminación un factor importante para el incremento de estas concentraciones (Khattak *et al.*, 2008).

Se ha observado que el garbanzo puede contener algunos esteroles que muestran actividades antiinflamatoria, antibacterial, antifúngica, antiulcerativa y antitumoral, cuya concentración varía significativamente de acuerdo a la variedad analizada (Haq *et al.*, 2009); el garbanzo también contiene concentraciones importantes de polifenoles y flavonoides, cuyo contenido puede ser hasta 13 veces mayor en variedades coloridas, con relación al garbanzo tradicional de color crema, lo que origina que la actividad antioxidante tienda a incrementarse en las variedades de color naranja, verde, roja o azul, las cuales pueden ser consideradas alimentos funcionales en adición al importante papel que desempeñan como fuente de proteína dietaria (Segev *et al.*, 2010).

Extractos de distintas partes de la planta de garbanzo, han mostrado una eficiente acción antiviral, lo cual es atribuido a los compuestos fenólicos presentes (ácidos gálico, ferúlico, clorogénico, cinámico y salicílico), mientras que la acción antibacterial se atribuye a proteínas y péptidos (Kan *et al.*, 2009). El contenido de los polifenoles varía de acuerdo a la variedad, en los cultivos con testa oscura se ha encontrado mayor actividad de inhibición de enzimas digestivas que aquellos cultivos con testa clara, lo cual es atribuido a la alta concentración de polifenoles (Chavan *et al.*, 1987).

Factores antinutricionales del garbanzo

Los inhibidores de proteasas de las semillas de las leguminosas, son conocidos por disminuir la digestibilidad de las proteínas y causar hipertrofia pancreática, algunos autores indican que las semillas de garbanzo contienen menor cantidad de inhibidores de tripsina que las semillas de fríjol negro, soya y lenteja, sin embargo, otros, han encontrado niveles más altos de inhibidores de tripsina en el garbanzo que en frijol café y lenteja (cuadro 3). Estas variaciones en los niveles de los inhibidores son atribuidas a los métodos empleados para las determinaciones y la variedad usada, entre otros factores (Chavan *et al.*, 1987; El-Aldawy, 2002).

Cuadro 3. Contenido de Inhibidores de tripsina y quimotripsina de algunas leguminosas

Leguminosa	*Inhibidor de tripsina (unidades por g)*	*Inhibidor de quimotripsina (unidades por g)*
Frijol café	0.71	0.72
Frijol negro	0.80	0.71
Garbanzo	0.76	0.68
Lenteja	0.61	0.54
Soya	0.79	0.71

Fuente: Chavan *et al.* (1987).

En estudios realizados con aves, se encontró que la inclusión de harina de garbanzo en la dieta no generó ganancia de peso, incremento en la cantidad de alimento consumido, ni en el índice de transformación. Sin embargo, causó daño a algunos órganos digestivos (Brenes *et al.*, 2008).

La fermentación microbiana de los oligosacáridos rafinosa, estaquiosa y verbascosa de las semillas del garbanzo es la responsable de la flatulencia, por lo que se han evaluado diferentes métodos de procesamiento tales como el tratamiento térmico, fermentación y germinación, encontrado que pueden causar una considerable reducción en el contenido de estos oligosacaridos (Chavan *et al.*, 1987).

Los taninos (compuestos fenólicos) del garbanzo interactúan con las proteínas y forman complejos, que traen como resultado la inactivación de enzimas digestivas, estos compuestos también pueden actuar como reductores de la biodisponibilidad de vitaminas y minerales (Chavan *et al.*, 1987). La semilla de garbanzo contiene de 78 a 272 mg de taninos, de los cuales 16 a 38 mg se encuentran en los cotiledones y el resto en la testa. Sin embargo, los tratamientos de cocción, descascarillado y germinación reducen el contenido de taninos en el garbanzo (Chavan *et al.*, 1987).

Los inhibidores de amilasa pancreática están presentes en muchas de las leguminosas incluyendo el garbanzo. Se ha encontrado que la actividad de estos inhibidores se destruye completamente después de un tratamiento con agua en ebullición por 10 minutos, por lo tanto, la amilasa pancreática no representa un problema práctico para la utilización del garbanzo en la alimentación humana (Chavan *et al.*, 1987).

El garbanzo como ingrediente en alimentos

En las zonas de producción más importantes de garbanzo, estos granos se utilizan de varias formas, por ejemplo en la India el 75% se consume en forma de Dhal, (el cual se prepara tradicionalmente limpiando los granos, rociándolos después con agua y apilándolos durante la noche para que pierdan la cáscara, después se descascarillan y se parten con la mano o con molinos de abrasión) (Bourges, 1987a).

Los garbanzos hinchados son comunes en el Sureste de Asia, para ello se remojan en agua y luego se mezclan con arena, se calientan hasta 250 °C y se tuestan durante 15 a 25 segundos, después de tamizar la arena, se eliminan las cáscaras haciendo pasar los granos entre una plancha caliente y un rodillo liso (Bourges, 1987a,b).

El grano completamente maduro se consume generalmente después de ser remojado y hervido, en una gran variedad de platillos. Además, los garbanzos pueden tostarse o asarse en sartenes y comerse del mismo modo que los cacahuates o bien usarse como ingredientes de varias confituras (Bourges, 1987b).

Como reemplazo de algunos ingredientes durante la elaboración de alimentos, la harina de garbanzo ha mostrado un alto potencial como fuente de proteína, lípidos y minerales, por ejemplo, para la elaboración de espagueti se observó que al reemplazo de harina de trigo por harina de garbanzo se incrementó la concentración final de proteína, lípidos y minerales, mientras que la concentración de fibra y carbohidratos totales disminuyeron (Abou *et al.*, 2010). Por otra parte, se ha utilizado cascarilla de garbanzo para elaborar nuggets de pollo reducidos en grasa, lo que ha permitido obtener productos con un incremento significativo de fibra dietética y disminución del contenido de colesterol total. Sin embargo, las características sensoriales aun cuando tienden a ser aceptables, se modifican principalmente en el color, lo que origina que los nuggets no sean totalmente aceptados (Verma *et al.*, 2012).

La fibra cruda del garbanzo tiene un efecto hipocolesterolémico, esto lo hace un componente importante en la dieta donde la ocurrencia de ateroesclerosis sea común. El mecanismo por el cual la fibra cruda disminuye los niveles de colesterol no ha sido bien definido, sólo se sabe que del 80 al 90% del total está en la cubierta de la semilla, por lo que se recomienda no se elimine cuando es consumido (Aykroyd, 1982; Guerrero, 1981; Kay, 1990). Por su bajo contenido en sodio y grasa, puede ser usado en dietas bajas en sal, además fuente de ácido fólico (Huisman y Van der Poel, 1994; Hulse, 1991),

Modif cación de los componentes del garbanzo por el método de cocción

El método de cocción del garbanzo afecta la calidad y concentración de los nutrimentos presente en el grano, por ejemplo cuando se realiza un proceso de hervido, la proporción de agua en el grano aumenta en un 40%, de la cual solo se mantiene el 13% ya que se puede evaporar hasta un 27% durante el enfriamiento. Con relación a las proteínas se ha observado que las albúminas se destruyen casi en su totalidad, al igual que las sales minerales y vitaminas; mientras que los lípidos y carbohidratos se conservan, sin embargo, las fibras de celulosa se ablandan y disocian, lo que facilita su digestión (Ávila, 1984). Este tipo de tratamiento también incide de forma negativa sobre la concentración de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante (Segev *et al.*, 2011).

Cuando el garbanzo se cocina sin adición de agua y se evita la evaporación, se conservan los aromas, gran parte de las sales minerales y vitaminas, así como la totalidad de los lípidos y carbohidratos (Ávila, 1984), mientras que el nivel de retención de polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante se incrementan (Segev *et al.*, 2011).

La cocción por microondas es el método más recomendado para la preparación del garbanzo, por la reducción de factores antinutricionales tales como inhibidor de tripsina (80.50%), hemaglutinina (100%), taninos (48.45%), ácido fítico (38.02%) y saponinas (47.25%), así como el incremento de la digestibilidad de la proteína, retención de riboflavina (58.46%), tiamina (42.35%), niacina (13.94%) y piridoxina (80.42%) (Alajaji y El-Adawy, 2006).

Distintos tratamientos de las harinas de garbanzo tienden a reducir los contenidos de proteína, lípidos y cenizas; así como la solubilidad de la proteína tanto en agua como en disolución de NaCl en comparación con la harina sin tratamiento alguno (Abou *et al.*, 2010). De igual forma, los métodos de cocción del garbanzo disminuyen significativamente el contenido de nitrógeno no proteínico, cenizas y grasa, lo cual podría ser atribuido a la difusión del agua de cocción al interior de la semilla, la fibra cruda se incrementa debido a los complejos formados proteína-fibra y hay reducción de sacarosa (Bressani, 1993).

Sobre los autores

Leopoldo González Cruz,[1] Santiago FilardoKerstupp,[2] José Mayolo Simitrio Juárez Goiz,[1] Norma Güemes Vera,[3] Aurea Bernardino Nicanor.[1] [1]Departamento de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Celaya . Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N A. P. 57 C. P. 38010, Celaya, Guanajuato,México. [2]Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (CIQ-UAEH). Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 6.5 ciudad Universitaria. [3]Instituto de Ciencias Agropecuarias. Rancho Universitario, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

Referencias

Abou, A., A. Esmat, I. M. F. Helmy and G. F. Barch (2010), "Nutritional Evaluation and Functional Properties of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flour and the Improvement of Spaghetti Produced from its", *Journal of American Science*, 6(10).

Alajaji, S. A., and T. A. El-Adawy (2006), "Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods", *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, pp. 806-812.

Aslam, J., S. M. Mohammed, A. K. Saeed and Q. K. Abdul (2008), "HPLC analysis of water-soluble vitamins (B1, B2, B3,B5, B6) in *in vitro* and *ex vitro* germinated chickpea (*Cicer arietinum* L.)", *African Journal of Biotechnology*, 7(14), pp. 2310-2314.

Ávila, M. J., and Vidrau (1984), *Diccionario de los Alimentos*, México, Mexicana.

Aykroyd, W. R., y J. Doughty (1982), *Las leguminosas en la alimentación humana*, Roma, FAO.

Bourgues, R. H. (1987a), *Las leguminosas en la alimentación humana. Cuadernos de nutrición, (primera parte)*, Instituto Nacional de Nutrición, 10(1), pp. 18-31.

Bourgues, R. H. (1987b), *Las leguminosas en la alimentación humana. Cuadernos de nutrición, (segunda parte)*, Instituto Nacional de Nutrición, 10(2), pp. 18-32.

Brenes, A., A. Viveros, I. Arija, P. F. Marzo and C. Centeno (2008), "Nutritional value of raw and extruded chickpeas (*Cicer arietinum* L.) for growing chickens", *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6(4), pp. 537-545.

Bressani, T. (1993), *Grain quality of common beans*, Food Review International, 9, pp. 237-297.

Chavan, J. K., S. S. Kadam and D. K. Salunke (1987), "Biochemistry and technology of chickpea (*C. arietinum*) seeds. CRC", *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 25, pp. 107-132.

Cubero, J. I., y M. T. Moreno (1983), *Las leguminosas de grano*, Madrid, Mundi-Prensa.

De Almeida, C. G. E., K. S. Queiroz-Monici, M. R. S. M. Pissini and O. A. Costa (2006), *Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and gentil legumes. Food chemistry*, 94, pp. 327-330.

De Falco, E., R. Imperato, G. Landi, V. Nicolais, A. L. Piccinelli and L. Rastrelli, (2010), "Nutritional characterization of *Cicer arietinum* L. cultivars with respect to morphological and agronomic parameters", *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(5), pp. 377-387.

El-Adawy, T. A. (2002), "Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (Cicer arietinum L.) undergoing different cooking methods and germination", *Plant Foods for Human Nutrition*, 57(1), pp. 83-97.

FAO/WHO/UNU (1985), *Energy and Protein Requirements*, Ginebra, Organización Mundial de la Salud.

Guerrero, G. A. (1981), *Cultivos herbáceos extensivos*, Madrid, Mundi Prensa.

Haq, M. Z., S. Ahmad, M. Ahmad, S. Iqbal and K. M. Khawar (2009), "Effects of Cultivar and Row Spacing on Tocopherol and Sterol Composition of Chickpea (Cicer arietinum L) Seed Oil". *Tarim Bilimleri Derrgisi*, 15(1), pp. 25-30.

Huisman, J., & A. F. B. Van der Poel (1994), "Aspects of the nutritional quality and use of cool season food legumes in animal feed" en F. J. Muehlbauer and W. J. Kaiser (eds.), *Expanding the Production and Use of Cool Season Food Legumes*, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, pp. 53-76.

Hulse, J. H. (1991), "Nature, composition and utilization of grain legumes", Uses of tropical legumes: Proceedings of a consultants' meeting, India, ICRISAT Center pp. 11-27.

Iqbal, A., I. A. Khalil, N. Ateeq and M. K. Sayyar (2006), "Nutritional quality of important food legumes", *Food Chemistry*, 97, pp. 331-335.

Kan, A., B. Özçelik and M. Kartal (2009), "*In vitro* antiviral activities under cytotoxic doses against herpes simples type-1 and parainfluensa-3 viruses of *Cicer arietinum* L. (Chickpea)", *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3(12), pp. 627-631.

Kay, D. E. (1990), *Legumbres alimenticias*. Zaragoza, Acribia.

Khan, M. A., N. Akhtar, I. Ullah and S. Jaffery (1995), "Nutritional evaluation of desi and kabuli chickpeas and their products, commonly consumed in Pakistan", *International Journal of Food Science and Nutrition*, 46(3), pp. 215-223.

Khattak, A. B., A. Zeb and N. Bibi (2008), "Impact of germination time and type of illumination on carotenoide content, protein solubility and *in vitro* protein digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts", *Food Chemistry*, 109, pp. 797-801

Kowsalaya, M. S., and U. M. Kantharaj (1979), "Changes in lipids of Bengale Gran (Cicer *arietinum*) on heat processing", *Journal of Food Science and Technology*, India, 16(3), pp. 87-89.

Lintschingeret, J., N. Fuchs, H. Moser, R. Jager, T. Hlebcina and G. Markolin (1997), "Uptake of various trace elements during germination of wheat, buckwheat and quinoa", *Plant Foods for Human Nutrition*, 50(3), pp. 223-237.

Maheri-Sis, N., Ch. Mohammad, S. Ali-Asghar, A. Mirza-Aghazadeh and A. Aghajanzadeh-Golshani (2008), "Nutritional evaluation of kabuli and desi type chickpeas (*Cicer arietinum* L.) for ruminants using *in vitro* gas production technique", *African Journal of Biotechnology*, 7(16), pp. 2946-2951.

Malhotra, R. S., R. P. S. Pundir and A. E. Slinkard (1987), *Genetic resources of chickpea. The chickpea,* Aberystwyth, C.A.B. International Cambrian News Ltd, pp. 67-81.

Nestares, T., G. Urbano, M. López-Frías and M. Barrionuevo (1997), "Nutritional assessment of magnesium from raw and processed chickpea (*Cicer arietinum*) in Growing rats", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, pp. 3138-3142.

Rahman, M. S., N. K. Sana, M. M. Hasan, M. E. Huquel and R. K. Shaha (2008), "Enzyme activities and degradation of nutrients in chickpea (Cicer arietinum L.)", *Journal of Bio-Science*, 16, pp. 29-34.

Reyes- Moreno, C., J. Millán-Carrillo, O. Rouzaund-Sandez, J. A. Arzón-Tiznado and R. Mora-Escobedo (2002), "Dehulling/softening/extrusión (DSE): Technological alternative to improve nutritional quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.)", *Agrociencia*, 36, pp. 181-189.

Reyes-Moreno, C., and O. Paredes-López (1993), "Hard-to-cook phenomenon in common beans- A review", *Cr. Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 33, pp. 227-286.

Reyes-Moreno, C., E. J. Okamura-Esparza, R. M. Armienta-Rodelo, J. Gómez-Garza and Milán-Carrillo (2000), *Hard-to-cook phenomenon in chickpeas (Cicer arietinum L.): Effect of accelerated storage on quality. Plant Foods for Human Nutrition*, 55, pp. 229-241.

Rodríguez, C. B., and M. Porras (1985), *Botánica sistemática*, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, pp. 210-246.

Rubio, L. A., G. Grant, P. Dewey, D. Brown, M. Annand, S. Bardocsz and Pusztai. (1998), *Nutritional utilization by rats of chickpea (Cicer arietinum) meal and its*

isolated globulin proteins is poorer than that of defatted soybean or lacotalbumin, American Society for Nutritional Sciences, pp. 1042-1047.

Samarah, N. H., A. E. Abu-Yahya and M. A. Grusak (2010), "Effect of maturity stages for winter- and spring-sown chickpea (*Cicer arietinum* L.) on seed mineral content", *Journal of Plant Nutrition*, 33, pp. 2094-2103.

Segev, A., H. Badani, Y. Kapulnik, I. Shomer, M. Oren-Shamir and S. Galili (2010), "Determination of Polyphenols, Flavonoids, and Antioxidant Capacity in Colored Chickpea (*Cicer arietinum* L.)", *Journal of Food Science*, 75(2), pp. S115-S119.

Segev, A., H. Badani1, L. Galili, R. Hovav, Y. Kapulnik, I. Shomer and S. Galili (2011), "Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Chickpea (Cicer arietinum L.) as Affected by Soaking and Cooking Conditions", *Food and Nutrition Sciences*, 2, pp. 724-730.

Singh, U. (1988), "Antinutritional factors of chickpea and pigeonpea and their removal by processing", *Plant Foods for Human Nutrition*, 38(3), pp. 251-261.

Uma-Reddy, M., and P. Pushpamma (1986), "Effect of storage on amino acid and biological quality of proteins in different varieties of pigeon pea, green gram and chickpea", *Nutrition Reports International*, 33, pp. 1020-1029.

Verma, A. K., R. Banerjee and B. D. Sharma (2012), "Quality of Low Fat Chicken Nuggets: Effect of Sodium Chloride Replacement and Added Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Hull Flour. Asian-Australasian", *Journal of Animal Science*, 25(2), pp. 291-298.

Wajid, A. K., A. Zeb, F. Mahmood, S. Tariq, K. A. Badshah and H. Shah (2006), "Comparison of sprout quality characteristics of desi and kabuli type chickpea cultivars (Cicer arietinum L.)", *LWT.-Food Science and Technology*, 40(207), pp. 937-945.

Zia-Ul-Haq, M., M. Ahmad, S. Iqbal, S. Ahmad and H. Ali (2007), "Characterization and Compositional Studies of Oil from Seeds of Desi Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Cultivars Grown in Pakistan", *Journal of American Oil Chemistry Society*, 84, pp. 1143-1148.

Aceites esenciales derivados de plantas y especies, como antioxidantes y su inf uencia en el consumo humano

Norma Leticia Flores Martínez, Adriana Hernández Rangel, Aurea Bernardino Nicanor, Cristina Pérez Pérez

Resumen

El reciente aumento por la utilización de conservadores naturales no tóxicos se ha incrementado debido a la información de los efectos nocivos de productos sintéticos presentes en los alimentos. Por tal motivo, los aceites esenciales derivados de plantas y especias han sido evaluados para su uso como agentes antioxidantes, ya que su concentración de terpenos y compuestos fenólicos los hace sumamente atractivos para la industria alimentaria. El efecto antioxidante de estos compuestos puede producirse mediante diferentes mecanismos, sin embargo, el más importante depende de la estructura química del compuesto fenólico involucrado. La neutralización de los radicales libres puede ser mediante la donación de un átomo de hidrógeno o un electrón proveniente del anillo aromático del compuesto fenólico. Este trabajo es la recopilación de información sobre los extractos de algunas plantas y especias con propiedades antioxidantes, tales como, pimienta, clavo, oregano, albahaca, canela, ajo,romero entre otros.

Palabras claves: aceites esenciales, antioxidantes y especias.

Introducción

El deterioro de la calidad de los alimentos ocurre durante su procesamiento y su almacenamiento y está relacionado con los procesos oxidativos que ocurren entre los componentes de los alimentos y el oxígeno del ambiente. Usualmente los antioxidantes sintéticos tales como butilhidroxianisol (BHA) o butilhidroxitolueno (BHT) son usados para prevenir estos procesos. Sin embargo, estos antioxidantes son volátiles y se descomponen a altas temperaturas; además, sigue sin estar claro si su consumo puede llevar a riesgos en la salud (Martinez-Tome *et al.*, 2001). Por otro lado, se ha reportado que los aceites esenciales de muchas hierbas y especias son una excelente fuente de compuestos fenólicos, los cuales muestran buenas propiedades antioxidantes (Zheng y Wang, 2001). Por lo tanto, los aceites esenciales pueden ser usados como conservadores naturales para alimentos.

Aceites esenciales

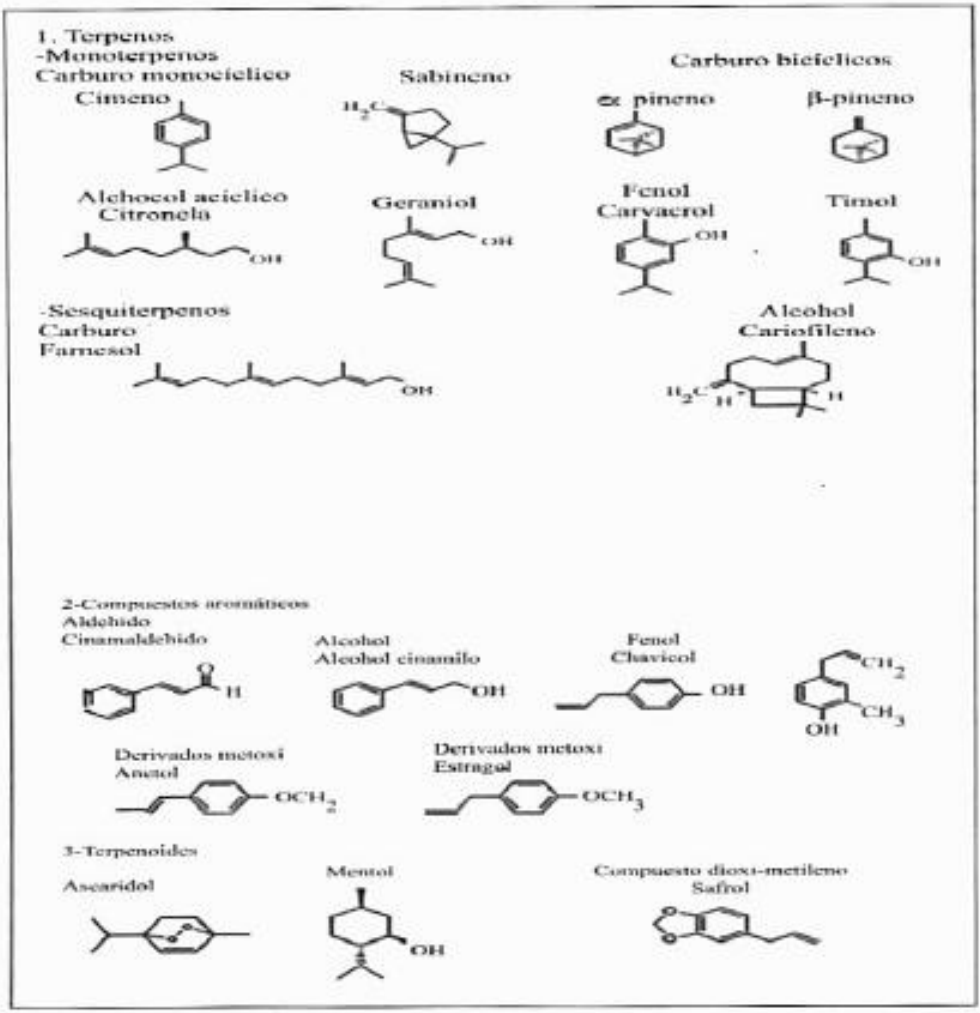
Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas (Martinez, 2001). Estos son límpidos y raramente tienen color, son solubles en lípidos y en disolventes orgánicos, con una densidad generalmente más baja que la del agua. Los aceites esenciales pueden ser sintetizados por todos los órganos de las plantas, es decir, flores, hojas, tallos, ramas, semillas, frutos y raíces (Bakkali *et al.*, 2008). Varias técnicas pueden ser usadas para su extracción, incluyendo hidro-destilación, destilación por arrastre de vapor, extracción por solventes, expresión bajo presión y extracción con fluidos supercríticos (Edris, 2007) y obtener una variedad de moléculas volátiles tales como terpenos y terpenoides, fenoles, derivados de los componentes aromáticos y componentes alifáticos. En la actualidad, aproximadamente 3000 aceites esenciales son conocidos, 300 de los cuales son comercialmente importante, especialmente para la industria farmacéutica, alimentaria, industrias sanitarias, cosmética y perfumería (Bauer, 1990; Berger, 2007). Los aceites esenciales de muchas plantas tienen intensos y agradables aromas, así como diversos tipos de actividad biológica (Madsen *et al.*, 1996; Voitkevich, 1999; Berger, 2007). Por lo general, los aceites esenciales son mezclas complejas de compuestos orgánicos con diferentes grupos funcionales. La composición de sus aceites esenciales determina sus propiedades organolépticas y actividad biológica, incluyendo actividad antioxidante (Cervato *et al.*, 2000; Dorman *et al.*, 2000; Lee y Shibamoto, T. 2001; Lee *et al.*, 2003). Un estudio de los componentes individuales de diversos aceites esenciales mostró que mu-

chos terpenos tienen actividad antirradical (ARA) y actividad antioxidante (Ruberto y Baratta 2000; Foti e Ingold 2003; Huang *et al.*, 2005). La actividad antioxidante de los aceites esenciales es mayor que la de sus componentes individuales, indicando la presencia de efectos sinérgicos entre sus compuestos (Ruberto y Baratta 2000; Agnaniet *et al.*, 2004; Lee y Shibamoto 2002; Singh *et al.*, 2005).

Composición química

Los aceites esenciales son mezclas naturales muy complejas que pueden contener alrededor de 20-60 componentes a concentraciones muy diferentes. La composición química de los aceites esenciales de especies iguales dependerá principalmente de la temporada de cosecha y de la localización geográfica (Burt, 2004), aunque generalmente se caracterizan por tener dos o tres componentes principales en concentraciones relativamente altas (20-70%) comparadas con otros componentes presentes en cantidades menores. Por ejemplo, el carvacrol (30%) y el timol (27%) son los componentes principales del aceite esencial de *Origanum compactum* y el eugenol (65-90%) y metil eugenol (10%), son los dos componentes principales en el aceite esencial de *Pimienta dioica* (L.) Merrill. Generalmente, estos compuestos principales determinan las propiedades biológicas de los aceites esenciales (Bakkali *et al.*, 2008). Los componentes de los aceites esenciales incluyen dos grupos de origen biosintético diferente (Croteau *et al.*, 2000; Betts, 2001; Bowles, 2003; Pichersky *et al.*, 2006). El grupo principal está compuesto por terpenos y terpenoides y el otro grupo por compuestos aromáticos y componentes alifáticos, todos caracterizados por tener bajo peso molecular. En la figura 1 se muestran algunas estructuras químicas de los compuestos presentes en los aceites esenciales.

Figura 1. Estructuras químicas de componentes de aceites esenciales



Fuente: Bakkali *et al.* (2008).

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que poseen en común un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo unidos a éste. Estos

compuestos se dividen en subgrupos que incluyen fenoles, ácidos fenólicos, fenilpropanoides, flavonoides, taninos y quinonas (Harbone, 1998; Strack, 1997).

Los compuestos fenólicos tienen diversas funciones biológicas, fungen como atrayentes de polinizadores, agentes alelopáticos, protectores contra rayos ultravioleta y como moléculas de señalización en la formación de nitrógeno fijado en los nódulos de las raíces de leguminosas (Crozier *et al.*, 2006; Petti y Scully, 2009).

Se ha demostrado que cientos de compuestos fenólicos naturales poseen grandes propiedades antioxidantes. Sin embargo, su uso en alimentos es limitado debido a ciertos requerimientos de seguridad y solo unos cuantos pueden ser comercialmente aplicados en alimentos (Maestri *et al.*, 2006).

Terpenos

Los terpenos son estructuralmente y funcionalmente de diferentes clases. Están formados a partir de varias combinaciones de 5 carbonos base (C5). Estas unidades son llamadas isopreno. Los principales terpenos son los monoterpenos (C10) y sesquiterpenos (C15). Un terpeno que contiene oxígeno se llama terpenoide. Los monoterpenos se forman a partir del acoplamiento de dos unidades de isopreno. Son las moléculas más representativas, constituyendo el 90% de los aceites esenciales y permiten una gran variedad de estructuras, como: carburos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, eteres, peróxidos y fenoles (Bakkali *et al.*, 2008).

Compuestos aromáticos

Los compuestos aromáticos comprenden: aldehídos como el cinamaldehído, alcoholes como el alcohol cinámico, fenoles como el eugenol, metoxi-derivados como el anetol, estragol y metileugenol, componentes nitrogenados y azufrados, tales como los glucosinolatos o derivados de isotiocianato (Bakkali *et al.*, 2008). Las fuentes principales de vegetales para estos compuestos son anís, canela, clavo, hinojo, nuez moscada, perejil, azafrán, estragón, entre otras.

Autooxidación

Como se sabe, principalmente los aceites comestibles, grasas y alimentos grasos pueden tener deterioro a través del tiempo en función de factores externos tales como el calor, la luz, enzimas y trazas de metales. La autooxidación es una reacción irreversible que se realiza de forma espontánea al contacto con el oxigeno. Como resultado de la autooxidación, especialmente cuando ocurre por el efecto del oxígeno en el aire, provoca desagradable sabor y olor, que se conocen como los signos de la rancidez. Los productos de degradación, formados después de la oxidación; tales como peróxidos, aldehídos y cetonas acortan la vida útil de los aceites (Akgül, 1989; Shahidi y Nazck, 1995).

Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos que pueden retrasar o inhibir la oxidación de los lípidos u otras moléculas mediante la inhibición o la propagación de las reacciones en cadena de oxidación (Velioglu *et al.,* 1998). La actividad antioxidante de los compuestos fenólicos es principalmente debido a sus propiedades redox, que pueden jugar un papel importante en la adsorción y neutralizando los radicales libres o en descomposición de peróxidos (Osawa *et al.,* 1994). En general, hay dos categorías básicas de antioxidantes: naturales y sintéticos. Recientemente, el interés ha aumentado considerablemente en la búsqueda de antioxidantes de origen natural para su uso en los alimentos o materiales medicinales para reemplazar los antioxidantes sintéticos, que están siendo restringidos debido a su carcinogenicidad (Ito *et al.,* 1983). Los extractos de hierbas junto con algunas verduras y frutas, contienen numerosos fitoquímicos, muchos de los cuales poseen capacidad antioxidante significativa que se asocia con una menor incidencia y menores tasas de mortalidad de cáncer en humanos (Velioglu *et al.,* 1998).

Cada hierba en general contiene compuestos fenólicos diferentes, y cada uno de estos compuestos posee diferente actividad antioxidante. La actividad antioxidante de los flavonoides aumenta con el número de grupos hidroxilo. Hay una correlación lineal positiva entre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de las hierbas. Las hierbas son una fuente potencial efectiva de antioxidantes naturales (Zheng y Wang, 2001).

Informes recientes revelan que los antioxidantes sintéticos pueden estar implicados en muchos riesgos para la salud (Özcan y Akgül, 1995). Además, es bien sabido que estos compuestos causan problemas de sabor y olores desagradables, ya

que fácilmente se degradan y vaporizan (Akgül, 1989; Özcan y Akgül, 1995). Para evitar los efectos nocivos de los antioxidantes sintéticos es recomendable el uso de antioxidantes naturales (Özcan y Akgül, 1995). Investigaciones realizadas por Decker (1997) respecto al uso del aceite esencial de romero, muestran que los compuestos que tienen características antioxidantes contienen fenol y flavonoides y ocupan una parte importante en ellos. Por otro lado, se descubrió que el eugenol, que se encuentra en los aceites esenciales de la pimienta, clavo y canela, es un antioxidante eficaz (Farag *et al.*, 1989). Se observa que parte importante de la actividad antioxidante es debida a la estructura fenólica (Weidenbörner *et al.*, 1990).

Se cree que la detección de fuentes antioxidantes naturales y el adecuado consumo de ellas en la dieta diaria, serían benéficas para llevar una vida saludable (Farag *et al.*, 1989).

Importancia de los aceites esenciales como antioxidantes potenciales

La razón por la cual los antioxidantes son importantes en el consumo humano, empieza por el hecho de que el oxígeno es un elemento potencialmente tóxico, ya que por la actividad metabólica puede ser transformado en formas más reactivas como el anión superóxido, peróxido de hidrógeno y los radicales hidroxilo, que en conjunto son llamados especies reactivas al oxígeno (ROS). Estas especies son muy reactivas cuando se combinan con casi todas las moléculas encontradas en las células. Las proteínas, lípidos, carbohidratos y el ADN son substratos oxidables. La peróxidación lipídica lleva a la pérdida de la función y la integridad de la membrana causando necrosis celular y muerte. Los radicales hidroxilos pueden reaccionar con las bases del ADN y causar mutaciones, mientras que los radicales libres de oxígeno parecen ser un factor importante en las enfermedades crónicas inflamatorias, tales como la artritis reumatoide (Svoboda y Hampson, 1999). Otras alteraciones producidas por ROS están relacionadas con el envejecimiento, la arteriosclerosis y cáncer (Gardner, 1997), alzheimer (Butterfield y Lauderback, 2002), parkinson, diabetes y asma (Zarkovic, 2003). El cuerpo humano está equipado con un sistema de defensa que puede sosegar los radicales libres presentes en casi todas las células (Halliwell y Gutteridge, 1990). Sin embargo, un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad del cuerpo de removerlos, lleva a un fenómeno conocido como estrés oxidativo (McCord, 2000; Abdollahi *et al.*, 2004). En este caso, un suplemento externo de antioxidantes es necesario para recuperar el balance entre radicales

libres y antioxidantes (Edris, 2007). Los aceites esenciales han mostrado tener gran capacidad antioxidante, la cual se atribuye principalmente a su alto contenido de compuestos fenólicos.

Especias comunes que han mostrado capacidad antioxidante

Las especias son complementos alimenticios comunes, que han sido utilizados como aromatizantes, condimentos, colorantes y a veces como conservadores (Srinivasan, 2005). Las plantas de especias pertenecen a varias familias botánicas principales, como Labiatae o Lamiaceae (por ejemplo, el romero, el orégano y la salvia), Lauraceae (por ejemplo, la canela), Peperaceae (pimienta negra), Myrtaceae (clavo de olor, entre otros), Umberliferae (por ejemplo el comino), entre otras. Las plantas de especias se distribuyen principalmente en las zonas tropicales y templadas (Kumar, 1997).

Las propiedades antioxidantes de las especias han sido estudiadas al menos en los últimos 50 años. Muchos de estos estudios indican que el romero, la salvia, el orégano, el tomillo, la albahaca, el clavo y la canela tienen una alta actividad antioxidante (Zheng y Wang, 2001; Pizzale *et al.*, 2002).

Tomaino *et al.* (2004), estudiaron la actividad antioxidante a temperatura ambiente de los aceites esenciales de albahaca, canela, clavo, nuez moscada, orégano y tomillo en la prueba con el radical DPPH. El orden de efectividad contra este radical libre fue: clavo, canela, nuez de moscada, albahaca, orégano y tomillo. El aceite esencial de *Thymus serpyllus,* mostró actividad contra radicales libres cercana a la actividad del compuesto sintético BHT αen un sistema β-caroteno/ácido linoleico (Tepe *et al.*, 2004). La actividad antioxidante fue atribuida al alto contenido de los compuestos fenólicos timol y carvacrol (20.5% y 58.1%, respectivamente). La actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* L., ssp. *hirtum*) fue comparable a la del α-tocoperol y BHT, pero menos efectiva que la del ácido ascórbico (Kulisic *et al.*, 2004). Nuevamente esta actividad fue atribuida al contenido de timol y carvacrol (35.0 y 32.0%, respectivamente).

Los extractos aromáticos del clavo y sus principales químicos aromáticos, eugenol y eugenil acetato, mostraron actividad antioxidante en dos ensayos diferentes: oxidación de hexanal y en la inhibición de la formación de malonaldehído del aceite del hígado de bacalao. Su actividad no fue mayor que la del α-tocoperol y el BHT (Lee y Shibamoto, 2001). Por otro lado, Tepe *et al.* (2004), encontraron que los aceites esenciales de *Salvia cryptantha* y *Salvia multicaulis* tienen la capacidad de

eliminar radicales libres. La actividad de estos aceites fue mayor que la del ácido ascórbico y el BHT.

Entre los constituyentes de los aceites esenciales, el timol, el carvacrol, el 4-alilfenol y el eugenol exhiben potentes actividades antioxidantes; estos químicos aromáticos inhiben la oxidación del hexanal de un 95 a un 99% con una concentración de 5 mg/mL durante 30 días, que es comparable a la actividad del BHT. Al nivel más bajo probado de 1 mg/mL, el eugenol mostró la actividad antioxidante más alta. Otros compuestos como el linalol, el 1,8 cineol, el 4-terpineol y el benzilaldehído mostraron una actividad antioxidante moderada a un nivel de 50 mg/mL, estos inhibieron la oxidación del hexanal entre un 10 y un 23% (Lee *et al.*, 2005). También se ha encontrado que el eugenol (clavo), el linalol (cilantro) y el cuminaldehído (comino) inhiben la peroxidación lipídica al sosegar los radicales libres y mejorar la actividad de las enzimas antioxidantes endógenas, superóxido dismutasa, catalasa, glutaniona peroxidasa y glutaniona transferasa. Al mismo tiempo, no hubo alteración en la composición de ácidos grasos de la membrana ni en los niveles de antioxidantes endógenos, vitamina E, ácido ascórbico y glutaniona (Reddy y Lokesh, 1992).

Por lo tanto, se concluye que los aceites esenciales pueden ser considerados como antioxidantes naturales potenciales y tal vez podrían ser formulados como parte de suplementos alimenticios o aditivos para prevenir el estrés oxidativo que contribuye a muchas enfermedades degenerativas (Edris, 2007).

Cuadro 1. Contenido de fenoles y la actividad antioxidante de algunos especias

Nombre común	*Nombre botánico*	*Tipo*	*Fenoles totales[a] (mg de GAE/g peso fresco)*	*(µmol de TE/g de peso fresco)*
Tomillo	*Thymus praecox* ssp. *arcticus*	Medicinal	1.81 ± 0.04	13.40 ± 0.12
Salvia	*Salvia officinalis*	Medicinal	1.34 ± 0.09	13.28 ± 0.40
Bígaro Madagascar	*Catharanthus roseus*	Medacinal	2.85 ± 0.11	22.30 ± 0.54
Menta	*Mentha* x *piperita*	Medicinal	2.26 ± 0.16	15.84 ± 0.42
Hierba de San Juan	*Hypericum perforatum*	Medicinal	2.78 ± 0.12	16.77 ± 0.22
Ajenjo dulce	*Artemisia annua*	Medicinal	1.54 ± 0.06	15.69 ± 0.37
Aloe	*Aloe vera*	Medicinal	0.23 ± 0.00	1.88 ± 0.05
Valeriana	*Valerian officinalis*	Medicinal	1.78 ± 0.12	15.82 ± 0.61
Alcaravea	*Carum carvi*	Culinaria	1.05 ± 0.00	10.65 ± 0.29
Cebollones	*Allium schoenoprasum*	Culinaria	1.05 ± 0.05	9.15 ± 0.28
Orégano cubano	*Plectranthus amboinicus*	Culinaria	0.34 ± 0.00	4.71 ± 0.14
Diente de león	*Taraxacum officinale*	Culinaria	0.26 ± 0.02	2.35 ± 0.14

Eneldo	*Anethum graveolens*	Culinaria	3.12 ± 0.06	29.12± 0.29
Lavanda	*Lavandula angustifolia*	Culinaria	1.50 ± 0.13	16.20 ± 0.11
Hinojo	*Foeniculum vulgare*	Culinaria	0.68 ± 0.00	5.88 ± 0.09
Orégano griego	*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*	Culinaria	11.80 ± 0.60	64.71 ± 1.05
Mejorana dulce	*Origanum* x *majoricum*	Culinaria	11.65 ± 0.29	71.64 ± 1.25
Bálsamo de limón	*Melissa officinalis*	Culinaria	1.26 ± 0.04	9.54 ± 0.23
Tomillo de limón	*Thymus* x *citriodorus*	Culinaria	1.78 ± 0.03	13.28 ± 0.33
Orégano mexicano	*Poliomintha longiflora*	Culinaria	17.51 ± 0.22	92.18 ± 0.72
Menta de naranja	*Mentha aquatica*	Culinaria	2.26 ± 0.10	19.80 ± 0.43
Perejil	*Petroselinum crispum*	Culinaria	1.12 ± 0.01	11.03 ± 0.13
Amaranto	*Amaranthus cruentus*	Culinaria	3.41 ± 0.11	28.92 ± 0.21
Romero	*Rosmarinus officinalis*	Culinaria	2.19 ± 0.15	19.15 ± 0.63
Ajo	*Tulbaghia violacea*	Culinaria	1.03 ± 0.10	7.50 ± 0.60
Albahaca	*Ocimum basilicum*	Culinaria	2.23 ± 0.15	14.27 ± 0.45
Cilantro	*Polygonum odoratum*	Culinaria	3.09 ± 0.12	22.30 ± 0.68

Fuente: Zheng y Wang (2001).

Miligramos de ácido gálico (GAE) equivalente a un gramos de peso fresco. Micro de Trolox equivalente a un gramos de peso fresco.

Cuadro 2. Compuestos fenólicos de algunas hierbas (mg/100 g de peso fresco)

Compuesto fenólico	*Salvia officinalis*	*Ginkgo biloba*	*Origanum x majoricum*	*Poliomintha longiflora*	*Thymus vulgaris*	*Rosmarinus officinalis*
Ácido vanílico	2.3 ± 0.48	1.45 ± 0.04		3.59 ± 0.08		1.73 ± 0.08
Ácido cafeico	7.4 ± 0.35	39.8 ± 2.31	10.4 ± 0.27	8.1± 0.09	11.7 ± 1.04	2.95 ± 0.12
Luteolina	33.4± 1.32			25.1 ± 0.76	39.5 ± 1.53	
Ác. Rosmarínico	117.8 ± 1.01		154.6 ± 3.29	124.8 ± 3.57	91.8 ± 2.75	32.8 ± 1.69
Hispidulina	16.3 ± 1.07		48.7 ± 1.58	10.8 ± 1.15	20.8 ± 0.96	19.7 ± 1.12
Cirsimaritina	14.3 ± 0.83					24.4 ± 0.87
Ác. carnósico						126.6 ± 6.0
Apigenina	2.4 ± 0.07		3.5 ± 0.11			±0.15
Naringina						53.1 ± 2.1
Rosmanol						124.1 ± 3.2
Rutósido		22.4 ± 1.57				
Kaempferol		75.6 ± 2.18				

Fuente: Zheng y Wang (2001).

Conclusiones

Las propiedades antioxidantes de los aceites esenciales dependen de su composición química; los aceites esenciales con un contenido de fenoles son capaces de inhibirla oxidación de hidrocarburos alifáticos y aldehídos y fungir como antioxidantes. Estas propiedades antioxidantes de aceites esenciales que contienen hidrocarburos terpénicos y alcoholes, son debido a la presencia de α-pinenos. Por tal motivo se propone incluir en las formulaciones de productos alimenticios a los aceites esenciales derivados de plantas y especias para aprovechar esta propiedad y utilizarlos como conservadores naturales evitando efectos nocivos para la salud en el consumo humano.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de la beca 424980 y por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Guanajuato, en el marco del Proyecto de Fortalecimiento del Posgrado en Ingeniería Bioquímica del ITC, Clave: GTO-2011-C03-161759, Convenio 11-09-C-11.

Sobre los autores

Norma Leticia Flores Martínez,[1] Adriana Hernández Rangel,[1] Aurea Bernardino Nicanor,[1&] Cristina Pérez Pérez.[1*] &[1]Posgrado en Ingeniería Bioquímica, Depto. Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Celaya. Ave. Tecnológico y Antonio García Cubas S/N, C.P. 38010, Celaya, Guanajuato. Tel (461) 61-17575 extensión 329, correo electrónico *cristina.perez@itcelaya.edu.mx (&) Cuerpo Académico Biotecnología alimentaria.

Referencias

Abdollahi M, A, Ranjbar, S, Shadnia, S, Nikfar, A. Rezaie (2004), "Pesticides and oxidative stress: a review", *Med Sci Monit*, 10, RA, pp. 141-147.

Agnanient, H., T. Makani, A. Akagah, C. Menut, J. M. Bessière (2004), "Volatile constituents ad antioxidant activity of essentials oils from Lippia multiflora Mold growing in Gabon", *Flavour Fragr. J.*, 20(1), pp. 34-38.

Akgül, A. (1989), "Baharatlarin antioksidan etkisi (Antioxidant properties of spices)", *Doga-Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 13, pp. 11-24.

Bakkali, F., S. Averbeck, D. Averbeck y M. Idaomar (2008), "Biological effects of essential oils – A review", *Food and Chemical Toxicology*, 46, pp. 446-475.

Bauer, Kk., D. Garbe y H. Surburg (1990), *Common Fragrance and Flavor Materials*, p. 218.

Berger, R. G. (2007), *Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability*, pp. 43-116.

Betts, T. J. (2001), "Chemical characterization of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases", *J. Chromatogr. A.*, 936, pp. 33-46.

Bowles, E. J. (2003), *Chemistry of Aromatherapeutic Oils. Allen y Unwin*, ISBN 174114051X.

Burt, S. (2004), "Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review", *Int J Food Microbiol*, 94, pp. 223-253.

Butterfield, D. y C. Lauderback (2002), "Lipid peroxidation and protein oxidation in Alzheimer's disease brain: potential causes and consequences involving amyloid beta-peptideassociated free radical oxidative stress", *Free Radic Biol Med*, 32, pp. 1050-1060.

Cervato, G. M., M. Carabelli, S. Gervasio, A. Cittera, R. Cazzola y B. Cestaro (2000), "Antioxidant properties of oregano (Origanum vulgare) leaf extracts", *J Food Biochem*, 24, pp. 453-465.

Croteau, R., T. M. Kutchan y N. G. Lewis (2000), "Natural products (secondary metabolites)" en B. Buchanan, W. Gruissem, R. Jones, (eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, American Society of Plant Physiologists.

Crozier, A., I. B. Jaganath y M. N. Clifford (2006), "Plant Secondary Metabolites: Occurrence, Structure and Role in the Human Diet" en A. Croizer, M. N. Clifford y H. Ashihara, *Plant Secondary Metabolites: Ocurrence, Structure and Role in the Human Diet*, USA, Wiley-Blackwell, p. 384.

Decker, E. A. (1997), "Phenolics: Prooxidant or antioxidant?", *Nutrition Reviews*, 55, pp. 396-407.

Dorman, HJD., AC. Figueiredo, J. G. Barroso y S. G. Deans (2000), "*In vitro* evaluation of antioxidant activity of essential oils and their components", *Flavour Fragr. J*, 15, pp. 12-16.

Edris, A. E. (2007), "Pharmaceutical and Therapeutic Potentials of Essential Oils and Their Individual Volatile Constituents: A Review", *Phytotherapy Research*, 21, pp. 308-323.

Farag, R. S., A. Z. M. A. Badei, F. M. Hewedi y G. S. A. El-Baroty (1989), "Antioxidant activity of some spice assential oils on linolenic acid oxidation in aqueous media", *JAOCS*, 66, pp. 792-799.

Foti, M. C. K. U., and Ingold (2003), "Mechanism of inhibition of lipid peroxidation by b-terpinene; an unusual and potentially useful hydrocarbons antioxidant. J Agric", *Food Chem.*, 51, pp. 2758-2765.

Gardner, P. (1997), *Superoxide-driven aconitase FE-S center cycling. Biosci Rep.* 17, pp. 33-42.

Halliwell B. y J. Gutteridge (1990), *The antioxidants of humanextracellular fluids. Arch Biochem Biophys*, 280, pp. 1-8.

Harbone, J. B. (1998), *Phitochemical Methods Guide to Modern Techniques in Plant Analysis*, 3rd ed. Chapman and Hall, London, pp. 42-58.

Huang, D., B. Ou y R. L. Prior (2005), *The chemistry behind antioxidant capacity assays.J Agric. Food Chem.* 53, pp. 1841-1856.

Ito N., S. Fukushima, A. Hasegawa, M. Shibata, T. Ogiso (1983), "Carcinogenicity of butylated hydroxyl anisole in F344 rats", *J. Natl. Cancer Inst.* 70, pp. 343-347.

Kumar, N. (1997), *Introduction to Spices, Plantation Crops, Medicinal and Aromatic Plants*, Oxford and IBH Publishing, New Delhi, India.

Kulisic T, A, Radonic, V, Katalinic, M. Milos (2004), "Analytical, nutritional and clinical methods use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil", *Food Chem.* 85, pp. 633-640.

Lee, K. G. y T. Shibamoto (2001), "Antioxidant property of aroma extract isolated from clove bud (Syzygiun aromaticum (L.) Merr. et Perry)", *Food Chem.*, 74, pp. 443-448.

Lee, K. G. y T. Shibamoto (2002), *Determination of antioxidant potential of volatile extracts isolated from various herbs and spices. J. Agric. Food Chem.*, 50, pp. 4947-4952.

Lee KW, Y. J. Kim Kim, D. O. H. J. Lee and C. Y. Lee (2003), "Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity", *J Agric Food Chem.* 51, pp. 6516-6520.

Lee, S.J., K. Umano, T. Shibamoto y K. G. Lee (2005), "Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties", *Food Chem.*, 91, pp. 131-137.

Madsen, H. L., B. R. R. Nielsen, G. Bertelsen, L. H. Skibsted (1996), "Screening of antioxidative activity ofspices. A Comparison between Assay Based on ESR Trapping and Electrochemical measurementof Oxygen Consumption", *Food Chem*, 57, pp. 331-337.

Maestri D.M., V. Nepote, A. L. Lamarque, J. A. Zygadlo (2006), "Natural products as antioxidants", *Phytochemistry: Advances in Research*, pp. 105-133.

Martínez, A. (2001), *Aceites esenciales*, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, pp. 4-17.

Martínez-Tomé, M., A. M. Jiménez, S. Ruggieri, N. Frega, R. Strabbioli, M. A. Murcia (2001), "Antioxidant Properties of Mediterranean Spices Compared with Common Food Additives", *J Food Protection*, 64(9), pp. 1412-1419.

McCord J. (2000), "The evolution of free radicals and oxidative stress", *Am J Med* 108, pp. 652-659.

Misharina, T. A., E. S. Alinkina, L. D. Fatkulina, A. K. Vorobyova, I. B., Medvedeva y E. B. Burlakova (2012), "Influence of the composition of essential oils on their antioxidant and antiradical properties", *Appl. Biochemistry and Microbiology*, 48, pp. 117-123.

Osawa, T., I. Uritani, V. V. Garcia, E. M. Mendoza (1994), *Novel natural antioxidants for utilization in food and biological system. In postharvest Biochemistry of plant Food-Materials in the Tropics*, Japan Scientific Societies, Tokyo, Japan, pp. 241-251.

Özcan, M. M., y A. Akgül (1995), "Antioxidant activity of extracts and essential oils from Turkish spices on sunflower oil", *Acta alimentaria*, 24, pp. 81-90.

Özcan, M. M., y D. Arslan (2011), "Antioxidant effect of essential oils of rosemary, clove and cinnamon on hazelnut and poppy oils", *Food Chem*, 129, pp. 171-174.

Petti, S. y C. Scully (2009), "Polyphenols, oral health and disease: A review", *Journal of dentistry*, 37(6), pp. 413-423.

Pichersky, E., J. P. Noel, N. Dudareva (2006), "Biosynthesis of plant volátiles: nature's diversity and ingenuity", *Science*, 311, pp. 808-811.

Pizzale, L., R. Bortolomeazzi, S. Vichi, E. Uberegger, L. S. Conte (2002), "Antioxidantactivity of sage (Salvia officinalis and S. fruticosa) and oregano (Origanum onites andO. indercedens) extracts related to their phenolic compound content", *J Science Food Agric*. 82, pp. 1645-1651.

Reddy, A.C.P., y B. R. Lokesh (1992), "Studies on the inhibitory effects of curcumin and eugenol on the formation of reactive oxygen species and the oxidation of ferrous iron", *Mol. Cell. Biochem*, 111, pp. 117-124.

Ruberto, G., y M. Baratta (2000), "Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems", *Food Chem.*, 69, pp. 167-174.

Shahidi, F., y N. Nazek (1995), *Food Phenolics*, Pennsylvania, Technomic Publishing Company.

Singh, G., R. Marimuthu, C. S. De Heluani y C. Catalan (2005), "Antimicrobial and Antioxidant Potentials of Essential Oil and Acetone Extract of *Myristica fragrans* Houtt", *J Food Sci.*, num. 3, vol. 70, pp. 141-144.

Srinivasan, K. (2005), "Role of spices beyond food flavoring: Nutraceuticals with multiplehealth effects", *Food Rev. Int.* 21, pp. 167-188.

Strack, D. (1997), "Phenolic Metabolism" en P. M. Dey y J.B. Harborne (eds.), *Plant Biochemistry*, London, UK, Academic Press, pp. 387-416.

Svoboda, K.P. y J. B. Hampson (1999), "Bioactivity of essential oils of selected temperate aromatic plants: antibacterial, antioxidant, antiinflammatory and other related pharmacological activities", *Proceeedings NAHA*, 25-28, St. Louis Missouri, USA, pp. 105-127.

Tepe, B., D. Daferera, M. Sökmen, M. Polissiou, A. Sökmen (2004), "In vitro antimicrobial and antioxidant activities of the essential oils and various extracts of Thymus eigii M Zohary et P.H" en J. Davis, *Agric. Food Chem.* 52, pp. 1132-1137.

Tomaino, A., F. Cimino, V. Zimbalatti, v. Venuti, v., Sulfaro, A. De Pasquale, A. Saija (2004), "Influence of heating on antioxidant activity and the chemical composition of some spice essential oils", *Food Chem,* 89(4), pp. 549-554.

Velioglu, Y. S., G. Mazza, L. Gao, B. D. Oomah (1998), "Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products", *J.Agric. Food Chem.* 46, pp. 4113-4117.

Voitkevich, S. A. (1999), *Efirnye masla dlya parfyumerii i aromaterapii (Essential Oils for Perfumes and Aromatherapy)*, p. 282.

Weidenbörner, M., H. Hindrof y P. Tsotsonos (1990), *Antifungal activity of flavonoids against storage fungi the genus Aspergillus. Phytochemistry*, 29, pp. 2152-2156.

Zarkovic N. (2003), "4-Hydroxynonenal as a bioactive marker ofpathophysiological processes", *Mol Aspects Med.* 24, pp. 281-291.

Zheng, W., y S. Y. Wang (2001), "Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs", *J Agric. Food Chem*, 49, pp. 5165-5170.

Efecto benéf co del chile (*Capsicum spp.*) en la salud humana

Margarita Hurtado González, Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Simón Josias Tellez Luis, Octelina Castillo Ruíz , José Alberto Ramírez de León

Resumen

El chile (*chilli* o *tzilli* en náhuatl) también llamado ají, es el fruto de diversas plantas del género *Capsicum*, género americano de plantas de las zonas tropicales y subtropicales que comprende alrededor de 27 especies descubiertas hasta la fecha. Este género del cual se han encontrado registros de cultivo de hace más de 6 mil años comprende a los ajíes, chiles y pimientos. Los chiles, además de ser usados como condimentos y base de muchos platillos, han sido usados como medicina tradicional alternativa, indicando que su consumo disminuye el riesgo de sufrir gripes y resfriados, previene el envejecimiento prematuro, mejora el proceso digestivo, estimula el metabolismo, es desparasitante y cicatrizante, entre otros usos. Pruebas científicas han demostrado que este producto en rico en vitaminas "A", "C", potasio y betacarotenos, a la vez que diversos estudios respaldan usos como anticoagulante, control de colesterol, inhibidor de cancerígenos y antioxidante. Un recuento de los usos del chile en la salud humana, nos presenta un panorama diferente de un producto de uso tradicional en nuestras mesas desde tiempos inmemorables, permitiendo una mejor comprensión del mismo y la posibilidad de desarrollar nuevos estudios.

Palabras clave: Chile, *Capsicum*, salud humana.

Cuadro 1. Contenidos en diferentes tipos de chiles por 100 g.

Chile	*Tipo*	*% Comestible*	*Calorías*	*Carbohidratos g*	*Proteínas g*	*Grasas g*
Amarillo	seco	84	302	56.7	11.6	8.6
Ancho	seco	68	334	62.7	11.5	9.8
Bola	fresco	84	50	11	2.4	0.5
Cascabel	seco	84	312	63.6	12.9	6.4
Cristalino	fresco	84	31	7.3	1.5	0.3
Chilaca	fresco	84	32	7.3	1.5	0.3
Chipotle	seco	84	293	57.6	14.1	6.3
De árbol	seco	84	298	65	9.6	5.1
Del Monte	fresco	80	101	17	3.5	3.8
Gordo	fresco	87	23	5.3	1.2	0.1
Guajillo	seco	84	302	56.7	11.6	8.6
Güero	fresco	84	23	5.3	1.2	0.1
Habanero	fresco	84	31	5.3	11.6	8.6
Jalapeño	fresco	87	23	5.3	1.2	0.1
Largo	fresco	84	18	2.6	2.7	0.2
Morita	seco	84	297	61.6	13.2	5.4
Mulato	seco	68	298	65	9.6	5.1
Pasilla	seco	60	327	60.1	12.7	9.6
Pimiento	fresco	85	22	5.1	0.8	0.2
Piquín	fresco	84	320	64.9	14.4	6.4
Poblano	fresco	80	48	10.4	2.6	0.6
Serrano	fresco	95	35	7.2	2.3	0.4
Trompito	fresco	84	33	7.5	1.6	0.3

Fuente: Goldberg (2012).

Propiedades y usos de la capsaicina

La capsaicina es el componente responsable del comportamiento picante, en mayor o menor grado, de los frutos de la familia *Capsicum*, localizándose, fundamentalmente, en sus semillas y membranas. Es un compuesto orgánico de naturaleza lipídica, frecuentemente clasificado, de forma errónea, como un alcaloide. El nombre fue aplicado, en 1876, a un compuesto incoloro aislado de la oleorresina del *Capsicum*. En los años sesenta, el compuesto natural fue adecuadamente caracterizado. La capsaicina

es un compuesto que posee la capacidad de causar cambios bioquímicos en nuestro cuerpo y a la que se le atribuyen propiedades medicinales y analgésicas.

La capsaicina es la responsable de la sensación de ardor, e incluso dolor, en la mucosa oral. Estimula las secreciones gástricas y, si se usa en demasía, ocasiona inflamación. Se sabe que esta molécula es capaz de actuar sobre fibras no mielinizadas delgadas, activando a ciertas subpoblaciones de neuronas sensoriales. La capsaicina también posee cualidades descongestivas y, a concentraciones adecuadas, favorece en el cerebro la producción de endorfinas, que son moléculas que promueven la sensación de bienestar.

Entre las propiedades atribuidas a la capsaicina registradas en medicina naturista, tradicional o alternativa, se encuentran (Paredes-López, 2006; Pérez de León, 2011; De la Vega, 2012), las siguientes:

- Estimula la producción de jugos gástricos, que mejoran la digestión y provocan más apetito.
- La capsaicina está presente en numerosas medicinas contra la artritis y el reumatismo, además de tener efectos positivos para disminuir el dolor de cabeza y la migraña. Gracias a su alto aporte de vitamina "C", el chile previene enfermedades respiratorias y ayuda a la cicatrización. Esto sin olvidar que favorece un mejor aprovechamiento del hierro y mantiene la piel en buen estado.
- El chile tiene efectos antiinflamatorios, antiirritantes y ayuda a la prevención del dolor.
- Se ha encontrado que es bueno para el corazón, pues baja la presión arterial, estimula el sistema circulatorio, reduce el colesterol y es un anticoagulante natural que disminuye la posibilidad de un ataque cardíaco.
- Hoy en día, el chile está siendo considerado en el desarrollo de tratamientos anticancerosos, ya que la capsaicina es capaz de eliminar las células malignas del cáncer.

Debido a su capacidad para hacer desaparecer el dolor se utiliza para el tratamiento de lumbagias mediante parches transdérmicos de capsaicina; es empleado en algunas neuralgias, neuropatías diabéticas y algunos cuadros dolorosos referidos a territorios específicos de la piel, así como en los picores de los dializados por insuficiencia renal u otras afecciones de la piel, además de golpes y torceduras.

Durante alguna época se le atribuyeron virtudes afrodisíacas. Parece ser que la estimulación del tracto génito-urinario por la capsaicina absorbida y no metabolizada, sería responsable de esta acción.

El chile es muy efectivo para sobrellevar la "cruda" (malestar después de beber alcohol), despierta el apetito, ayuda a desechar las toxinas porque hace sudar y, hasta corre la creencia de que, untado, hace que salga pelo.

En forma de polvo, el chile picante se usa para curar heridas rápidamente. Una fina capa de polvo de pimiento en la herida limpia, destruye los gérmenes y acelera su proceso de curación.

Otra aplicación externa es el relacionado a la descongestión nasal. Se añade una pequeña cantidad de polvo de chile en un vaso de agua, se remueve bien, y luego se aplica directamente a los orificios nasales, esto hará que la infección desaparezca más rápido.

El chile picante es un recurso excepcional para curar las infecciones a nivel de los dientes y encías, eliminando los dolores e inflamaciones. El tratamiento es más sencillo al aplicar pimiento picante en polvo en el cepillo de dientes y luego cepillar suavemente las zonas respectivas.

El chile utilizado en fricciones ayuda a restablecer la circulación sanguínea y aliviar los dolores debido al reumatismo, y las neuralgias.

En el caso de resfriados o tos, se recomienda la tintura de 20 o 25 gotas 30 minutos antes de las comidas principales.

Además, la capsaicina es un poderoso antioxidante, que puede mantener las células jóvenes durante más tiempo; es un expectorante y descongestionante natural, que ayuda a prevenir la bronquitis, es un antiséptico y estimula la circulación.

El chile y el sobrepeso

Algunas investigaciones sugieren la posibilidad de que especias como el chile picante o la pimienta pueden aumentar la termogénesis y, con ello, aumentar el gasto calórico del cuerpo. La termogénesis implica la producción y liberación de calor por parte del cuerpo y, por tanto, una mayor termogénesis va asociada a un mayor gasto energético a través de la oxidación de grasas (Reinbach, *et al.*, 2009). Si eso es así, la hipótesis de que un poco de picante incrementa el gasto de calorías tras la comida y ayuda a adelgazar no es una idea descabellada. La teoría no se limita sólo a las especias. También se cree que compuestos como la cafeína o las catequinas del té podrían aumentar la termogénesis. La interrogante sería si es posible convertir esto en una herramienta de apoyo para abordar el problema de la obesidad.

Una revisión de algunas de las estrategias que se han propuesto para el mantenimiento del peso concluye que una de las que parecen ser efectivas, es el uso de la capsaicina. Se considera que el consumo regular de chile, como parte de una dieta

balanceada, mejora el control posprandial de la insulina y disminuye el riesgo de diabetes entre la población obesa. Sin embargo, si se usa a nivel clínico, se requiere el seguimiento de un tratamiento con dosis considerables, lo que por el momento no se ha mostrado que sea factible.

Diversos estudios muestran beneficios potenciales del uso de la capsaicina en el tratamiento de la obesidad y resistencia a la insulina. La capsaicina tiene diversas actividades en el metabolismo muscular: además de sus propiedades metabólicas que inducen a la termogénesis y a la oxidación de grasas, la capsaicina también muestran propiedades antinflamatorias; por otra parte, se ha observado que la capsaicinaa aumenta directamente la insulina y estimula la absorción de la glucosa en las células musculares. Estos resultados indican que la capsaicina puede ser útil para el tratamiento de la obesidad relacionada con disfunciones metabólicas inflamatorias. Además, los efectos beneficiosos derivados de la capsaicina y sustitutos de azúcar sobre la inflamación y la obesidad han sido revisados con resultados alentadores (Kim *et al.*, 2003; Suri y Szallasi, 2008; Kim *et al.*, 2010).

En 1998, otro estudio realizado por investigadores de la Universidad de Tsukuba (Japón) y de la Universidad Laval (Canadá), y publicado en British Journal of Nutrition mostraba que la capsaicina también podía dar resultados positivos en mujeres con alteraciones en la termogénesis y que tenían dificultades en incrementar la quema de grasas cuando cambiaban de una dieta rica en carbohidratos a una dieta, rica en grasas. La adición de chile picante, rico en capsaicina, a la dieta con grasas, estimulaba la oxidación de lípidos y parecía normalizar la respuesta termogénica. Sin ser la solución al problema, el trabajo revelaba que las especias podrían permitir ajustar la oxidación de grasas a la ingesta de alimento. Y, por qué no, quizá conseguir que una dieta no tenga que ser una rutina dura y espartana. (Fernández, 2007).

Por otra parte, existe una investigación que ha causado gran impacto, es la desarrollada por científicos surcoreanos en ratas de laboratorio que provee evidencia de que el consumo de capsaicina, logra que se acumule menos grasa en el cuerpo. Los estudios previos habían sugerido que la capsaicina puede ayudar a combatir la obesidad mediante la reducción de la cantidad de calorías que se absorben en el intestino, reduciendo el tejido graso, acelerando el metabolismo, y reduciendo los niveles de lípidos en la sangre. Sin embargo, los mecanismos que subyacían a su efecto importante en la pérdida de peso habían permanecido desconocidos hasta éste estudio, con lo que abre el camino hacia nuevas opciones en el desarrollo de estrategias para combatir la obesidad (Joo *et al.*, 2010).

Evidencias de propiedades atribuidas

En nuestro país existen pocas investigaciones referentes al fruto del género *Capsicum* y de las pocas existentes en su mayoría están enfocadas a estudios de domesticación y producción. Es en otros países donde un gran número de investigadores se dedican al estudio de los *Capsicum*, no sólo para lograr variedades mejoradas, sino para estudiar los aspectos nutricionales, biomédicos, bioquímicos, e industriales, así como su comercialización interna y hacia el exterior.

Benef cios gastrointestinales

En el sistema gastrointestinal se encuentran presentes nervios sensibles a la capsaicina, los cuales desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la integridad de la mucosa intestinal frente a posibles daños. Los capsaicinoides pueden tener un efecto benéfico o perjudicial dependiendo de la dosis y el tiempo de aplicación. Una dosis baja de capsaicinoides podría aumentar el flujo basal de sangre de la mucosa gástrica y la secreción de moco gástrico, facilitando la restitución del epitelio gástrico, lo que es beneficioso para la defensa del tracto digestivo (Nishihara, *et al.*, 2002; Han e Isoda, 2009).

Efecto analgésico

La capsaicina ayuda a reducir la inflamación, la percepción del dolor (hiperalgesia-química nociva) y el dolor de la artritis reumatoide o la fibromialgia (Fraenkel, 2004). Es también el ingrediente clave en "Adlea", un medicamento que se encuentra en fase 2 de ensayo como un analgésico de acción prolongada para el tratamiento postquirúrgico y dolor de la osteoartritis (Remadevi y Szallisi, 2008) y es también un ingrediente de algunas cremas de aplicación tópica para el dolor en una concentración de 0.075% o menos (Knotkova *et al.*, 2008).

Estudios realizados en el 2007, han aislado a partir de capsaicina la molécula denominada QX -314, que tiene la propiedad de atravesar la pared celular de las neuronas receptoras del dolor e inervarlas (inhibiendo así totalmente cualquier sensación) sin afectar el funcionamiento de las demás neuronas. Por este motivo, puede utilizarse como un anestésico que no adormece ni entumece, estando indicada para afecciones con dolor crónico o, por el contrario, para situaciones de dolor agudo.

La capsaicina se ha descrito en farmacología como un vanilloide natural que controla la inflamación neurogénica y disminuye los neuropéptidos en la sinapsis neuronal. El principal efecto resultante es la disminución del dolor. El dolor neuropático es uno de los síndromes dolorosos más complejos y de más difícil tratamiento. Su causa es una lesión neurológica (periférica y/o central) en una parte del sistema de transmisión nerviosa del dolor. Se han utilizado diversos fármacos analgésicos para mitigar la molestia, pero ninguno ha resultado suficientemente efectivo y los efectos secundarios han impedido a menudo su aplicación. Estudios recientes especulan con la bondad de un tratamiento de capsaicina tópica en distintos casos de dolor neuropático: neuralgia postherpética, neuropatía diabética, dolor neuropático asociado al SIDA, neuralgia del trigémino, síndrome doloroso postmastectomía y dolor complejo regional (Montaner, 2006).

También el estudio de las acciones selectivas neuronales de la capsaicina está ayudando al progreso del conocimiento de ciertas funciones neuronales. Sus acciones se ejecutan a través de su reconocimiento por parte de una proteína receptora, que no es específica para ella, sino que también efectúa otras funciones de reconocimiento.

Prevención del cáncer

La actividad anticancerígena de la capsaicina ha sido reportada por largo tiempo. En cultivos celulares la capsaicina mostró la capacidad de impedir el crecimiento y la movilidad de células cancerígenas de senos así como de matar a células de cáncer de próstata y de colon. La capsaicina en su forma natural inhibe también el crecimiento de células afectadas por leucemia. Ciertas investigaciones revelan que los metabolitos de la capsaicina pueden atacar el DNA y los detonadores de mutaciones y formaciones malignas (Singh *et al.*, 1996; Surh, 2002; Yang *et al.*, 2010).

Un estudio reciente de la Universidad de Nottingham, y que fue publicado en "Biochemical and Biophysical Research Communications", sugiere que la capsaicina es efectiva como tratamiento anticanceroso ya que sus moléculas se adhieren a las proteínas en la mitocondria de la célula cancerosa y genera su muerte celular o apoptosis, lo más importante es que se logra sin dañar a las células sanas circundantes (Athanasiou *et al.*, 2007).

Benef cios cardiovasculares

Existe suficiente evidencia de que los capsaicinoides tienen un efecto benéfico potencial en el sistema cardiovascular para tratar amenazas cardiovasculares en seres humanos que incluyen enfermedades coronarias del corazón, infarto al miocardio, hipertensión y arteroscleresis, debido a su efecto antioxidante que actúa sobre receptores específicos del sistema cardiovascular (Arora *et al.*, 2011).

Conclusiones

El uso de las especies de chiles como condimento en muchas de las comidas de un sinnúmero de países, ha dado lugar a una larga convivencia y diversificación de usos reportados como medicina tradicional o alternativa. La ciencia ha retomado algunos de estos usos y los ha revalidado o desechado según el caso. Sin embargo es interesante que el componente responsable del picor en los chiles, la capsaicina, sea sujeto de estudios relacionados con grandes problemas médicos de actualidad, tales como el cáncer y la obesidad. México es uno de los países con mayor número de especies silvestres y cultivadas de ésta planta, es necesario estar a la vanguardia en dichas investigaciones que a la fecha desarrollan principalmente países de Europa y Oriente. Lo que es innegable es que el chile aún puede ofrecer alternativas más allá de su uso como condimento lo cual no se debe de desaprovechar.

Sobre los autores

Margarita Hurtado González, María Guadalupe Bustos Vázquez, Simón Josías Tellez Luis, Octelina Castillo Ruíz. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Correo electrónico: mhurtado@uat.edu.mx

Referencias

Arora R, N. S. Gill, G. Chauhan and A. C. Rana (2011), "Overview about Versatile Molecule Capsaicin", *Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research* 2011, 3(4), pp. 280-286.

Athanasiou A, P. A. Smith, S. Vakilpour, N. M. Kumaran, A. E. Turner, D. Bagiokou R. Layfield, D. E. Ray, A. D. Westwell, S. P. Alexander, D. A. Kendall, D. N. Lobo,

S. A. Watson, A. Lophatanon, K. A. Muir, D. A. Guo and T. E. Bates (2007), "Biochem Biophys", *Res Commun*, 2;354(1), Epub, PMID:17214968, pp. 50-5.

Baltazar-Montes B. (1998), "Diversidad Genética del Cultivo de Chile (*Capsicum, spp*) silvestre en su área de reproducción", Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, México D.F. Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto núm. G026.

De la Vega M. (2010), "El chile, la capsaicina y la salud", disponible en http://yosoymartindelavega.com/el-chile-la-capsaicina-y-la-salud/?lang=es

Goldberg Kalik A. (2012), "Alimentos VI. El sabroso picante (chile)", disponible http://www.obesidad.net/spanish2002/default.htm

Fernández Mercè (2007), *Comida picante sobre el sobrepeso*, Canal de Alimentación, EROSKI CONSUMER, España.

Fraenkel L Jr, S. T. Bogardus, J. Concato and D. R. Wittink (2004), "Treatment options in knee osteoarthritis the patient's perspective", *Archives of Internal Medicine*, 164, pp. 1299-1304.

Han J. and H. Isoda (2008), "Capsaicin Induced the Upregulation of Transcriptional and Translational Expression of Glycolytic Enzymes Related to Energy Metabolism in Human Intestinal Epithelial Cells", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57 (23), pp 11148-11153.

Hurtado-Gonzalez M, H, Villalón-Mendoza, R. López de León and L. Trejo-Hernández (2011), "Identificación de los Diferentes Procesos de Transformación Industrial del Chile Piquín (Capsicum annuum L.) en el Noreste de México", *Memorias*, segundo Foro Universitario, Investigación, Sociedad y Desarrollo, Expociencia UAT, Victoria Tamaulipas, México.

Joo JI, D. H. Kim, J. W. Choi and J. W. Yun (2010), "Proteomic analysis for antiobesity potential of capsaicin on white adipose tissue in rats fed with a high fat diet", *Journal of Proteome Research*, 9, pp. 2977-2987.

Kim C. S. (2003), "Capsaicin exhibits anti-inflammatory property by inhibiting IkB-a degradation in LPS-stimulated peritoneal macrophages", *Cell Signal*, 15, pp. 299-306.

Kim D. H. (2010), "Differential expression of skeletal muscle proteins in high-fat diet-fed rats in response to capsaicin feeding", *Proteomics*, 10, pp. 2870-2881.

Knotkova H, M. Pappagallo and A. Szallasi (2008), "Capsaicin (TRPVI agonist therapy for pain relief: farewell or revival", *Clinic ournal of. Pain*, 24, pp. 142-154.

Lee J, Y. Li, C. Li and D. Li (2011), "Natural products and body weighy control. North Am", *Journal of Medical Sciences*, 3, pp. 13-19.

Montaner Jordi, (2006), "Chiles picantes y curativos", *Canal de Seguridad alimentaria*, EROSKI CONSUMER, España.

Nishihara K, Y, Nozawa, M, Nakano, H, Ajioka and N. Matsuura (2002), "Sensitizing effects of lafutidine on CGRP-containing afferent nerves in the rat stomach. Br", *Journal Pharmacology*, 135, pp. 1487-1494.

Nuñez-Palenius H., and N. Ochoa-Alejo (2005), "Effect of phenylalanine and phenylpropanoids on the accumulation of capsaicinoids and lignin in cell cultures of chili pepper (Capsicum annuum L.)", *In vitro Cellular and Development. Biology- Plant*, 41, pp. 801-805.

Pares-López O, F. Guevara-Lara and L. A. Bello-Pérez (2006), *Los alimentos mágicos de las culturas indígenas mesoamericanas*, Fondo de Cultura Económica, p. 205.

Pérez de León Verónica (2011), *El chile y sus efectos benéficos para la salud*, CNN, México.

Pozo Compodónico O, S. Montes Hernández and E. Redondo Juárez (1991), "Chile (*Capsicum spp.*)" en R. Ortega, G. Palomino, F. Castillo, v. González y M. Livera (eds.), *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México*, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C., México, pp. 217-238.

Rao S. R. and G. A. Ravishankar (2002), "Plant cultures: Chemical factories of secondary metabolites", *Biotechnology Advances*, 20, pp. 101-153.

Remadevi R. and A. Szallisi (2008), "Adlea (ALGRX-4975), an injectable capsaicin (TRPV1 receptor agonist) formulation for loglasting pain relief", *The Investigational Drugs Journal*, 4, pp. 1009-1019

Singh S, K. Natarajan and B. B. Aggarwal (1996), "Capsaicin (8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide) is a potent inhibitor of nuclear transcription factor-κ B activation by diverse agents", *Journal of Immunology*, 157, pp. 4412-4420.

Surh, Y. J. (2002), "More tan spice: capsaicin in hot chili peppers makes tumor cells commit suicide", *Journal of the National Cancer Institute*, 94, pp. 1263-1265.

Suri A. and A. Szallasi (2008), "The emerging role of TRPV1 in diabetes and obesity", *Trends in Pharmacological Sciences*, 29, pp. 29-36.

Villalón-Mendoza H, E. Méndez-Vasconcelos, M. Ramírez-Meráz and T. Medina-Martínez (2010), "Estudio de la Preferencia y Arraigo Cultural del Chile silvestre "Piquín" (Capsicum annuum var. Aviculare grabisculum) en el Estado de Nuevo León", México, *VII Simposium Internacional sobre la Flora Silvestre de la Zona Árida*, Sonora, México.

Veeresham C, C. K. Kokate, S. S. Apte and V. Venkateshwarlu (1993), "Effect of precursor on capsaicin Synthesis in Suspensión Cultures of Capsicum annuum", *Plant Tissue Culture*, 3, pp. 67-70.

Yang Z. H., X.H. Wang, H. P. Wang and L. Q. Hu (2010), "Capsaicin mediates cell death in bladder cancer T24 cells through reactive oxygen species production and mitochondrial depolarization", *Urology*, 75, pp. 735-741.

Alimentos botana, aceptabilidad y nutrición humana

Ricardo Omar Navarro Cortez, Javier Castro Rosas, Ernesto Aguilar Palazuelos, Jesús Rodríguez Miranda, Hiram Medrano Roldán, Efrén Delgado Licon, Otilio A. Acevedo Sandoval, Carlos Alberto Gómez Aldapa

Resumen

Los alimentos botana han sido una parte integral de los hábitos alimenticios de la mayoría de las poblaciones del mundo y son definidos como alimentos que se pueden consumir a cualquier hora del día, saciando temporalmente el apetito, sin embargo estos alimentos tienden a ser elevados en calorías y grasa pero bajos en proteínas, vitaminas y otros nutrientes, por lo cual, se han estado buscando nuevas formas de obtención y formulación de botanas. Disminuyendo el contenido de grasas y aumentando su aporte nutricional, tal es el caso del proceso de extrusión. De igual manera, se está buscando rediseñar este tipo de alimentos para incrementar su aporte nutricional a partir de mezclas de diferentes componentes naturales y componentes animales ricos en fibra y proteínas, respectivamente. Durante el proceso de extrusión, el almidón, las proteínas y las fibras insolubles como hemicelulosa y lignina, principales componentes de la pared celular de los cereales y vegetales, experimentan cambios en su estructura. Algunos de los cambios principales son: formación de almidón resistente, el cual se ha reportado que no es hidrolizado en el intestino delgado, pero al llegar al colón es transformado a compuestos volátiles denominados ácidos grasos de cadena corta, con propiedades anticarcinogénicas, además de incrementar el contenido de fibra dietaria soluble. Por otro lado, las proteínas al ser sometidas al proceso de extrusión experimentan cambios conformacionales

denominados desnaturalización, favoreciendo la exposición de estas a las proteasas del organismo, incrementando su biodisponibilidad.

Palabras clave: extrusión, botanas, fibra.

Introducción

Los alimentos botana también conocidos como "alimentos chatarra" tienden a ser productos con elevados contenidos de grasa (altos en aporte de calorías), pero bajos en proteínas, vitaminas y otros nutrientes (Ranhotra y Vetter, 1991). Estos alimentos han sido clasificados en: botanas de primera generación, los cuales son productos obtenidos por la combinación de temperatura y humedad (cacahuates enchilados, garapiñados y las palomitas de maíz reventadas por microondas); botanas de segunda generación, en donde el producto obtenido está listo para ser consumido, un ejemplo de estos alimentos serían los "chetos" (productos extrudidos directamente expandidos) y botanas de tercera generación, también denominados pellet, productos intermedios o alimentos semiprocesados, cuya diferencia de los de segunda generación es que durante el procesamiento solo se les da un formado y la presentación final se les da cuando el consumidor los adquiere, expandiéndolos por microondas o por freído (ejemplo de este tipo de botana es la pasta para freír y al producto freído se le denomina chicharrón). Este tipo de alimentos en México son ampliamente preferidos por personas de todas las edades desde niños hasta personas de la tercera edad, cuyo consumo ha sido asociado con enfermedades como la obesidad que a su vez esta relacionada con enfermedades crónico-degenerativas como arteroscleroris, hipertensión arterial y diabetes, ya que estos alimentos tienen un elevado contenido de grasas y almidón.

La obesidad es una enfermedad asociada con una elevada ingesta de alimentos ricos en grasas, azúcares y sal, en combinación con un control disfuncional del apetito y la falta de ejercicio. Existen evidencias que sugieren que el apetito y la masa del cuerpo pueden estar influenciados desde la gestación de un individuo.

Por lo antes mencionado, en la actualidad se han estado realizando investigaciones para mejorar la calidad nutricional de estos alimentos, empezando en el cambio de la manera de obtención y expandido. Por lo que han tenido mucho auge métodos de procesamiento como la extrusión, en el cual al producto no se le incorpora más grasa de la que tiene la materia prima, por esta tecnología se pueden obtener botanas de segunda y tercera generación; por otro lado, hablando respecto al método de expansión para botanas de tercera generación, se ha cambiado el freído en aceite por el

expandido en hornos de microondas. Además, el extrusor es una máquina versátil, en la cual se pueden procesar una amplia gama de materiales extraídos de fuentes naturales como fibra, almidón y proteína, para obtener productos con mejores características en cuanto a su composición.

Producción y consumo de alimentos botana

La industria de frituras y botanas en México registró una tasa media de crecimiento de 6.9% del 2004 al 2007, según información del INEGI, cifra similar a la del crecimiento de la población. El consumo per cápita de botanas en México, es de 3.28 kg/año (INEGI, 2009). Las botanas con mayor éxito en México son las que tienen picante. Gracias a su sabor, el negocio de botanas ha tenido un crecimiento constante en los últimos años, sin embargo, a pesar de este comportamiento, el consumo sigue siendo bajo si se compara con países desarrollados (Latin American Markets, 2008). En los Estado Unidos el consumo per cápita anual es de 10 kg. (Redruello, 2008).

En México existen 127 empresas productoras de botanas, estas empresas se localizan en el Distrito Federal (20%); Jalisco (17%) y Nuevo León (14%) (Canacintra, 2008). El volumen estimado de producción en el año 2010 fue de 373 mil 549 millones de toneladas para botanas saladas y dulces (cuadro 1). El principal productor de botanas en México es Sabritas, con una participación en el mercado del 60%, seguido de Barcel con 13.7% y con menor participación otros productores (cuadro 2). En lo que respecta a la producción de barras tipo botana, la producción en 2010 fue de 33,346.28 toneladas (cuadro 3), la empresa con mayor participación de ventas en este rubro en el mercado es Bimbo (42.91%) (cuadro 4) (Gibbons, 2011).

Botanas y preferencia de estas por las personas

No está claro cómo es que los alimentos denominados chatarra tengan una elevada preferencia por personas de todas las edades, aún y cuando conocemos que este tipo de alimentos son perjudiciales para la salud. Un estudio realizado en ratas alimentadas solo con comida para roedores y grupos alimentados con comida chatarra en etapa gestacional y lactancia, mostró que las crías de las ratas alimentadas con alimentos chatarra presentaron una preferencia exacerbada por alimentos que contenían grasa, azúcar y sal, de igual manera mostraron un incremento en el peso e índice de masa corporal comparada con las ratas alimentadas solo con comida para

roedores, con lo cual en este estudio se demostró que una dieta con alimentos chatarra durante la gestación y lactancia puede ser un factor de contribución en el desarrollo de obesidad (Bayol *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Volumen y valor de las ventas de botanas saladas y dulces en México

Tipo de botana	*Cantidad en miles de millones de toneladas*	*Valor en millones de pesos mexicanos*
Papas fritas	76.84	9 209.42
Botanas extrudidas	71.22	8 892.76
Botanas de frutas	2.05	307.18
Semillas	43.88	4 124.40
Palomitas	52.03	3 465.73
Botanas a base de maíz	112.40	9 739.77
Otras botanas saladas y dulces	15.12	2 305.96
Producción total	373.54	38 045.28

Fuentes: Gibbons (2011).

Cuadro 2. Compañías productoras de botanas saladas y dulces en México y su porcentaje de participación de ventas en el mercado en 2009

Nombre de la compañía	*% de participación de ventas en el mercado*
Sabritas	60.32
Barcel	13.97
Productos del monte	3.46
Nacional de alimentos y helados	2.65
Botanas y derivados	1.61
Productos Nipon	0.90
Nishikawa	0.89
Proctec y Gamble de México	0.73
Cazares	0.65

Fuente: Gibbons (2011).

Cuadro 3. Producción y ventas de barras tipo botana en México

Tipo de barra para desayuno	*Cantidad en Toneladas*	*Valor en millones de pesos mexicanos*
Barras para desayuno	27 620.00	3 738.02
Barras nutritivas y energéticas	116.28	54.34
Barras de fruta	1 270.00	50.21
Barras de muesli y granola	4 340.00	617.45
Producción total	33 346.28	4 460.02

Fuente: Gibbons (2011).

Cuadro 4. Principales productores de barras tipo botana en México y porcentaje de participación en el mercado

Nombre de la compañía	% de participación de ventas en el mercado
Grupo bimbo	42.91
Kellogg de México	23.74
Productos Quaker de México	16.02
General Mills de México	3.14
Avena de Chihuahua	1.80
Alimentos Roal	1.35
Nestle México	1.07

Fuente: Gibbons 2011.

Otro factor que podría estar influenciando la aceptación de alimentos botana, podrían ser los anuncios en la televisión, a los cuales los niños son más susceptibles (Cornwell y Mcalister, 2011). Sin embargo, la aceptabilidad de un producto se define en función de otras características tales como sus propiedades físicas y organolépticas, donde el sabor es el principal atributo que se toma en cuenta para la aceptabilidad de un producto.

Papel de la extrusión en la elaboración y calidad nutricional de alimentos botana

En todo el mundo los gobiernos en todos los niveles están considerando una legislación sobre alimentos obesigénicos, debido a que en los últimos 30 años se ha triplicado la obesidad en niños en etapa preescolar y cuadruplicado en niños con edades que oscilan entre los 6 y 11 años (Institute of Medicine, 2006). De acuerdo a lo planteado anteriormente y a las preguntas frecuentes que podemos hacernos ¿habrá algún método que nos permita elaborar productos ricos y nutritivos? La respuesta podría encontrarse en el proceso de extrusión, el cual ofrece alternativas para elaborar alimentos botana con bajos contenidos calóricos, además de ser máquinas con una elevada eficiencia energética, debido a que la fricción generada al interior del extrusor se transforma en energía calorífica, disminuyendo los costos de suministro de energía externa además de ser un proceso versátil, ya que permite emplear una amplia gama de ingredientes para desarrollar alimentos nuevos incluyendo el desarrollo de alimentos funcionales con beneficios a la salud (Cheftel, 1989; Camire *et al.*, 1990; Zazueta-Morales *et al.*, 2002). Pero ¿qué es la extrusión? y ¿qué beneficios a la salud nos aportan los alimentos extrudidos? La extrusión es un proceso continuo de cocción, mezclado y formado a altas temperaturas en corto tiempo, en el cual, las materias primas son transformadas en una masa debido a la combinación de fuerzas de cizalla, humedad y temperatura (Harper, 1989). Este proceso permite incrementar las características nutricionales, higiénicas, fisicoquímicas y sensoriales, e inactivar factores antinutricios (ácido fítico), así como enzimas indeseadas en los alimentos (lipooxigenasas, inhibidores de tripsina), provenientes de las materias primas utilizadas en la elaboración de productos extrudidos (Zhu *et al.*, 1996).

Los granos de cereales son usados generalmente en la elaboración de alimentos tipo botana extrudidos, debido a su alto contenido en almidón, sin embargo, estos tienen bajos contenidos de proteína y un pobre valor biológico debido a su limitado contenido de aminoácidos esenciales (Özer *et al.*, 2004). Botanas nutritivas pueden ser elaboradas incorporando en la formulación legumbres, vegetales y frutas (Thakur y Saxena, 2000; Özer *et al.*, 2004), elaboraron una botana a partir de harina de maíz, chícharo, avena, polvo de zanahoria y harina de almendras para aumentar la calidad nutritiva del alimento, principalmente en cuanto al contenido de: proteína, fibra, carotenoides y vitamina E. Sin embargo, muchos estudios de este tipo solo evalúan propiedades físicas del producto y no las nutricionales.

Hablando de aspectos nutritivos y sabiendo que el almidón es la principal materia prima para elaborar botanas, podemos decir que la gelatinización que se lleva a cabo

cuando sometemos un almidón a condiciones de calor, temperatura y humedad, es de vital importancia para los seres humanos, ya que los animales monogástricos no podemos digerir el almidón si no está gelatinizado. En el sentido nutrimental, podemos hablar de que la gelatinización que sufre el almidón en el interior del extrusor, es un tratamiento para predigerir el almidón, un almidón que es rápidamente digerido provoca un incremento en los niveles de azúcar en la sangre, lo cual podría conducir al desarrollo de diabetes. Sin embargo, el grado de transformación del almidón en productos extrudidos se puede controlar variando algunos parámetros de operación, tales como la humedad, la temperatura y la velocidad del tornillo. La transformación del almidón también esta en función de la fuente botánica de obtención y del tipo de almidón (normal, ceroso, alto en amilosa) y los componentes presentes en la harina, como proteínas o fibras (Chanvrier *et al.*, 2007).

Al controlar el grado de transformación del almidón podemos generar un componente denominado almidón resistente. Este tipo de almidón es clasificado como fibra dietaria insoluble y se forma una vez que el almidón es calentado y posteriormente enfriado. Durante el enfriamiento hay una reasociación de algunos componentes del mismo, generando moléculas resistencia a la hidrólisis en el tracto digestivo, pero una vez que este alcanza el colón, es fermentado por las bacterias presentes en el mismo, dando como producto ácidos grasos volátiles (Siever y Pomeranz, 1989). Estudios de digestibilidad del almidón en productos extrudidos, han mostrado una disminución en el índice glicémico, lo cual representa una menor cantidad de azúcares disponibles en el producto y un incremento en la concentración de almidón resistente (Chanvrier *et al.*, 2007).

Otro de los componentes importantes en los alimentos son las proteínas, estas durante el proceso de extrusión son fragmentadas conllevando a una pérdida de la estructura cuaternaria, terciaria y secundaria de las mismas, lo cual impacta directamente sus propiedades fisicoquímicas, como la solubilidad. En proteínas de trigo sometidas a extrusión se han observado dos fenómenos: la fragmentación y la agregación (Li y Lee, 1996). La estructura cuaternaria de las proteínas de soya durante la extrusión se pierde. Debido a la humedad y a la temperatura, estas se abren o desdoblan, polimerizándose y reorientándose de forma tal que, los enlaces intermoleculares formados, le proporcionan al producto final una apariencia parecida a la carne. Enzimas como las ureasas que reducen la vida de anaquel del producto, así como las lipooxigenasas que producen aromas indeseables debido a la oxidación del aceite de soya y los inhibidores de tripsina que reducen la digestibilidad de la proteína son destruidos. Este proceso mejora el valor biológico y modifica las propiedades funcionales del producto (Roquim-Alezandro *et al.*, 2011). El tratamiento de extrusión incrementa la digestibilidad de las proteínas y del almidón en la harina de

chícharos extrudida, comparado con la harina de chícharos sin extrudir. Ratas a las cuales se les dio de comer harina de chícharos extrudida, presentaron una mayor ganancia de peso respecto a las que se alimentaron con harina sin procesar, además se disminuyeron factores antinutricios como los inhibidores de proteasas y lectinas (Alonso *et al.*, 2000). Sin embargo, se ha reportado que altas temperaturas, bajos contenidos de humedad y un elevado contenido de azúcares libres disminuyó la disponibilidad de los aminoácidos esenciales presentes en las proteínas de leche y de huevo, sometidas al proceso de extrusión, esto fue atribuido principalmente a las reacciones de Maillard, las cuales se llevan a cabo en presencia de proteínas y azúcares reductores (Singh *et al.*, 2007). Mac Donald *et al.*, (2009), reportaron que la calidad de las proteínas de soya durante el proceso de extrusión no se pierde, esto se demostró alimentando ratas machos y hembras con proteína extrudida y proteína sin extrudir, encontrándose que con ambas dietas las ratas presentaban el mismo crecimiento y peso, con lo cual concluyeron que la calidad de la proteína no se pierde durante el proceso de extrusión.

Durante el uso de harinas con alto contenido en grasa (cerca del 16%), en el proceso de extrusión, normalmente hay una pérdida del aceite presente en la masa y subsecuentemente una percolación en el extrusor. La temperatura de extrusión, es el principal factor que afecta la pérdida de aceite, esto puede ser debido a la formación de complejos entre el almidón y los lípidos que podría favorecer la retención de la fracción lipídica (De Pilli *et al.*, 2005). Se ha sugerido que la pérdida de lípidos durante la extrusión, se debe a la volatilización de estos compuestos por efecto de la temperatura.

Sin embargo, la principal ventaja de la extrusión desde un punto de vista nutricional, es que para obtener productos con buenas características físicas no se debe de incorporar más del 10% de lípidos. Ya que hablando de cuestiones de proceso, los lípidos actúan como lubricantes durante el proceso, disminuyendo el daño en los demás componentes por efecto de los esfuerzos de corte aplicados en el tornillo, y generalmente los lípidos son incluidos para mejorar la apariencia y estructura de los extrudidos. El acomplejamiento de los lípidos podría ser favorable, ya que estos estarían menos disponibles para el ser humano, lo que disminuirá de forma considerable el valor calórico de los alimentos tipo botana. Generalmente los alimentos que se venden en el mercado contienen una cantidad elevada de lípidos, ya que cerca del 21% del alimento corresponde a estos compuestos (De Pilli *et al.*, 2005).

La extrusión también afecta a la fibra de las materias primas procesadas, trabajos de investigación han reportado una redistribución de la fibra dietaria insoluble y soluble después del procesamiento de extrusión, incrementándose la fibra dietaria soluble, esto como resultado de rompimientos de enlaces covalentes y no covalentes

entre los carbohidratos y las proteínas asociadas con la fibra, dando origen a pequeños fragmentos moleculares que podrían ser más solubles (Larrea *et al.*, 2005; Sobota *et al.*, 2010). El beneficio de un incremento en la fracción soluble de las fibras se debe principalmente a que el consumo de alimentos ricos en fibra ha sido asociado con una disminución en el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas como cáncer de colon, aterosclerosis, diabetes, hipertensión y obesidad (McCleary y Prosky, 2001; Milo, 2004). Estudios basados en el efecto del consumo de fibra soluble han mostrado que esta, es un efectivo atenuante de la respuesta glicémica, así como en la disminución de los niveles de colesterol en sangre (Wood, 2007). Los β-glucanos presentes en diferentes productos obtenidos de avena (pasta, panquecitos, pan tostado, granola de avena), han mostrado disminuir los niveles de glucosa en sangre y colesterol (asociado con las proteínas de baja densidad) en personas con hipercolesterolemia. Estos beneficios están en función del peso molecular y de la concentración en la que se encuentren los β-glucanos en el producto, debido a que estos factores son los responsables para que se desarrolle una viscosidad adecuada (Regan *et al.*, 2009). Estudios realizados sobre el efecto de la extrusión y respuestas del ser humano han mostrado resultados positivos, los niveles de colesterol en suero e hígado disminuye en ratas alimentadas con trigo, avena o cebada extrudidos, comparadas con ratas alimentadas solo con granos, aunque las implicaciones fisiológicas de la ingesta de fibra modificada por extrusión aún no está clara (Wang y Klopfenstein, 1993). Además la extrusión incrementa la viscosidad de suspensiones de estos granos, pero no modifica la fibra dietaria total. Incrementos en la fibra dietaria soluble se han encontrado en cáscaras de papa, pero la capacidad para enlazar ácidos biliares está relacionada con la fracción insoluble según resultados *in vitro* (Camire *et al.*, 1993).

Actualmente se han desarrollado alimentos botana con materias primas que no son ampliamente utilizadas en el proceso de extrusión, tal es el caso de lo reportado por Altan *et al.* (2008a, b), quienes elaboraron botanas a partir de cebada y pulpa de tomate y a partir de cáscara de uva y cebada. Otros estudios referente a materias primas no convencionales utilizadas en el desarrollo de botanas las cuales se considera pueden tener un beneficio a la salud, son las desarrolladas por Zazueta-Morales *et al.* (2002) y Navarro-Cortez (2010) a partir de maíz azul. En el primer estudio se elaboraron botanas directamente expandidas por extrusión con la adición de hidróxido de calcio y en el segundo estudio se elaboraron pellets o botanas de tercera generación expandidas por microondas. En ambos casos se utilizó el maíz azul por su alto contenido en antocianinas, a las cuales se les han atribuido propiedades antioxidantes, sin embargo en estos estudios reportaron una pérdida de estos compuestos por efecto del proceso de extrusión.

Conclusiones

Los alimentos botana son productos presentes en la dieta de los mexicanos con un elevado consumo, sin embargo presentan inconvenientes como poseer elevados contenidos de grasa, sal y azúcares, que a su vez tienen un efecto negativo en la salud del consumidor, por lo cual es necesario implementar nuevas materias primas en su elaboración, además de utilizar tecnologías novedosas como lo es la extrusión, que es un proceso versátil, el cual tiene características benéficas para la nutrición humana, debido a un incremento en la biodisponibilidad de nutrientes e inactivación de factores antinutricionales. Además las transformaciones ocurridas a la materia prima dentro del proceso de extrusión pueden ser controladas por combinaciones de temperatura, humedad y velocidad del tornillo. Sin embargo, se deben implementar nuevas técnicas para la protección de compuestos naturales termolábiles presentes en las materias primas, para conservar sus propiedades benéficas a la salud como los son antocianinas, carotenos y vitaminas entre otros.

Sobre los autores

Ricardo Omar Navarro Cortez,[1] Javier Castro Rosas,[2] Ernesto Aguilar Palazuelos,[3] Jesús Rodríguez Miranda,[1] Hiram Medrano Roldán,[1] Efrén Delgado Licon,[1] Otilio A. Acevedo Sandoval,[4] Carlos Alberto Gómez Aldapa.[5*] [1]Instituto Tecnológico de Durango, División de Estudios y Posgrado, Blvd. Felipe Pescador 1810 Ote., 34180 Durango, Durango, Mexico. [2]Área Académica de Química, Car. Pachuca-Tulancingo Km 4.5. ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras. C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. [3]Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Boulevard Américas, CP 82000, Culiacán, Sinaloa, México. [4]Instituto de Ciencias Agropecuarias, Rancho Universitario. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Av. Universidad Km. 1. Ex Hacienda Aquetzalpa, Apartado Postal núm. 32, Tulancingo, Hgo. México. [5*]Autor de correspondencia, Área Académica de Química, Car. Pachuca-Tulancingo Km 4.5. ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras. C.P. 42184, Mineral de la Reforma, Hgo, México, correo electrónico cgomeza@uaeh.edu.mx; gomezaldapa@gmail.com

Referencias

Alonso, R., G. Grant, P. Dewey and F. Marzo (2000), "Nutritional assessment *in vitro* and *in vivo* of Raw and Extruded Peas (Pisumsativum L.)", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, pp. 2286-2290.

Altan, A., K. L. McCarthy and M. Maskan (2008a), "Evaluation of snack foods from barley–tomato pomace blends by extrusion processing", *Journal of Food Engineering*, 84, pp. 231-242.

Altan, A., K. L. McCarthy and M. Maskan (2008b), "Twin-screw extrusion of barley grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions", *Journal of Food Engineering*, 89, pp. 24-32.

Bayol, S.A., S. J. Farrington and N. C. Stickland (2007), "A maternal "junk food" diet in pregnancy and lactation promotes an exacerbated taste for "junk food" and greater propensity for obesity in rat offspring", *British Journal of Nutrition*, 98, pp. 843-85.

Camire, M.E., A. Camire, and K. Krumhar (1990), "Chemical and nutritional changes in foods during extrusion", *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 29, pp. 35-57.

Camire, M. E., J. Zhao, D. Violette (1993), "In vitro bile acid binding by extruded potato peels", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 41, pp. 2391-2394.

Chanvrier, H., I. A. Appelqvist, A. R. Bird, E. Gilbert, A. Htoon, Z. Li, P. J. Lillford, A. Lopez-Rubio, M. K. Morell and D. L. Topping (2007), "Processing of novel elevated amylose wheat's: Functional properties and starch digestibility of extruded products", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, pp. 10248-10257.

Canacintra (Internet) (2008), México, Cd. de México, Cámara Nacional de la Industria y la Transformación, disponible en http://canacintra.gob.mx; consultado en abril del 2012.

Cheftel, J. C. (1989), "Extrusion cooking and food safety" en C. Mercier, P. Linko, and J. M. Harper (eds), *Extrusion cooking*, Minnesota, St. Paul, USA, p. 435-64.

Cornwell, T. B. and A.R. McAlister (2011), "Alternative thinking about starting points of obesity: Development of child taste preferences", *Appetite*, 56, pp. 428-439.

Gibbons A. (2011), *Mexico Food processing sector report 2010*, USDA, MX0323.

Harper, J. M. (1989), "Food extruders and their applications" en C. Mercier, P. Linko, and J. M. Harper (eds), *Extrusion cooking*, Minnesota, St. Paul, pp. 1-15.

INEGI (internet) (2009), México, DF, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, disponible en http://inegi.gob.mx; consultado en abril del 2012.

Institute of Medicine (2006), *Progress in preventing childhood obesity: How do wemeasure up?* Washington, DC, National Academies Press.

De Pilli, T., B.F. Carbone, A. Derossi, A. G. Fiore and C. Severini (2005), "Effects of operating conditions on oil loss and structure of almond snacks", *International Journal of Food Science and Technology*, 43, pp. 430-439.

Larrea, M.A., Y. K. Chang, F. Martinez-Bustos (2005), "Effect of some operational extrusion parameters on the constituents of orange pulp", *Journal of Food Chemistry*, 89, pp. 301-8.

Latin American Markets (2008), "México industria de botanas (Internet)", Milenio, México, DF, 2008-2010, disponible en http://latinamerican markets.com/mexico---industria-de-botanas; consultado en abril 2012.

Li, M., and T. C. Lee (1996), "Effect of extrusion temperature on solubility and molecular weight distribution of wheat flour proteins", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, pp. 763-768.

MacDonald, R.S., J. Pryzbyszewki and F. H. Hsieh (2009), "Soy protein isolate extruded with high moisture retains high nutritional quality", *Journal of Agriculture and FoodChemistry*, 57, pp. 3350-3355.

McCleary, B.v., and L. Prosky (2001), *Advanced dietary fibre technology*, Blackwell Science, Great Britany, pp. 168-185.

Milo, L. (2004), "Nutraceuticals and functional foods", *Food Technology*, 58, pp. 71-75.

Navarro-Cortez, R. O. (2010), "Caracterización Fisicoquímica y Estructural de Botanas de Tercera Generación Elaboradas a Partir de Harina de Maíz (*Zea mays* L.) Azul Utilizando la Tecnología de Extrusión", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Sinaloa, Sinaloa, México.

Özer, E.A., S. Ibanoglu, P. Ainsworth and C. Yagmur (2004), "C. Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology", *European Food Research and Technology*, 218, pp. 474-479.

Redruello, F. (2008), *Snacking Around the World*, Snack World 1, pp. 36-38.

Roquim-Alczandro, M., D. Granato, F. M. Lajolo and M. I. Genovese (2011), "Nutritional Aspects of second generation soy foods", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 59:5490-5497.

Ranhotra, G.S. and J. L. Vetter (1991), "Foods considered for nutrient addition: Snacks and confectioneries", J. C., Bauernfeind and P. A. Lachance (eds), *Ch. 11 in Nutrient Addition to Food*, Food & Nutrition Press, Inc., Trumbull, CT. pp. 319-345.

Regand, A., M. Tosh, S, Wolever and P. J. Wood (2009), "Physicochemical properties of [illegible]-glucan in differently processed oat food influence glycemic response", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57, pp. 8831-8838.

Siever, D., and Y. Pomeranz (1989), "Enzyme resistant starch. I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical and microscopic methods", *Cereal Chemistry*, 66, pp. 342-347.

Singh, S., L. Wakeling and S. Gamlath (2007), "Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 55, pp. 8779-8786.

Sobota, A., E. Sykut-Domanska and Z. Rzedzicki (2010), "Effect of extrusion cooking process on the chemical composition of corn wheat extrudates with particular emphasis on dietary fibre fractions", *Polish Journal of Food and Nutrition Science*, 60, pp. 251-259.

Thakur, S., and D. C. Saxena (2000), "Formulation of extruded snack food (gum based cereal–pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology", *LWT-Food Science and Technology*, 33, pp. 354-361.

Wang, W.M., and C.F. Klopfenstein (1993), "Effect of twin-screw extrusion on the nutritional quality of wheat, barley, and oats", *Cereal Chemistry*, 70, pp. 712-715

Wood, P. J. (2007), "Cereal beta-glucans in diet and health", *Journal of Cereal Science*, 46, pp. 230-238.

Zazueta-Morales, J.J., F. Martínez-Bustos, N. Jacobo-Valenzuela, C. Ordorica-Falomir, and O. Paredes-López (2002), "Effects of calcium hydroxide and screw speed on physicochemical characteristics of extruded blue maize", *Journal of Food Science*, 67, pp. 3350-3358.

Zhu, S., M. N. Riaz and E. W. Lusas (1996), "Effect of different extrusion temperatures and moisture content on lipoxygenase inactivation and protein solubility in soybeans", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 44, pp. 3315-3318.

Potencial nutricional de la semilla de calabaza (*Cucurbita pepo*)

Betsabé Hernández Santos, Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Alberto J. Gordillo Martínez, Javier Castro Rosas, Carlos Alberto Gómez Aldapa, Erasmo Herman y Lara, Jesús Rodríguez Miranda

Resumen

Actualmente los desechos agroindustriales se están convirtiendo en un problema difícil de solucionar y cada día surge la necesidad de desarrollar el potencial alimentario e industrial con subproductos de los desechos y de productos agrícolas poco utilizados para el consumo humano. La utilización de estos desechos contribuiría a maximizar los recursos y el resultado sería la producción de nuevos productos alimenticios. Las semillas de calabaza que se colectan en grandes cantidades como residuos después del retiro de la pulpa y cáscara, las cuales han demostrado tener un alto valor nutritivo, contienen aproximadamente 50 g/100 g de aceite y proteínas de 33 g/100 g, además de presentar actividades farmacológicas tales como antidiabética, antifúngicos, antinflamatoria y efectos antioxidantes. La mayor parte del aceite se compone de ácidos grasos insaturados (78%), los principales ácidos grasos que posee son: linoleico (38.42%), oleico (34.36%), palmítico (17.88%) y esteárico (9.36%). Al desengrasar las semillas se obtienen concentrados proteicos (64.13 g/100 g), con una mejor capacidad de absorción de agua (3 g de H_2O/g de muestra), capacidad de solubilidad en agua (8.75%), capacidad de absorción de aceite (2.73 g aceite/g muestra), capacidad espumante (54.01%), capacidad de formación de espuma (51.92%) y capacidad de gelificación (12%, p/v). Los resultados muestran que el desengrasado de las semillas de calabaza es una alternativa para

la industria alimentaria, debido a su elevado contenido de proteínas (alto contenido de aminoácidos esenciales), ya que puede ser utilizada en formulaciones de harinas compuestas o como ingrediente principal, en la formulación de productos de panadería y pastelería e incluso representa un buen aditivo natural en la formulación de nuevos productos.

Palabras claves: propiedades funcionales, ácidos grasos insaturados, *Cucurbita pepo*.

Introducción

En todo el mundo se investigan y caracterizan fuentes no convencionales de proteína de origen vegetal que incrementen el valor nutricional de los alimentos sin elevar su costo. En los últimos años, la semilla de calabaza (*C. pepo*) ha recibido considerable atención debido a su alto contenido de lípidos y proteínas, así como por sus propiedades farmacológicas, tales como antidiabética, antifúngica, antiinflamatoria, antioxidantes (Caili *et al.*, 2006; Nkosi *et al.*, 2006) y su bajo costo, siendo un cultivo ampliamente distribuido en el mundo (Atuonwu y Akobundu, 2010). Los productores más importantes de calabaza concentraron el 63.8% de lo generado entre los años 2003 y 2008: China aportó el 28.7% (5.9 mil ton/año); India 16.9% (3.5 mil ton/año); Rusia 5.1% (1.1 mil ton/año); Estados Unidos 3.8% (793 mil ton/año), Egipto 3.4% (708 mil ton/año), Ucrania 3.3% (686 mil ton/año) y México 2.5% (522.6 mil ton/año) (FAO, 2011). El contenido de proteína no solo es importante por el valor nutricional, sino también porque actúa como sustituyente, ya que estas poseen propiedades funcionales que van a determinar el uso de la materia prima en una formulación (Sgarbieri, 1998). Se ha reportado que la funcionalidad de las proteínas de origen vegetal depende de las características químicas inherentes a la semilla (Mattil, 1973). Las propiedades funcionales son resultado de las propiedades fisicoquímicas de las proteínas, que influyen de modo específico sobre su comportamiento. Además, el método de procesamiento de los alimentos puede causar la desnaturalización de las proteínas, alterando sus propiedades fisicoquímicas y por ende sus propiedades funcionales, como su capacidad de: hidratación, formación de espuma, emulsificación, gelificación y otras características que generalmente han sido asociadas a las proteínas y otros componentes presentes en el alimento. La funcionalidad está asociada al tipo de procesamiento y almacenamiento previo al que se someta la materia prima (Ogundele y Aladesanmi, 2010), así como a las propiedades fisicoquímicas y estructurales de los materiales (Gómez-Aldapa *et al.*, 2009). Este capítulo se refiere a la calidad nutricional de la semilla de calabaza y algunas propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de la harina desgrasada. Estos

datos ayudarán en la identificación de su uso potencial como ingrediente funcional en la industria alimentaria.

Composición química

La composición química de la harina de: semilla de calabaza entera (HSC) y la harina de semilla de calabaza desengrasada (HSD) con n-hexano (Rodríguez *et al.*, 2006), mostró diferencia significativa ($P< 0.05$) en todos los parámetros estudiados (cuadro 1). El contenido de proteína y de grasa fue más alto en HSD. En esta última, el contenido de proteína aumentó de 35.45 a 64.13 g/100 g, reduciéndose los lípidos de 49.14 a 7.01 g/100 g en HSD, presentando mayor contenido de cenizas y carbohidratos (9.13 y 18.14 g/100g) que la HSC (5.27 y 7.85 g/100 g). El contenido de fibra cruda disminuyó de 2.30 a 1.59 g/100 g en la HSD.

Cuadro 1. Composición química de harina de semilla de calabaza (HSC) y harina de semilla de calabaza desengrasada (HSD)

Componente (g/100 g)	HSC	HSD
Proteínas (N *x* 6.25)	35.45 ± 4.30^a	64.13 ± 4.57^b
Lípidos	49.14 ± 0.26^a	7.01 ± 0.68^b
Fibra cruda	2.30 ± 0.08^a	1.59 ± 0.16^b
Cenizas	5.27 ± 0.09^a	9.13 ± 0.08^b
Carbohidratos[1]	7.85 ± 1.02^a	18.14 ± 2.00^b

Fuente: Rodriguez-Miranda *et al.* (2012). [a] Media ± desviación estándar. Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ($P<0.05$). Datos reportados en base seca (bs). [1]Calculado por diferencia

Este efecto del desengrasado también fue observado por otros autores (Egbekun y Ehieze, 1997; Alobo *et al.*, 2009). Sin embargo, el contenido de proteínas y grasas encontrado en HSC se encuentra por arriba de lo reportado para otras variedades como *C. pepo* y *C. moschata* (26.5, 24 y 37, 43 g/100 g de proteínas y lípidos, respectivamente) (Al-Khalifa, 1996), y por lo reportado por Younis *et al.*, (2000), de 28 y 32 g/100 g de proteínas y 23.9 y 35 g/100 g de contenido de lípidos en semillas de *C. pepo L.* de origen Africano y un contenido de lípidos (51 g/100 g) menor al reportado por El-Adawy *et al.*, (2001), en semillas de calabaza (*C. pepo*) de origen Egipcio. El contenido de proteínas encontrado en HSD es comparable con el de otras fuentes

proteicas de origen vegetal como frijol (*Pentaclethra macrophylla*) 34.1 g/100 g, aislados de frijol común (*P. vulgaris* L.), 43 y 50 g/100 g soya (*G. max*), 50 g/100 g (Alobo *et al.*, 2009). El contenido de cenizas estuvo en el intervalo reportado en la literatura (Younis *et al.*, 2000; El-Adawy *et al.*, 2001). El alto contenido de proteína de HSD sugiere que este podría ser de amplia utilidad en la formulación de nuevos productos alimenticios para incrementar su valor nutrimental.

Cuadro 2. Composición de mineral de harina de semillas de sandía (HSS), harina de semillas de calabaza (HSC) y harina de semillas de pimentón (HSP)

Elemento (mg/100 g de harina base seca)	HSS	HSC	HSP
Cobre (Cu)	2.1 ± 0.15^{b}	1.7 ± 0.13^{c}	3.7 ± 0.15^{a}
Zinc(Zn)	10.6 ± 0.34^{a}	8.2 ± 0.31^{b}	6.7 ± 0.25^{c}
Hierro (Fe)	12.1 ± 0.44^{b}	10.9 ± 0.43^{c}	14.6 ± 0.46^{a}
Manganeso (Mn)	9.9 ± 2.24^{a}	8.9 ± 0.28^{b}	7.2 ± 0.22^{c}
Magnesio (Mg)	542 ± 6.70^{a}	483 ± 5.65^{b}	396 ± 5.17^{a}
Sodio (Na)	33 ± 1.49^{b}	38 ± 1.80^{a}	37 ± 1.38^{a}
Calcio (Ca)	150 ± 3.15^{b}	130 ± 2.57^{c}	163 ± 4.26^{a}
Potasio (K)	1176 ± 10.42^{b}	982 ± 8.84^{c}	1214 ± 12.25^{a}
Fosforo (P)	1279 ± 9.59^{a}	1090 ± 9.60^{b}	989 ± 765^{c}

Fuente: El-Adawy y Taha (2001) (a) Media ± desviación estándar. Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ($P< 0.05$).

El contenido de minerales varía entre semillas de acuerdo a datos reportados por El-Adawy y Taha (2001), en un estudio realizado en HSC, semillas de sandía (HSS) y en semillas de pimentón (HSP) (cuadro 2). La HSP presentó un contenido significativamente ($P< 0.05$) mayor de K, Ca, Cu y Fe que la HSC y HSS, mientras que la HSS presentó un contenido significativamente ($P< 0.05$) mayor de P, Mg y Zn. Sin embargo, todas las harinas presentaron cantidades considerables de minerales, con una baja cantidad de Cu. Todas las harinas son una buena fuente de P, K, Mg, Mn y Ca. En general, estos resultados se encuentran dentro del intervalo reportado por Lazos (1986) para harinas de semillas de calabaza y de sandía. Sin embargo, no se encontraron datos en la literatura en relación con el contenido mineral de la harina de semilla de pimentón. Debido a que algunas harinas de trigo en la industria de la panificación son deficientes en algunos elementos, en particular Ca y Fe (El-Adawy y

Khalil 1994), la fortificación de las harinas de trigo con harina de semillas de pimentón, calabaza y sandía puede mejorar sus propiedades nutricionales.

Composición de aminoácidos y valor nutricional

El valor biológico de una proteína depende de la composición de aminoácidos y el balance entre ellos, el cual alcanza su máximo valor cuando este es el necesario para satisfacer las demandas de nitrógeno para crecimiento, síntesis y reparación del tejido.

Cuadro 3. Perfil de aminoácidos de la harina de semilla de calabaza (HSC)

Aminoácido	*Composición**	*Aminoácido*	*Composición**
Isolcucina	2.98	Triptófano*	0.99
Leucina	5.71	Valina	4.50
Lisina	4.30	Histidina	2.33
Cistina*	0.79	Arginina	4.85
Metionina*	1.43	Ácido aspártico	8.91
Total de aminoácidos sulfurados	2.22	Ácido glutámico	9.50
Tirosina	3.06	Serina	2.19
Fenilalanina	3.47	Prolina	2.12
Total de aminoácidos aromáticos	6.53	Glicina	3.80
Treonina	2.11	Alanina	4.76
		E/T (%)	43.27

Fuente: Atuonwu y Akobundu, 2010. * = Aminoácidos limitantes. E/T= Total de aminoácidos limitantes. *g/100 g proteína

Adicionalmente, el valor biológico está condicionado por las diferentes velocidades de recambio de aminoácidos en los distintos tejidos, y por consiguiente no es una constante, sino que es influido por la especie, la edad y el estado fisiológico del individuo (Suárez-López *et al.*, 2006). En estudios realizados por Atuonwu y Akobundu (2010), se señala que HSC (cuadro 3) presentó un menor contenido de aminoácidos (AA) en comparación con la harina de garbanzo, que osciló entre 1.6 a 19.5 g/100 g de proteína (El-Adawy *et al.*, 2001). La cistina y el triptófano presentaron los menores valores de 0.79 y 0.99 g/100 g de proteína, respectivamente. La relación del porcentaje de aminoácidos esenciales totales (E/T %) de la HSC (43.27%), fue superior al 36% valor que se considera adecuado para una proteína ideal (FAO/OMS, 1990). La

calidad nutricional de la proteína de HSC se presenta en la cuadro 4. Los tres aminoácidos limitantes son: treonina, lisina y leucina, siendo esto similar a otras leguminosas (Salthe *et al.*, 1982). La digestibilidad *in vitro* de la proteína de la harina fue alta y puede ser atribuida a su bajo contenido de grasa y el bajo contenido de inhibidores de proteasas, que normalmente impide la acción de enzimas digestivas cuando están presentes en grandes cantidades (Sánchez-Vioque *et al.*, 1999). También podría ser atribuido al bajo contenido de taninos (cuadro 5). Los taninos pueden causar una reducción en la digestibilidad de la proteína (Barroga *et al.*, 1985).

Cuadro 4. Calidad nutricional de la harina de semilla de calabaza (HSC)

Muestra	Índice químico (%)	Aminoácidos limitantes			IAAE (%)	Digestibilidad *in vitro* de la proteína (%)	PER
		Primero	Segundo	Tercero			
HSC	62.0	Treonina	Lisina	Leucina	57.31	77.91	1.80

Fuente: Atuonwu y Akobundu (2010). IAAE = Índice de aminoácidos esenciales, PER = Eficiencia proteica.

Factores antinutricionales

Los factores antinutricios son sustancias naturales generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa ante el ataque de microrganismos, insectos y pájaros, o en algunos casos, productos del metabolismo de plantas bajo estrés. Estos compuestos presentes en la dieta ejercen efectos contrarios a su óptimo aprovechamiento, impidiendo la digestión, la absorción y la utilización de nutrientes. Su naturaleza, mecanismos de acción y sus efectos son muy variados y tienen una amplia distribución en la naturaleza (Savón *et al.*, 2005). Un estudio realizado por Atuonwu y Akobundu (2010), reporta que el contenido de ácido cianhídrico (HCN) fue de 4.08 mg. (cuadro 5), el cual está por debajo del nivel de seguridad para la intoxicación por cianuro en humanos. El contenido de estaquiosa y rafinosa fueron altos en comparación con los reportados por Udensi *et al.*, (2008), con valores más bajos de estaquiosa (1.29%) y rafinosa (0.32%) en *Mucuna flagellipes*. La rafinosa y la estaquiosa han sido identificadas como inductores de flatulencia y cuando se ingieren causan acumulación de gas, malestar, diarrea, dolor y calambres (Liew y Buckle, 1990).

Cuadro 5. Factores antinutricionales de la harina de semilla de calabaza (HSC)

Factor antinutricio	*Contenido*
Taninos (%)	0.69
Saponinas (%)	0.56
Ácido cianhídrico (mg/100 g)	4.08
Inhibidores de tripsina (TIU/g)	2.07
Fitasa (%)	0.44
Estaquiosa (%)	3.00
Rafinosa (%)	0.80

Fuente: Atuonwu y Akobundu (2010).

Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales son cualquier propiedad fisicoquímica que afecta el comportamiento y las características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto. Estas propiedades dependen en gran parte de las interacciones de algunos componentes (por ejemplo, carbohidratos, polisacáridos y proteínas) con los otros constituyentes del alimento.

Índice de absorción (IAA) y solubilidad en agua (ISA)

El IAA, representa la cantidad de material que forma un gel. En el cuadro 6 se presentan los valores de IAA para HSC y HSD, encontrándose diferencias significativas ($P< 0.05$) entre estos. El mayor valor de IAA lo presentó HSD (3 g de H_2O/g de muestra). La capacidad para adsorber agua está relacionada con la presencia de proteínas en los alimentos y otros factores como el tamaño de partícula y el contenido de almidón (Flores-Farias *et al.*, 2000) y presencia de fibra (Nelson, 2001). Dev y Quensik (1988), informaron que las subunidades de las proteínas tienen más sitios de retención de agua (aumento del número de grupos hidrofílicos que son los sitios primarios de retención de agua de las proteínas). Así, la IAA más alta de HSD podría deberse a la disociación en subunidades de las proteínas de la harina durante el desengrasado y al aumento del contenido de proteínas por eliminación de la grasa. El valor obtenido de IAA de HSD supera el de algunas harinas de semillas de: arroz,

avena, sandía, calabaza, paprica, haba y soya (Nelson, 2001; El-Adawy *et al.*, 2001). Así como harinas desengrasadas de ajonjolí y coroba (Belén *et al.*, 2004). La capacidad para absorber agua es considerada una propiedad funcional de las proteínas, fundamental en alimentos viscosos, salsas y productos horneados, productos donde se requiere una buena interacción proteína-agua (Granito *et al.*, 2004). El índice de solubilidad en agua (ISA) determina la cantidad de materia disuelta en el agua, utilizándose como indicador de la degradación de los componentes (Van den Einde *et al.*, 2003). Los valores de ISA de HSC y HSD se muestran en el cuadro 6, la HSD mostró mayor ($P< 0.05$) ISA (8.75%) que HSC. Dicho incremento está directamente relacionado con los cambios de polaridad en el interior del material al ser removidos los lípidos con n-hexano, los cuales están asociados a la mayoría de las proteínas, ocasionando posiblemente cambios en la estructura terciaria o cuaternaria de las mismas. La solubilidad de una proteína es la manifestación termodinámica del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y solvente-proteína, que a su vez depende de la hidrofobicidad y naturaleza iónica de las mismas (Hayase *et al.*, 1973).

Capacidad de absorción de aceite (CAA)

La OAC, representa la cantidad de material que absorbe aceite. La CAA es importante en tecnología de alimentos, en productos congelados precocidos listos para freír, en galletas y en algunos platos a base de cereales, además puede mejorar el sabor y textura de los alimentos (Ramírez y Pacheco, 2009). En los valores de CAA (cuadro 6) de HSC y HSD se encontraron diferencias significativas ($P< 0.05$), encontrándose el menor valor en HSC (1.27 g aceite/g muestra), mientras que en HSD fue de 2.73 g aceite/g muestra. Esto se debe probablemente a la exposición de un mayor número de sitios no polares de las proteínas presentes en la muestra desgrasada, que se pueden enlazar a las unidades de hidrocarburos, lo que resulta en mayores valores de CAA. El valor de HSD fue inferior a lo reportado (8.44 g aceite/g muestra), para una mezcla de harinas desgrasadas de semillas de calabaza (*C. pepo* y *C. máxima*) (Lazos, 1986). Belén *et al.* (2004), reportaron valores menores (1.09 g de aceite/g de harina) que los encontrados en este estudio para harina de coroba (*Jessenia polycarpa Karst*) desengrasada.

Cuadro 6. Propiedades funcionales de harina de semilla de calabaza (HSC) y harina de semilla de calabaza desengrasada (HSD) (25 °C)

Propiedad funcional	HSC	HSD
IAA (g H_2O/g muestra)	1.94±0.02[a]	3.00±0.03[b]
ISA (%)	8.10±0.16[a]	8.75±0.12[b]
OAC (g aceite/g muestra)	1.27±0.02[a]	2.73±0.03[b]
CE (%)	54.01±0.98[a]	61.71±1.59[b]
CES (%)	42.31±5.439[a]	51.92±2.72[a]

Fuente: Rodríguez-Miranda *et al.* (2012). Media ± desviación estándar. Letras diferentes entre columnas indican diferencia significativa ($P< 0.05$). IAA= índice de absorción de agua. ISA= índice de solubilidad en agua. OAC= capacidad de absorción de aceite. CE= capacidad emulsificante. CF= capacidad espumante.

Capacidad emulsificante (CE)

La CE es una dispersión coloidal de un líquido dentro de otro, el cual es normalmente inmiscible. Los valores de CE de HSD y HSC se muestran en el cuadro 6, encontrándose diferencias significativas ($P< 0.05$), con valores de 54.01 y 61.71 por ciento. El valor mayor correspondió a HD. Esto quizás pueda ser debido a un incremento de los grupos hidrofóbicos de las proteínas presentes después del desengrasado, los cuales aumentan la adsorción superficial formando una película interfacial cohesiva entre el aceite y el agua (Mahmoud, 1994). Estas diferencias pueden deberse a que la propiedad emulsionante de las proteínas en las harinas dependen de una disminución considerable de la energía interfacial debido a la absorción de proteínas en la interface agua-aceite y la energía electrostática, estructural y mecánica, causando una barrera por la interface que se opone al proceso de desestabilización. En consecuencia, reducen las colisiones entre gotas de la fase dispersa, lo que retrasa la separación de fases (Makri *et al.*, 2005). La capacidad de formar emulsiones depende del balance de los grupos hidrofílicos y lipofílicos presentes en los componentes de la fibra (Khalid *et al.*, 2003) y de las proteínas. El aumento de CE en HSD adquiere una importancia en la preparación de bebidas como sustitutos de leche y análogos de carne. Los valores de CE obtenidos son superiores a los reportados en harinas de leguminosas (Adeleke y Odedeji, 2010), por lo cual se recomienda su uso en productos donde se requiera la formación de una buena emulsión, tales como salsas, cremas, análogos de grasa, entre otros.

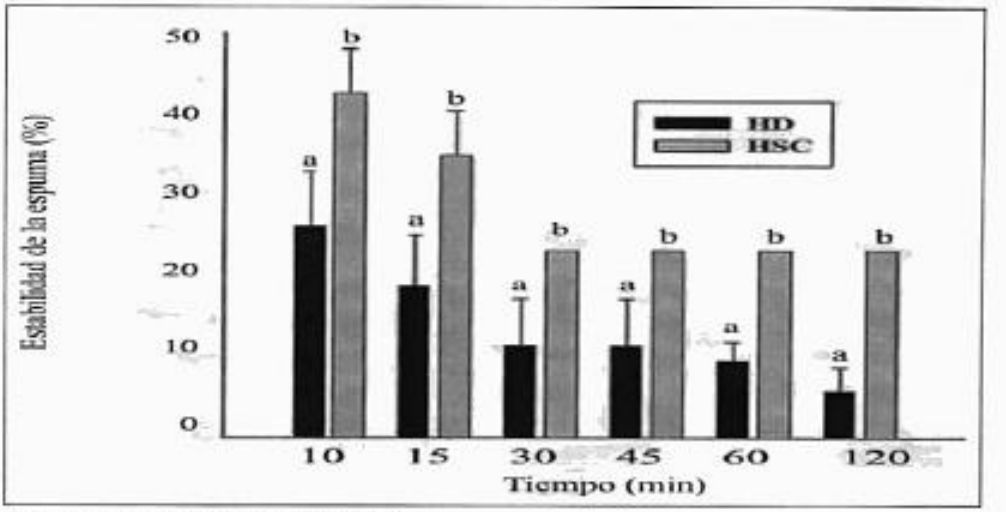
Capacidad espumante (CES)

La CES es una propiedad que depende de la cantidad de proteína presente, de su estructura, balance hidrofílico-lipofílico y de su habilidad para desnaturalizarse, precipitar y disminuir la tensión superficial en la interface aire-liquido de la espuma (Dickinson y McClements, 1996), por tal motivo HSD (51.92%) presenta una mayor CES (cuadro 6) que HSC (42.31%), encontrándose diferencias significativas entre ellas ($P< 0.05$). Esto puede ser debido a una mayor concentración de proteínas en HSD. Altos valores de CES se han correlacionado positivamente con la cantidad de proteína y su solubilidad (Aluko y Yada, 1993) y a los hidratos de carbono complejos (almidón y celulosa), debido a su naturaleza hidrofílica, ya que estos contribuyen a aumentar la viscosidad en la superficie de la solución coloidal (Deshpande *et al.*, 1982).

Estabilidad de la espuma (EE)

Cuando el volumen de la espuma permanece constante a lo largo del tiempo, se dice que esta es estable en función de tiempo. En la figura 1 se muestra la EE de las muestras. El volumen de la espuma se redujo al 50% en 15 min en ambas harinas, encontrándose diferencias significativas ($P< 0.05$) en todos los tiempos. Sin embargo, HSC mostró estabilidad desde los 30 hasta los 120 min, mientras que en HSD se seguía perdiendo volumen, esto puede deberse a que la estabilidad de la espuma se relaciona con la cantidad de proteína nativa (Lin *et al.*, 1974). Giami (1993), demostró que la proteína nativa proporciona una mayor EE que la proteína desnaturalizada. La CE y su estabilidad dependen de dos conjuntos distintos de propiedades moleculares. Mientras que la CE se ve afectada por la velocidad de absorción, la flexibilidad y la hidrofobicidad, la EE depende de las propiedades reológicas de la película. Las proteínas presentes en los alimentos están constituidas por mezclas de especies moleculares; por ello, sus propiedades espumantes son determinadas por la interacción entre los grupos proteicos en la interfase (Fennema, 2000). Una espuma estable se produce cuando la tensión superficial disminuye y se aumenta la viscosidad en la superficie, formando una película resistente (superficie sólida).

Figura 1. Efecto del tiempo sobre la estabilidad de la espuma (EE) de la harina de semilla de calabaza (HSC) y harina de semilla de calabaza desengrasada (HD). Letras diferentes entre columnas a igual tiempo indican diferencias signif cativas (P< 0.05)



Fuente: Rodríguez-Miranda *et al.* (2012).

Capacidad de gelificación (CG)

La GC se define como la mínima concentración de material necesario para que se forme un gel, cuanto menor sea esta concentración, mayor será la CG de los ingredientes (Akintayo *et al.*, 2002). La menor concentración para la formación de gel se presentó en HSD, con el 12%, mientras que en HSC fue de 14% (peso/volumen). Esta variación en los valores obtenidos puede ser vinculada a la relación relativa de los diferentes componentes como proteínas, hidratos de carbono y lípidos, ya que después del desengrasado la concentración de proteínas aumentó. La concentración es importante en la formación y la firmeza del gel, donde una alta proporción de proteínas globulares contribuirá mejor a este proceso (Salthe *et al.*, 1982). La capacidad de las proteínas para formar geles y proporcionar una matriz estructural para la retención de agua, sabores, azúcares e ingredientes alimentarios es útil en el desarrollo de nuevos productos, proporcionando un valor agregado a la funcionalidad de las proteínas (Aremu, 2008).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Las temperaturas de gelatinización (T_o, T_p y T_f) y entalpía (ΔH) registrados en los análisis de DSC se relacionan con la cristalinidad del gránulo de almidón y los procesos de desnaturalización de las proteínas, los cuales son influenciados a su vez por la composición química. Como resultado, las diferentes fuentes de almidón y de proteínas de las plantas tienen diferentes temperaturas y entalpías de transición de fase. En la cuadro 7 se presentan las propiedades térmicas de HSC y HSD. HSC presentó la menor energía y menores temperaturas de transición de fase, los cuales fueron estadísticamente diferentes ($P< 0.01$) de los valores de HSD, observándose diferencias de dos grados centígrados aproximadamente en todas las temperaturas (T_o, T_p y T_f) y de aproximadamente 0.3 J/g en la energía de transición.

Cuadro 7. Propiedades térmicas de la harina de semilla de calabaza (HSC) y de la harina de semilla de calabaza desengrasada (HSD)

Muestra	T_o	T_p	T_f	ΔH (J/g)
HSC	77.87 ± 0.34^b	84.12 ± 0.14^b	90.95 ± 0.08^b	0.60 ± 0.042^b
HSD	80.04 ± 0.26^a	86.50 ± 0.29^a	93.20 ± 0.24^a	0.93 ± 0.056^a

Fuente: Rodríguez-Miranda *et al.* (2012). T_o = Temperatura de inicio de gelatinización, T_p = Temperatura pico de gelatinización, T_f = Temperatura final de gelatinización, ΔH= Entalpía de la transición de fase.

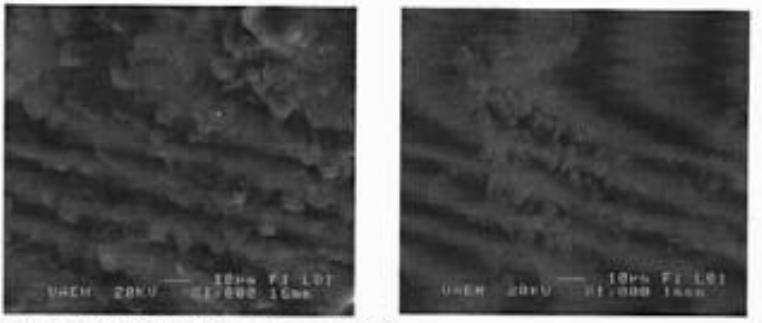
Las diferencias observadas están directamente relacionadas con el proceso de eliminación de los lípidos, donde estos podrían actuar directamente como un medio de transferencia de calor, disminuyendo por tal motivo las temperaturas y la energía de desnaturalización de las proteínas presentes en HSC, esto se debe a que los concentrados proteicos incrementan la temperatura de transición de algunos alimentos mejorando sus propiedades funcionales (Barbosa-Casanovas *et al.*, 2005).

Microscopía electrónica de barrido (SEM)

El análisis a través del SEM permite la observación y caracterización superficial y morfológica de los materiales. En la figura 3 se muestran las micrografías de HSC y HSD. En la micrografía 3A se puede observar una capa lipídica que recubre a los gránulos de almidón y proteínas presentes en la muestra de HSC, en la figura 3B este recubrimiento ya no es observado, lo que permite ver la estructura de las proteínas

y los gránulos de almidón en HSD. Las propiedades térmicas y la microestructura observados en HSC y HSD ayudan a tener un mejor entendimiento de las propiedades funcionales analizadas, dando una clara idea del efecto de los lípidos en las propiedades funcionales de la harina de semilla de calabaza.

Figura 2. Micrografías de barrido electrónico. B) HSC=harina de semilla de calabaza. B) HSD=harina de semilla de calabaza desengrasada



Fuente: Rodríguez-Miranda *et al* (2012).

Perfil de ácidos grasos

El estudio del perfil de ácidos grasos en las principales fuentes de lípidos de la dieta, es de gran importancia, ya que numerosas investigaciones epidemiológicas y experimentales han establecido una relación lineal entre el consumo de ácidos grasos saturados y una elevada concentración de colesterol en plasma durante el desarrollo de arteriosclerosis coronaria y la mortalidad por infarto (Ron, 1986). El contenido de ácidos grasos presente en el aceite de la semilla de calabaza (*C. pepo*) cultivadas en México, se determinó usando cromatografía de gases. Los resultados muestran que los principales ácidos grasos del aceite son: el linoleico (C18:2) seguido por el oleico (C18:1); el total de ácidos grasos insaturados es de 75.5%, mientras que el total de ácidos grasos saturados constituye el 24.5% (cuadro 8). El contenido de ácido linoleico fue de 43.1% y del ácido oleico fue de 32.4 por ciento. Al-Khalifa (1996), reporta valores similares (43% de ácido linoleico y 34% de ácido oleico) en *Cucurbita pepo* de arabia saudita, Tsaknis *et al.* (1997), también reportan valores similares (42% de ácido linoleico y 38% de ácido oleico) en *C. pepo* de origen griego. Sin embargo, se han reportado valores mayores al 50% de ácido linoleico por varios

autores; El-Adawy y Taha (2001), reportaron 55% en *C. pepo* de origen egipcio; Younis *et al.*, (2000), reportaron 50.3% en *C. pepo* de origen africano; Al-Khalifa (1996), reportó 53% en *C. máxima*; Alfawaz (2004), reportó 52% en *C. maxima*. Otros autores han reportado que el ácido oleico es el principal ácido graso (41-46%) seguido por el linoleico (33.4-34.3%) (El-Gharbawi, 1978), en el aceite de semilla de calabaza de Italia y Libia. Idouraine *et al.*, (1996), reportaron valores de 46.6-60.4% de ácido oleico en varias líneas de *C. pepo*, mientras que Zdunczyk *et al.* (1999), encontraron 50.4% de ácido oleico en semilla de calabaza. El principal ácido graso saturado es el palmítico (C16:0), con un 15.8%, que concuerda con lo reportado por otros autores (El-Adawy y Taha, 2001; Delaš, 2010).

Cuadro 8. Composición de ácidos grasos en el aceite de semilla de calabaza

Ácido graso (%)	*Aceite crudo*
Palmítico (C16:0)	15.8±0.11
Esteárico (C18:0)	8.7±0.22
Oleico (C18:1)	32.4±0.71
Linoleico (C18:2)	43.1±2.15
Total de ácidos grasos insaturados	75.5±2.86
Total de ácidos grasos saturados	24.5±0.33

Fuente: Hernández-Santos (2007). Media ± desviación estándar.

Actividades farmacológicas

La actividad farmacológica de un compuesto o de un alimento es el conocimiento de las acciones y las propiedades de manera que puedan ser prescritos y aplicados, con la máxima seguridad. Al aceite de semilla de calabaza se le han atribuido muchos beneficios de salud (Fu *et al.*, 2006). El beneficio más es la inhibición del crecimiento y la reducción del tamaño de la próstata (Tsai *et al.*, 2006). También hay evidencia de que puede retardar la progresión de la hipertensión, mitigar la hipercolesterolemia y artritis (Zuhair *et al.*, 2000). La vejiga y la reducción de la presión uretral se han relacionado con los componentes lipídicos de las semillas de calabaza (Zhang *et al.*, 1994), además se ha utilizado para aliviar la diabetes mediante la promoción de la actividad hipoglucémica (Fu *et al.*, 2006). En el aceite se ha encontrado que proporciona una fuente importante de vitamina E (tocoferol) en las dietas japonesas

(Imaeda *et al.*, 1999). Las dietas altas en semillas de calabaza se han asociado también con niveles más bajos de desarrollo de cáncer gástrico, mama, pulmón y colorectal (Huang *et al.*, 2004). También hay beneficios potenciales para la salud que pueden obtenerse de los distintos pigmentos de origen carotenoide encontrados en el aceite de semilla de calabaza, y los carotenoides de todas las fuentes de la fruta de calabaza, los que se han relacionado con la prevención del cáncer de próstata (Jian *et al.*, 2005). Las propiedades antioxidantes de los tocoferoles podrían desempeñar un papel significativo en los efectos terapéuticos del aceite de semilla de calabaza. Se encontró que el aceite de semilla de calabaza asada contiene altos niveles de α y β-tocoferol que el aceite de girasol tostado (Jakovljević *et al.*, 1995). Es una fuente natural de vitamina A y del llamado complejo vitamínico E, de importancia en el desarrollo del sistema nervioso fetal. Su contenido en coenzima Q es importante en la activación de macrófagos, aportando un efecto inmunoestimulante no específico. La vitamina E ejerce una acción protectora sobre hormonas, enzimas, vitaminas y lípidos de la destrucción oxidativa, habiéndose demostrado su rol en inhibir el desarrollo del adenoma prostático. La hiperplasia benigna prostática suele conllevar a nefropatías obstructivas, descompensaciones de la vejiga, retenciones urinarias agudas, infecciones bacterianas recurrentes del tracto urinario o cálculos en la vejiga (Vaughan, 2003).

Conclusiones

La harina de semilla de calabaza al ser desengrasada (HSD) aumentó su contenido de proteínas y carbohidratos, lo cual contribuyó a que sus propiedades funcionales se potencializaran. La HSD puede ser utilizada en formulaciones de harinas compuestas o como ingrediente principal en la formulación de productos de panadería y pastelería e incluso representar un buen aditivo natural en la formulación de nuevos productos, constituyendo una alternativa no solo para diversificar su uso en la elaboración de distintos alimentos, sino también por el aporte nutricional de su consumo, así como los beneficios de que el aceite proporciona para la salud.

Sobre los autores

Betsabé Hernández Santos,[a] Cecilia Eugenia Martínez Sánchez,[b] Alberto J. Gordillo Martínez,[c] Javier Castro Rosas,[c] Carlos Alberto Gómez Aldapa,[c] Erasmo Herman y Lara,[b] Jesús Rodríguez Miranda.[b] [a]Instituto Tecnológico de

Durango, Blvd. Felipe Pescador núm. 1810 Ote. C.P. 34180. Durango, Dgo., México, correo electrónico jesrodmir@ittux.edu.mx [b]Depto. Ing. Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Av. Dr. Víctor Bravo Ahuja S/N, Col. 5 de Mayo, C.P. 68350. Tuxtepec, Oax., México, correo electrónico cems@ittux.edu.mx. [c]Área Académica de Química, Carretera Pachuca-Tulancingo Km 4.5. ciudad del Conocimiento, Col. Carboneras. C.P. 42184. Mineral de la Reforma, Hgo., México, correo electrónico cgomeza@uaeh.edu.mx.

Referencias

Adeleke, R.O. y J. O. Odedeji (2010), "Functional properties of wheat and sweet potato flour blends", *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(6), pp. 535-538.

Akintayo, E. T., E. A. Adebayo y L .A. Arogundade (2002), "Chemical composition, physico-chemical and functional properties of akaa pulp and seed flours", *Food Chemistry*, 77, pp. 333-336.

Alfawaz, A. M. (2004), "Chemical composition and oil characteristics of pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed kernels", *Food Science and Agriculture. Res. Center, King Saud University*, 129, pp. 5-18.

Al-Khalifa, A. S. (1996), "Physicochemical characteristics, fatty acid composition and lipoxygenase activity of crude pumpkin and melon seed oils", *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 44, pp. 964-966.

Alobo, P.A., N. A. Blessing y A. I. Solomon (2009), "Physicochemical and functional properties of full fat and defatted cashew kernel flours", *International Journal of Food Science & Technology*. 44(3), pp. 581-585.

Aluko, R. E. y R. Y. Yada (1993), "Relationship of hydrophobicity and solubility with some functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolate", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62(4), pp. 331-335.

Aremu, M. O. (2008), "Some functional properties and rate change in foaming and fat emulsion stabilities of gourd luffa (*Luffa cylindrica*) seeds flour", *International Journal of Chemical Sciences*, 1(2), pp. 253-257.

Atuonwu, A. C. y E. N. T. Akobundu (2010), "Nutritional and Sensory Quality of Cookies Supplemented with Defatted Pumpkin (*Cucurbita pepo*) Seed Flour", *Pakistan Journal of Nutrition*, 9 (7), pp. 672-677.

Barbosa-Casanovas, G., E. Ortega-Rivas, P. Juliano y H. Yan (2005), *Food powders: physical properties, processing and functionality*, Kluwer Academic-Plenum Publisher, New York, p. 372.

Barroga, C. F., A. C. Laurena y M. L. Happich (1985), "Polyphenol in mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek) determination and removal", *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 33(5), pp. 1006-1009.

Belén, D. R., R. Alemán, F. J. Álvarez y M. J. Moreno Álvarez (2004), "Evaluación de algunas propiedades funcionales y reológicas de harinas de coroba (*Jessenia polycarpa Karst*)", *Revista Facultad de Agronomia*, 21, pp. 161-170.

Caili, F. U., S. H. Huan y L. I. Quanhong (2006), "A Review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin", *Plant Foods for Human Nutrition*, 61, pp. 70-77.

Delaš, I. (2010), "Zaboravljene vrijednosti-bu□ino ulje Forgotten Wealth-Pumpkin Seed Oil. Hrvatski □asopis za prehrambenu tehnologiju", *Biotehnologiju i nutricionizam*, 5 (1-2), pp. 38-42.

Deshpande, S., S. Santhe, D. Comforth y D. Salunkhe (1982), "Effects of dehulling on functional properties of dry bean (*Phaseolus vulgaris*. L.) flours", *Cereal Chemistry*, 59, pp. 396-401.

Dev, D. K. y E. Quensil (1988), "Preparation and functional properties of linseed protein products containing differing levels of vegetable protein products", *Journal of Food Science*, 40, pp. 805.

Dickinson, E. y D. J. McClements (1996), "Molecular basis of protein functionality" en E. Dickinson Dickinson, D. J. McClements (eds.), *Advances in Food Colloids*, Blackie. Londres, RU.

Egbekun, M. K. y M. U. Ehieze (1997), "Composition and functional properties of full fat and defatted beniseed (*Sesamum indicum* L.) flour", *Plant Foods for Human Nutrition*, 51, pp. 35-41.

El-Adawy T. A. y K. M. Taha (2001), "Characteristics and composition of Watermelon, Pumpkin, and Paprika Seed Oils and Flours", *Journal Agriculture Food Chemistry*, 49, pp. 1253-1259.

El-Adawy, T. A. y A. H. Khalil (1994), "Characteristics of roselle seeds as a new source of protein and lipid", *Journal Agriculture and Food Chemistry*, 42(9), pp. 1896-1900.

El-Adawy, T. A., E. H. Rahma, A. A. El-Bedawy y A. F. Gafar (2001), "Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates", *Journal of Food Chemistry*, 74(4), pp. 455-462.

El-Gharbawi, M. I. (1978), "The major chemical constituents and the amino acid make-up of protein in naked pumpkin seed cake (*Cucurbita pepo*) Lybian", *Journal Agriculture*, 7, pp. 53-58.

FAO/OMS, (1990), "Protein quality evaluation report of the joint FAO/WHO expert consultation on protein quality evaluation", *Food and Agriculture Organisation of the United Nations*, Rome Italy held in Bethesda, MD on dec. pp. 4-9.

Fennema, O. (2000), *Química de los Alimentos*, 2nd ed., Acribia, Zaragoza, España.

Flores-Farias, R., F. Martínez-Bustos, Y. Salinas-Moreno, Y. Kil-Chang, J. González-Hernández, y E. Rios (2000), "Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalized Mexican maize flours for tortillas", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), pp. 657-664.

Food and Agriculture Organization FAO (2011), "FAOSTAT Data base", Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fu, C., H. Shi y Q. Li (2006), "A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin", *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(2), pp. 73-80.

Giami, S. Y. (1993), "Effect of processing on the proximate composition and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour", *Food Chemistry*, 47(2), pp. 153-158.

Gómez-Aldapa, C. A., E. Hernández-Hernández, C. A. Avila-Orta, B. S. Hsiao, J. Castro-Rosas, A. J. Gordillo-Martínez and C. A. González-Ramírez (2009), "Influence of L-α-lisophosphatidylcholine on thermal and structural properties of corn starch", *CyTA-Journal of Food*, 7(1) pp. 37-43.

Granito, M., M. Guerra, A. Torres y J. Guinand (2004), "Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna sinensis*", *Interciencia*, 29(9), pp. 521-526.

Guzmán, O. F. (2005), "Valoración de las propiedades fisicoquímicas de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala", tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Hayase, F., H. Kato y M. Fujimaki (1973), "Rarnemizacion de amino acid residues in preotein during roasing", *AgriculturalBiology and Chemistry*, 37, pp. 191-192.

Hernández-Santos B. (2007), "Caracterización fisico-química del aceite de semilla de calabaza modificado enzimáticamente", tesis de Maestría en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. México.

Huang, X. E., K. Hirose, K. Wakai, K. Matsuo, H. Ito, J. Xiang, T. Takezaki y K. Tajima (2004), "Comparison of lifestyle risk factors by family history for gastric, breast, lung and colorectal cancer", *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 5 (4), pp. 419-427.

Idouraine, A., A. Kohlhepp, Edwin y C. W. Weber (1996), "Nutrient constituents from eight lines of naked seed squash (*Cucurbita pepo* L.)", *Journal Agriculture Food Chemistry*, 44(3), pp. 721-724.

Imaeda, N., Y. Tokudome, M. Ikeda, I. Kitagawa, N. Fujiwara (1999), "Tokudome, S. Foods contributing to absolute intake and variance in intake of selected vitamins, minerals and dietary fiber in middle-aged Japanese", *Journal of Nutrition Science and Vitaminology*, 45(5), pp. 519-532.

Jakovljević, L. J., Z. Basić, M. Slavić, M. Kiš (1995), "Quantification of vitamin E content in some oil plant seeds and corn products by HPLC technique. Current status and future trends in analytical food chemistry", *Proceedings of the 8th European Conference on Food Chemistry*, sept 18-20, Vienna, Austria, pp 395-397.

Jian, L., A. Lee, C. Binns, y C. J. Du (2005), "Do dietary lycopene and other carotenoids protect against prostate cancer?", *International Journal Cancer*, 113 (6), pp. 1010-1014.

Khalid, E., E. Babiker y E. El-Tiany (2003), "Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration", *Food Chemistry*, 82(3), pp. 361-366.

Lazos, E. (1986), "Nutritional, fatty acid and oil characteristics of pumpkin and melon seeds", *Journal Food Science*, 51(5), pp. 1382-1383.

Liew, C.C.v. y K. A. Buckle (1990), "Oligosaccharide Levels in Pigeonpea and Pigeonpea Tempe", *ASEAN Food Journal*, 5(2), pp. 79-81.

Lin, M.J.Y., E. S. Humbert y F. W. Sosulski (1974), "Certain functional properties of sunflower meal products", *Journal of Food Science*, 39(2), pp. 368-370.

Mahmoud, M. (1994), "Physicochemical and functional properties of protein hydrolysates in nutrition products", *Food Technology*, 48, pp. 89-95.

Makri, E., E. Papalamprou y G. Doxastakis (2005), "Study of functional properties of seed storage proteins from indigenous legume crops (lupin, pea, broad bean) in admixture with polysaccharides", *Food Hydrocolloids*, 19(3), pp. 583-594.

Mattil, K. F. (1973), "Considerations for choosing the right plant proteins", *Food Product Development*, 7, pp. 40-44.

Nelson, A. L. (2001), "Properties of high fiber ingredients", *Cereal Foods World*. 48(3), pp. 93-97.

Nkosi, C. Z., A. R. Opoku y S. E. Terblanche (2006), "Antioxidant effects of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo*) protein isolate in CCl-induced liver injury in 4 low-protein fed rats", *Phytotherapy Research*, 20(11), pp. 935-940.

Ogundele, J. O. y A. O. Aladesanmi (2010), "Proximate composition and some functional properties of three varieties of lagenaria siceraria melon seeds", *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(2), pp. 108-112.

Ramírez, A. y D. E. Pacheco (2009), "Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana", *Interciencia*, 34(4), pp. 293-298.

Rodríguez, J., B. Hernández, E. Herman, C. E. Martínez (2006), "Pumpkin Seed (*Cucurbita pepo*) Oil Extraction: Proximate Analysis and Fatty Acid Composition", Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries International Congress. Saltillo, Coahuila, Mexico, 16-18, october, pp. 423-427.

Rodríguez-Miranda, J., B. Hernández-Santos, E. Herman-Lara, M. A. Vivar-Vera, C.A. Gómez-Aldapa, R. Carmona-García y C. E. Martínez-Sánchez (2012), "Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds", *International Journal of Food Science and Technology*.

Ron, M. (1986), "Lipidos Marinos y arteriosclerosis", *Med. Intern.* 2(4), pp. 221-225.

Salthe, S., S. Desphnde y D. Salunkhe (1982), "Functional properties of winged bean (*Psphcarpus tetragonolobus*(L.) DC) proteins", *Journal of Food Science*, 47(2), pp. 503-509.

Sánchez-Vioque, R., A. Clemente, J. Vioque, J. Bautista y F. Millan (1999), "Protein Isolate from Chick Pea (*Cicer arietinum* L.): Chemical Composition, Functional Properties and Protein Characterization", *Journal of Food Chemistry*, 64(2), pp. 237-243.

Savón, L. O. Gutiérrez y F. Ojeda (2005), "Harinas de follajes tropicales. Una alternativa potencial para la alimentación de especies monogástricas", *Pastos y Forrajes*, 28, pp. 69-77.

Sgarbieri, V. (1998), "Propiedades funcionais de proteínas em alimentos", *Bol. SBCTA* 32, pp. 105-126.

Suárez-López, M.M., A. Kizlansky y L.B. López (2006), "Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el escore de aminoácidos corregido por digestibilidad", *Nutrición Hospitalaria*, 21(1), pp. 47-51.

Tsai, Y. S., Y. C. Tong, J. T. Cheng, C. H. Lee, F. S. Yang y H. Y. Lee (2006), "Pumpkin seed oil and phytosterol-F can block testosterone/prazosin-induced prostate growth in rats", *Urologia Internationalis*, 77(3), pp. 269-274.

Tsaknis, J., S. Lalas y E. Lazos (1997), "Characterization of crude and purified pumpkin seed oil", *Grasas y Aceites*, 48 (5), pp. 267-272.

Udensi, E.A., N.U. Arisa y M. Maduka (2008), "Effect of Processing methods on the levels of antinutritional factors in Mucuna flagellipes", *Nigerian Food Journal*, 26(2), pp. 53-59.

Van den Einde, R. M., A. J. Van der Goot y R. M. Boom (2003), "Understanding molecular weight reduction of starch during heating-shearing process", *Journal of Food Science*, 68(8), pp. 396-2904.

Vaughan, E.D. (2003), "Medical Management of Benign Prostatic Hyperplasia. Are Two Drugs Better Than One?", *New England Journal Medicine*, 349(25), pp. 2449-51.

Younis, Y. M. H., S. Ghirmayb y S.S. Al-Shihry (2000), "African *Cucurbita pepo* L.: properties of seed and variability in fatty acid composition of seed oil", *Phytochemistry*, 54(1), pp. 71-75.

Zdunczyk, Z., D. Minakowski, S. Frejnagel y M. Flis (1999), "Comparative study of the chemical composition and nutritional value of pumpkin seed cake, soybean meal and casein", *Nahrung*, 43(6), pp. 392-395.

Zhang, X., J. Z. Ouyang, Y. S. Zhang, B. Taŷallá, X. C. Zhou y S.W. Zhou (1994), "Effect of the extracts of pumpkin seeds on the urodynamics of rabbits: an experimental study", *Journal of Tongji Medical University*, 14(4), pp. 235-238.

Zuhair, H. A., A. A. Abd El-Fattah y M. I. El-Sayed (2000), "Pumpkinseed oil modulates the effect of feloipine and captopril inspontaneously hypersensitive rats", *Pharmacological Research*, 41(5), pp. 555-563.

La miel de abeja: su importancia, usos, características y benef cios

Cesar Arturo Hernández Barraza, Jorge Loredo Osti, Jorge Adame Garza

Resumen

La miel ha sido utilizada desde hace varios siglos con propósitos médicos, de belleza y nutricionales. Se considera que la miel es la medicina más antigua conocida y que ha sido prescrita por médicos para el alivio y/o prevención de algunas enfermedades. En la actualidad, la miel es considerada como una substancia con amplias propiedades benéficas para la salud, sobre todo de protección, dado que contiene un gran número de sustancias que actúan de esa manera, incluyendo vitaminas como el ácido ascórbico, vitaminas del complejo B, péptidos pequeños, inhibinas, flavonoides, tocoferoles y enzimas, entre otras. Desde el punto de vista alimenticio, la miel es un producto energético y un complemento excelente en la nutrición de los niños. Tiene la particularidad de incrementar los niveles de hemoglobina en sangre y adicionalmente no genera problemas digestivos por lo que resulta un producto alimenticio altamente recomendado también, para deportistas y personas de la tercera edad.

Palabras clave: miel, salud, nutrición, beneficios.

Introducción

La miel es una sustancia producida por abejas obreras, a partir del néctar de las flores o de secreciones de partes vivas de las plantas o de excreciones de insectos succionadores, que quedan sobre partes vivas de plantas, de acuerdo con la Norma del Codex (1977) y que las abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, para posteriormente almacenarla y dejarla en el panal para su maduración y añejamiento (FAO/WHO, 2001).

El néctar de las flores que da origen a la miel, es una solución acuosa azucarada, segregada a nivel de los órganos glandulares de los vegetales, que pueden ser florales, y extra florales (Serrano *et al.*, 1994).

Las abejas liban o chupan las secreciones de las flores (nectar) y exudados dulces y los hacen pasar al órgano llamado buche melario (pequeña bolsa elástica que poseen en el aparato digestivo) donde se mezclan con enzimas que producen y que dan inicio al proceso de transformación de estas sustancias, como lo es, desdoblar la sacarosa (principal componente) en glucosa y fructosa, dando origen a la miel.

La miel de abeja, es sin lugar a dudas, un producto biológico complejo cuya composición fisicoquímica y organoléptica varía notablemente. La composición de la miel depende en gran medida del tipo de flores utilizadas por las abejas, las condiciones climáticas en las que las plantas crecen y la maduración (Abou-Tarboush *et al.*, 1993; Anklam, 1998).

Cuando entre la flora que visitan las abejas y que da origen a la miel, está presente una planta que predomina sobre las demas, es decir que la hay en mayor abundancia, esta le confiere a la miel sus propias características y cuando la miel es recolectada recibe el nombre de mono floral. Cuando no hay predominancia de ninguna planta entre las flores que visitan las abejas para extraer el néctar y transformarlo en miel, se le conoce como miel de multiflora.

Una de las propiedades de mayor importancia de la miel, es que contiene azúcares simples que no necesitan ser digeridos por nuestro cuerpo, ya que son asimilados directamente por el organismo. Esta condición, hace que la miel sea una fuente rápida de energía. Cabe hacer mención que el consumidor prefiere más las mieles claras que las oscuras, guiado mas por el color, que por el conocimiento de su valor nutricional. La miel de color obscuro ha sido por mucho tiempo asociada con adulteración. Esta aseveración esta muy alejada de la verdad, pues en realidad, la miel obscura contiene una mayor cantidad de vitaminas y minerales. Con base a lo anteriormente mencionado, el propósito del presente capítulo es ofrecer un panorama de la importancia que tiene la miel como un producto natural de las

abejas, describir sus bondades y características físicas, químicas y organolépticas y su impacto en la alimentación del ser humano.

Características e importancia de la miel

La miel es un producto alimenticio y como tal, el proceso de obtención requiere prácticas de higiene muy cuidadosas. Por esta razón, el lugar destinado a la extracción de miel sólo debe servir para esta operación y estar libre de todo lo que sea extraño al proceso de la misma, en el cual, preferentemente, se debe mantener la temperatura de la miel a 28 °C. Al obtener la miel para su procesamiento y envasado, esta debe cumplir con lo especificado en la norma de calidad de miel denominada Norma Mexicana NMX-F-036-1997 Alimentos-miel, especificaciones y métodos de prueba.

La miel es altamente higroscópica, es decir, que tiene la propiedad de absorber la humedad del medio ambiente, por lo que es necesario almacenarla en un envase adecuado para evitar que esta incremente su contenido de humedad, que de manera normal oscila entre 14.5 y 18.5 por ciento. Valores mas altos pueden inducir a la fermentación. El contenido de agua de la miel natural puede fluctuar entre el ser tan bajo como 13 y tan elevado como 23% dependiendo de la fuente de la miel, las condiciones climáticas y otros factores (Codex Alimentarius, 2001).

Composición y propiedades de la miel

La miel es una substancia dulce elaborada por las abejas, con los jugos nectaríferos y está compuesta de una mezcla de azúcares, principalmente glucosa y fructosa (White, 1975). Posee propiedades tanto terapéuticas como nutricionales. Según Benedetti y Pieralli (1990), la composición de la miel en términos generales es: glucosa (30-35%), fructosa (35- 45%), sacarosa (1-3%), contenido de humedad de (15-21%), ceniza (0.09-0.33), el pH varia de 3.2 a 4.5, prótidos (0.04 al 2%), sales minerales (0.1 al 0.2 por ciento). También contiene de 1 a 2 gramos de vitaminas por cada 100 gramos de miel, principalmente vitaminas A, E, C, B6 y B12 (García y Zago, 2006). Además de minerales tales como el calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, zinc, fósforo y potasio (Gutiérrez *et al.*, 2008).

Un componente menor, pero también de gran importancia en la miel, es el polen, que es transportado por las abejas del campo a la colmena (casa habitación de las abejas) para almacenarlo en su interior y aunque no se mezcla directamente con el néctar, algunas veces hay presencia de este en la miel. Esto es debido a que cuando

la abeja regresa a la colmena, regurgita la carga del néctar en las celdillas próximas a la entrada (Sainz y Gómez, 2000) y al traer polen o restos de polen en sus patas, ocasiona que la miel sufra una leve contaminación. Finalmente, la abeja recubre la celdilla con miel ya madurada mediante un opérculo de cera (Jean-Prost, 2001). Cabe hacer hincapié, que en algunos países, la miel no se filtra previa a su envasado, lo que conduce a que contenga altas cantidades de polen y dado los beneficios de este último, esta miel se venda a un precio superior. Sin embargo, la presencia de partículas contaminantes en la miel (cera, piezas de abejas muertas, y astillas de madera o polvo) hacen que la miel sea de baja calidad y valor. La composición de la miel depende de muchos factores entre los que se pueden citar, las flores de donde extrae el néctar la abeja, la estación del año en que fue recogida, el clima en el momento de la recolección y la naturaleza del suelo en donde crecían las plantas (Bord, 1972).

Tipos de miel y presentaciones del producto

Existen diferentes tipos de miel que pueden ser clasificadas según Avalos *et al.*, (2004), tomando en cuenta su origen, procedimiento de cosecha y presentación y de acuerdo con su origen:

- Mieles uniflorales o monoflorales: miel que proviene de una zona donde una determinada flor es la predominante.
- Mieles multiflorales o poliflorales: miel cuyo origen es de distinto tipo de flores.

Acorde con su presentación:

- En estado líquido, cristalizado (miel mantequilla) o una mezcla de ambas.
- Miel en panales: es la almacenada por las abejas en celdas operculadas de panales nuevos, construidos por ellas mismas y comercializada en panal entero o secciones de tales panales.
- Miel con trozos de panal: es la miel que se envasa y que contiene uno o más trozos de panales con miel.
- Miel cristalizada o granulada: es la que ha experimentado un proceso de solidificación como consecuencia de la cristalización de la glucosa que puede ser natural o inducido.

- Miel cremosa o cremada: es la que tiene una estructura cristalina fina y que puede haber sido sometida a un proceso físico que le confiera esa estructura y que la haga fácil de untar.

Según su forma de producción:

- Miel convencional: la obtenida por métodos tradicionales de producción.
- Miel ecológica: la procedente de apiarios certificados como amigables al medio ambiente.
- Miel orgánica: la que en toda su fase de producción y procesamiento cumplen los requisitos de certificación orgánica.

Tomando en cuenta su destino:

- Miel para consumo directo.
- Miel para utilización en la industria (miel que se emplea como edulcorante en la repostería).

Considerando su proceso tecnológico:

- Miel procesada: es aquella que para su comercialización ha sido sometida a un proceso de acondicionamiento que podría incluir homogeneización, filtración, fraccionamiento mecánico de cristales o tratamiento térmico.
- Miel no procesada: es la que para su comercialización no ha sido sometida a procesos de acondicionamiento.
- Miel escurrida: es la obtenida por escurrimiento de los panales desoperculados.
- Miel prensada: es la obtenida por prensado de los panales sin larvas.
- Miel centrifugada: es la obtenida por centrifugación de los panales desoperculados (sin la capa superficial del panal).

Independientemente de las diversos tipos y presentaciones, es fundamental comprender que la calidad de la miel está determinada por sus características físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas (Cárdenas *et al.*, 2008).

Usos y benef cios de la miel

Los usos de la miel de abeja son muy diversos e incluyen la industria alimentaria, cosmetológica y farmacéutica.

Industria alimentaria

Aunque hoy cuesta imaginar la vida sin azúcar de caña con la que endulzamos bebidas, postres y pasteles, no hay que olvidar que el consumo de este edulcorante no empezó a generalizarse en Europa hasta bien entrado el siglo xv. Antes, casi toda la población tenía que contentarse con las frutas dulces de temporada y con la miel de abeja (Pijoan, 2006). En la industria alimentaria y gastronómica se le usa como edulcorante, al ser considerada un sustituto ideal del azúcar en repostería, confitería y preparación de cereales y yogurt (Ulloa *et al.*, 2010; Batt *et al.*, 2012).

En algunos lugares, la miel se utiliza en la elaboración de bebidas alcohólicas, como lo son vino de miel y aguamiel (cultura maya). En algunas otras regiones de África, la cerveza de miel es una bebida tradicional y popular (Gentry, 1982).

La miel de color ámbar oscuro se emplea para diluir y conservar la jalea real, en la fabricación de vinos, vinagres, cerveza negra y como edulcorante en caramelos y turrones (Ortega, 1999).

Industria farmacéutica

La miel ha sido utilizada a través del tiempo, por sus propiedades curativas, contra quemaduras, como antimicrobiano y laxante suave (Ecomiel, 2006). Entre sus diversas aplicaciones, se menciona que se mezclaba miel con sal para limpiar el oído y también con agua caliente para ser utilizada como purga (Herrera, 1645). Algunos remedios caseros en el ámbito hispánico se suman al resto de testimonios e indican la predilección por la miel para fines terapéuticos. Era utilizada ya desde hace años, como cura contra las lombrices. Las curanderas administraban al enfermo dos cucharadas, una por la mañana y otra por la noche. De hecho, el Melikaton (una mezcla de leche y miel), era el primer alimento que recibían los niños en la antigua Grecia, después de la leche materna (García, 2005).

Para elaborar un preparado medicinal, nuestros antepasados combinaban zumo de limón, aguardiente de caña, miel y azúcar. Aun hoy, se considera que la mezcla de miel, vino, romero, hierba luisa y laurel combate el catarro y que puede ser utili-

zada para aliviar la conjuntivitis, aplicando sobre los ojos una corteza de pan quemado, miel y vinagre (Charro, 1999). El mismo autor señala que la combinación de miel con canela posee diversas propiedades, entre las que destacan; longevidad, buena digestión, disminución de los niveles de colesterol, alivio para la artritis y enfermedades del corazón, entre otras.

Los antiguos egipcios conservaban los cadáveres en miel, poniendo de manifiesto su poder antiséptico. Hay mucha evidencia que sugiere que la actividad antibacteriana de la miel se debe en mucho a los azúcares presentes en el mismo. Dos fuentes principales han demostrado ser responsables de la actividad antimicrobiana-peróxido de hidrógeno (de la abeja) y sin caracterizar sustancias químicas (a partir de la fuente floral) (Craig, 2005). Asimismo, utilizaban la miel como ungüento sobre las llagas o heridas, pues se percataron de que aseguraba una cicatrización rápida. Esta propiedad, descubierta empíricamente, pone igualmente de manifiesto la actividad antimicrobiana y regeneradora de la miel (Craig, 2009). Entre las propiedades medicinales que le han sido comprobadas destacan su poder energético, efecto contra la anemia, dinamizante, laxante, hepatoprotector, antiséptico, antibacteriano y cicatrizante (Sato y Miyata, 2000; Humbel, 2004).

En la década de los 30's, existió la creencia generalizada de que la miel, podría ser portadora de enfermedades y para demostrar lo contrario el doctor W. G. Sackett (bacteriólogo del Colegio Agrícola de Colorado), contaminó miel con distintos microrganismos perjudiciales estudiando si constituía un medio propicio para su desarrollo y descubrió que dichos cultivos morían a las pocas horas o días. Dado el resultado de sus investigaciones, escribió: "La longevidad de los bacilos tifoideos en la miel es muy limitada. Es muy poco probable que la miel pueda ser portadora de fiebre tifoidea, disentería y otras afecciones diarreicas" (Root, 2007). La actividad antibacteriana que presenta la miel, ha sido atribuida a algunos factores como la osmolaridad, relacionada con su contenido de agua y su bajo pH. Se conoce también que su poder antibacterial se ve fortalecido por el contenido de inhibinas, las cuales consisten en peróxido de hidrógeno, flavonoides y ácidos fenólicos (McCarthy, 1995).

La miel se puede utilizar para curar cualquier herida séptica, independientemente de su localización. Tiene fuertes propiedades desodorizantes, de limpieza y favorece la cicatrización de las heridas (Lavandera, 2009), demostrando que la miel de abejas puede ser un tratamiento alternativo en la cicatrización de heridas operatorias dehiscentes (abiertas), con el mismo efecto antiséptico. Otros resultados obtenidos, revelan que la miel de abeja muestra actividad antibacteriana del tipo bacteriostático contra las cepas bacterianas de *Staphylococcus aureus, Pseu-*

domonas aeruginosa, Escherichia coli, Bacillus subtilis, Listeria monocytogenes y Proteus mirabilis (Cabrera, 2003).

La miel tiene propiedades preventivas y en ocasiones curativas de algunas enfermedades tanto en humanos como en animales, además de ser capaz de mantener, restaurar, corregir o modificar algunas funciones orgánicas. Es usada para luchar contra la astenia (debilidad), algunos desarreglos digestivos, en particular úlceras gástricas, contra el estreñimiento, deficiencias cardíacas, también actúa sobre la flora intestinal, como sedante, aumentando el caudal de los vasos coronarios, respiratorios y neuropsíquicos, ayuda a la eliminación del alcohol en la sangre, además de ser un recalcificante óseo, aumenta la hemoglobina, mejora el rendimiento físico, así como la resistencia a la fatiga física e intelectual. La miel además, es utilizada como vehículo para disimular el sabor de medicamentos amargos e inclusive para el tratamiento del tabaco (Ortega, 1999).

A continuación se enlistan algunas recomendaciones de uso de la miel según el origen de las plantas nectaríferas de acuerdo con Alins (1980).

Acacia: indicada para los diabéticos.
Pino: afecciones de los bronquios.
Eucalipto: garganta, vías urinarias.
Mejorana: reumatismo, asma.
Romero: estimulante en caso de fatiga, antiespasmódica.
Tilo: estómago e intestinos, favorece el sueño.
Tomillo: reconstituyente, antiséptico.

Industria cosmética

Desde los egipcios, la miel era utilizada como ingrediente en cremas de belleza, porque ya conocían sus propiedades tonificantes y suavizantes (García, 2005). De hecho, desde hace tiempo, la miel ha sido reconocida por sus cualidades como cosmético natural, y figura además, en la formulación de muchos productos cosméticos de primera línea. Aunque por sí sola, la miel es un depurador de la piel, su acción embellecedora es mucho más eficaz cuando se combina con otros elementos. La miel se puede utilizar de muchas maneras en la elaboración de cosméticos, algunos ejemplos son: la mascarilla a base de miel para suavizar la piel, mascarilla para el tratamiento de pecas, en cremas balsámicas y jabones. Los cosméticos a base de miel tienen propiedades cicatrizantes, suavizantes, hidratantes, y antioxidantes. Es uno de los mejores humectantes naturales de la piel ya que debido a su alto contenido de

azúcar previene la resequedad de la piel y la hidrata. Funciona como bálsamo limpiador gracias a su alto contenido de cera, azúcares y minerales (Root, 2007).

La miel en la alimentación y nutrición humana

El valor nutritivo de la miel como endulzante es superior al del azúcar y de fácil asimilación. Su valor nutricional es reconocido por los dietistas y médicos en general.

La miel a diferencia del azúcar extraído de la caña o la remolacha cuyo único componente es la sacarosa, está compuesta de azúcares (glucosa y fructosa principalmente), agua y una pequeña fracción de sustancias complementarias de nuestra alimentación como vitaminas, enzimas, proteínas, aminoácidos, sales minerales y ácidos orgánicos que la convierten en un alimento de categoría superior al resto de los edulcorantes (González, 2004).

Su alto contenido de hidratos de carbono, principalmente glucosa y fructosa, la hace un alimento energético de gran calidad que puede ser bien aprovechada en la alimentación. Hoy en día, se reconoce a la miel como un alimento apto para infantes, ancianos y para toda aquella persona que por alguna razón padece deficiencias digestivas. La ingestión de la miel permite una reacción inmediata e intensiva del sistema muscular, especialmente del corazón, al que la glucosa llega rápidamente. La fructosa contenida en la miel, es transformada en glucosa por el hígado, donde se almacena en forma de glucógeno para ser utilizada cuando el organismo lo necesite. La miel posee además, elementos esenciales que pueden aportar al organismo como lo son: vitamina C y varias de las vitaminas del grupo B, que aunque en pequeñas cantidades, ayudan a mantener los niveles mínimos necesarios, complementando la dieta (Prior, 1989).

Es un alimento de fácil incorporación al torrente sanguíneo, por ello es recomendada para los atletas como fuente de energía dado que el organismo puede absorber grandes cantidades de esta y facilita la digestión de otros alimentos (Root, 2007).

Es importante para el desarrollo infantil, porque ejerce una buena influencia en la asimilación de calcio y magnesio (Prior, 1989). Sobre todo las mieles de color obscuro, que a menudo poseen un sabor mas intenso y presentan un alto contenido mineral (fosfato de calcio y hierro), mientras las claras tienen un sabor más suave (Bertozi, 2012). A pesar de que la miel es un producto de fácil digestión y de mayor poder endulzante que el azúcar, se recomienda su consumo moderado debido a su alta concentración de azúcares (80%) (Gottau, 2008).

Conclusiones

La miel de abeja es un alimento natural de gran aceptación por su sabor y propiedades diversas. Contiene antioxidantes que son muy útiles al cuerpo y que ayudan a reducir los radicales libres manteniendo a las personas saludables.

La miel en su forma liquida, cristalizada o en panal, es un excelente endulzante natural y una fuente de energía pura. Adicionalmente, es un producto altamente nutritivo, rico en proteínas, vitaminas y minerales, libre de colesterol y grasas, que puede ser empleado en la dieta diaria. Además de sus cualidades nutritivas, la miel posee grandes cualidades medicinales, e incluso propiedades antibacterianas, cicatrizantes, suavizantes, que están siendo ampliamente aprovechadas por la Industria cosmética.

Existe una idea común de que la miel granulada, es una miel que ha sido adulterada con azúcar común, lo cual es falso. De hecho, la miel cristalizada o granulada, concentra mayores nutrientes por su menor contenido de agua, ya que la granulación es un proceso natural de cristalización del contenido de glucosa en la miel.

Sobre los autores

Cesar Arturo Hernández Barraza, Jorge Loredo Osti, Jorge Adame Garza. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia "Dr. Norberto Treviño Zapata"Universidad Autónoma de Tamaulipas, Matamoros 8 y 9 Col. Centro C.P. 87000. Cd. Victoria Tamaulipas, México.Autor para correspondencia: Cesar Arturo Hernandez Barraza PhD, correo electrónico cahernan@email.arizona.edu

Referencias

Anklam, E. (1998), "A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey", *Food Chem*, 63(4), pp. 549-562.

Abou-Tarboush, H., H. Al-Kahtani and M. El-Sarrage (1993), "Floral type identification and quality evaluation of some honey types. Food Chem", 46, pp. 13-17.

Alins, C.E. (1980), *Guia Práctica del Apicultor*, Barcelona, Sintes.

Avalos, R. H., A. E. Rodas, B. R. Perdomo (2004), *Manual de buenas prácticas apícolas para la producción de miel*, Comision Nacional Apícola, San Salvador, El Salvador.

Batt, P. and A. Liu (2012), "Consumer behavior towards honey products in Western Australia", *British Food Journal*, 114 (2), pp. 285-297.

Benedetti, L. y L. Pieralli (1990), *Apicultura*, Omega, S. A. Barcelona. pp 90-91; 152-154; 305-309.

Bertozzi, Ezequiel (2012), *Los sabores y colores de la miel. La miel en la alimentación humana*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.

Bord, Janet.(1972), *Honey, natural food and healer. Melbourne Science of life book*, ISBN-10: 0909911509. Australia, p. 64.

Cabrera,L., G. Ojeda de Rodríguez, E. Céspedes y A. Colina (2003), "Actividad antibacteriana de miel de abejas multiflorales (Apis mellifera scutellata) de cuatro zonas apícolas del estado Zulia", *Revista Científica*, vol. XIII, núm. 3, Venezuela, FCV-LUZ, pp. 207-210.

Craig, Davis (2005), *The use of Australian honey in moist wound management: a report for the Rural Industries*, Research and Development Corporation.

Craig, Davis (2009), "Natural Standard Database Monograph. Food, herbs & supplements: honey", disponible en http://www.naturalstandard.com/monographs/herbssupplements/honey; monograph on Internet.

Charro, G. M. (1999), "Tras la senda de la miel", *Revista Folklore*, tomo 19b. vol. p. 227.

Cárdenas, F. Coll., C. Villat, G. Laporte, M. Noia, N. Mestorino (2008), "Características Microbiológicas de la miel", *Revisión bibliográfica*, X año 3, volumen 1 y 2, ISSN: 1850356 X .A ISSN: 1850356.

Codex Alimentarius (1977), "Norma del CODEX para la Miel", CODEX STAN 12-1981.

Codex Alimentarius (2001), "Draft revised standard for honey", Alinorm 01/2519-26, and EU Council (2002) Council Directive 2001/11 O/EC of 20 December 2001 relating to honey, Official Journal of the European Communities, L10, pp. 47-52.

Ecomiel (2006), disponible en ecomiel.co.cr/la_miel_de_abeja.htm.

FAO/WHO (2001), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud.

García, P. A. (2005), *Descubra el poder de la miel*, ed. GIDESA, p 6.

García MY, K. Zago (2006), "¿Podemos obtener vitaminas de los productos de la colmena?", *Iniciación a la Apiterapia*, APIBA-CDCHT universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, pp. 16-17; 32.

Gentry, C. (1982), "La apicultura de pequeña escala", manual M0025, Peace Corps. Barcelona, pp. 13-14.

González S.v y A. Bolognesi (2004), *La miel en la alimentación humana*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, p. 40.

Gottau G. (2008), "Miel, ¿alimento saludable o para consumir con moderación?", *Revista Vitónica. (Alimentación, deporte y salud)*, disponible en http://www.vitonica.com/alimentos/miel-alimento-saludable-o-para-consumir-con-moderacion.

Gutiérrez, M. G., A. Rodríguez-Malaveer, P. Vit (2008), "Miel de abejas: Una fuente de antioxidantes", *Fuerza Farmacéutica*, año 12, vol. I, enero.

Herrera, A. (1645), "Agricultura general que trata de la labranza del campo, y sus particularidades, crianza de animales, propiedades de las plantas que en ella se contienen, y virtudes provechosas a la salud humana", autorizado por Carlos Sánchez, Madrid.

Humbel, L. (2004), "Apiterapia, una solución integral de la salud en un espíritu de desarrollo sostenible", *Vida Apícola*, 128, pp. 14-15.

Jean-Prost, P. (2001), *Apicultura*, Mundi-Prensa, Madrid-Barcelona-Méjico.

Lavandera, R. I. (2011), *Revista Cubana de Cirugía*, 50(2), pp. 187-188.

McCarthy, J. (1995), "The antibacterial effects of honey: Medical fact or fiction", *American Bee Jorunal*, pp. 341-343.

Norma Mexicana, NMX-F-036-1997 Alimentos-Miel- Especificaciones y Métodos de Prueba.

Ortega, C. J. (1999), *Utilidades de la miel*, Fundacite-Táchira, pp. 28-29.

Pijoan, M. (2006), "Los dulces de un mundo sin azúcar", *Revista Offarm*, vol. 25., núm. 05, pp. 104-106.

Prior, C. M. (1989), *La miel en la alimentación humana*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Servicio de Extensión Agraria, pp 9-10.

Root, A. I. (2007), *The ABC & XYZ of Bee Culture. An Encyclopedia Pertaining to che Scientific and Practical Culture of Honey Bees.*

Sáinz, C. y C. Gómez (2000), *"Mieles Españolas" Características e identificación mediante el análisis del polen*, Mundi-Prensa, Madrid-Barcelona-México.

Sato, T., G. Miyata (2000), *The nutraceutical benefit*, part III, Honey, Nutrition 16, pp. 468- 469.

Serrano, B.R. B., M. T. O. Villanueva, A. D. Marquina (1994), "La miel. Edulcorante natural. I. Origen, clasificación y propiedades", *alimentaria*, junio, pp. 25-28.

Ulloa, J. A., P. Mondragón Cortez, R. Rodríguez Rodríguez, J. A. Reséndiz Vázquez, P. Rosas Ulloa (2010), "La miel de abeja y su importancia", *Revista Fuente*, 2 (4), pp. 11-18.

White, J. W. (1975), "Physical characteristics of honey", en E, Crane, *a comprehensive survey*, London, Bee Research Association and Chalfont St Peter, ed. Honey, pp. 207-239.

La alimentación del futuro

Frida Carmina Caballero Rico, Rocío Margarita Uresti Marín, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León

Resumen

La población mundial permanece en constante crecimiento, lo que ejerce una creciente demanda para la producción de alimentos, uso del agua y disponibilidad de superficies cultivables. Es por ello que se buscan estrategias para producir alimentos de manera mas eficiente, con menos necesidad de agua y con menor pérdida postcosecha. En el presente capítulo se describen algunas de las principales tendencias en cuanto al desarrollo de alimentos y prolongación de su vida de anaquel. También se señalan los nuevos estudios enfocados a la relación alimentos-nutrición-salud, que se basan en las nuevas tecnologías emergentes y conceptos bioquímicos y biotecnológicos avanzados. Dando origen a alimentos personalizados con base a las necesidades de individuos o grupos de individuos. Se señalan ejemplos de los conocimientos y tecnologías que están o estarán en el mercado en los próximos años.

Palabras clave: alimentos, futuro, desarrollos científicos, desarrollos tecnológicos.

Introducción

Los avances en la ciencia, la tecnología y los cambios socioeconómicos, políticos y sociales determinan las tendencias en la alimentación, como consecuencia, en años recientes se ha fortalecido la línea de investigación científica que estudia el análisis,

conservación, modificación y mejoramiento e impacto de los alimentos en la salud (Garcia-Casal, 2007).

Las investigaciones recientes sobre alimentación y salud se realizan por equipos multidisciplinarios que tratan de entender y atender el contexto sociocultural y económico, como los nuevos estilos de vida, los hábitos alimenticios y las dimensiones éticas de la nueva realidad en el que se inserta este binomio, donde un elemento importante es la educación, el aprendizaje a lo largo de la vida.

Si bien es cierto, los cambios demográficos, climáticos y culturales impactan en la producción de alimentos, la merma de recursos naturales, conllevará a la desaparición de algunas de las fuentes de alimentación, lo que nos lleva a plantearnos ¿cómo se resolverá? ¿cómo será la nueva generación de alimentos? ¿acaso los imaginamos?

La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) por sus siglas en inglés), advierte que para el 2050 la tierra estará habitada por lo menos por 9 200 millones de personas. Para poder erradicar el hambre y satisfacer la demanda de alimentos, a mediados de este siglo, la producción global de productos alimenticios tiene que ser aumentada en 70% y en los países en vías de desarrollo deberá ser duplicada. Para afrontar este reto, se propone una nueva iniciativa orientada al desarrollo sostenible de la producción de los alimentos. La estrategia supone la ayuda a los pequeños granjeros en los países en desarrollo, que permitiría aumentar la productividad y canalizar los ahorros para la sanidad y la educación.

Sobre explotación de los recursos pesqueros

El informe 2012 de la organización Oceana orientada en la conservación de los ecosistemas marinos, reporta que el incremento en la temperatura de los mares destruye la pesca, fuente de alimentación y trabajo de millones de personas, especialmente en países pobres. Matthew Huelsenbeck, autor del informe, y científico marino de *Ocean*, señala que las zonas más susceptibles de ver alterado su esquema de alimentación y sufrir una crisis alimentaria por el calentamiento y acidificación, son el Océano Índico, el sur del Pacífico y el Atlántico, Comoros, Togo y las Islas Cook, debido a la destrucción del ecosistema marino en sus costa (Huelsenbeck, 2012).

Esta situación impactará también, aunque de manera desigual a los países que más pescado consumen, como Maldivas, Islandia, Japón, Kiribati y las Seychelles. "Las naciones menos desarrolladas, en las que sus habitantes comen grandes cantidades de pescado, podrían sufrir las peores privaciones, porque tienen menos recursos socioeconómicos para conseguir comida que remplazase lo que se perdería del

mar". Huelsenbeck nos invita a la reflexión "Para más de mil millones de personas sin recursos en el mundo, el pescado y el marisco son su principal fuente de proteínas". En 2050, cuando la población llegué a los nueve mil millones de personas, las capturas de pesquería caerán un 40% en las zonas más dependientes. Pakistán, Eritrea, Haití y Madagascar se verían afectados, ya que además de la pérdida de una fuente principal de alimentación, el rápido crecimiento de sus poblaciones y sus carencias de recursos económicos para suplir la merma de pescado, agravaría sus altos porcentajes de desnutrición (Huelsenbeck, 2012).

Alimentación en el futuro: la visión española

En un estudio prospectivo denominado Nutrigenómica, Alimentación y Salud, realizado por la Fundación Escuela de Organización Industrial antes Fundación del Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Industrial (OPTI), organización en el que participa el Ministerio de Industria español, realizado con la integración de un equipo de 72 expertos, se señalan los temas que estarán marcando las tendencias en la investigación alimentaria en las siguientes décadas.

Nutrigenómica. Es un campo reciente en el área alimentaria, que estudia las interacciones entre los alimentos y las características genética de las personas. Este conocimiento permitirá utilizar la alimentación para la prevención de patologías, formulando dietas específicas en función de nuestro ADN. El desarrollo de esta ciencia permitiría a la industria agroalimentaria identificar y utilizar nuevos compuestos bioactivos de los alimentos y realizar nuevas formulaciones para que los alimentos sirvan para mejorar la salud y evitar la enfermedad. Los hallazgos reportados se clasifican en ingredientes con actividad específica, estilos de vida y factores sociales, legales y ambientales.

Ingredientes con actividad específica. El reporte señala que entre el 2009 y 2014, los descubrimientos a observar serán la de marcadores y bioensayos rápidos y eficaces para identificar compuestos bioactivos. Estos estudios estarán apoyados en la biotecnología y la nanotecnología. Posteriormente, entre 2015 y 2020 se extenderá la tendencia hacia los estudios de absorción, distribución, metabolismo, excreción y toxicidad (ADMET), para determinar la absorción, distribución, metabolismo, excreción y toxicidad de los compuestos bioactivos. También se realizarán estudios *in vitro* e *in vivo* que permitirán validar los mecanismos de acción a nivel molecular y celular de los compuestos, así cómo, ensayos sobre personas para determinar la acción de los compuestos sobre cada fenotipo. Se

espera que el uso de organismos genéticamente modificados en el tratamiento de enfermedades, disminuirá la desconfianza actual de los consumidores hacia estos organismos.

Tecnologías de procesado de alimentos. Se espera que antes de 2014 aumente la seguridad alimentaria, especialmente entre las poblaciones de mayor riesgo, con base en los nuevos sistemas de detección y autentificación de ingredientes, presencia de microorganismos, residuos alérgenos, efectos del procesado de los alimentos sobre la eficacia de los componentes, basados en técnicas de genómica, metabolómica y transcriptómica. También se espera que entre 2015 y 2020 se tengan conclusiones sobre los patrones de interacción que puedan producirse entre los compuestos bioactivos con la microbiota de diferentes grupos de población. Así mismo, se contará con información válida sobre el efecto que tienen los diferentes procesos de los alimentos (incluido el cocinado) sobre la composición nutricional de los alimentos y su funcionalidad.

Estilo de vida. Entre el 2015 y 2020, el envejecimiento de la población dirigirá la investigación hacia dietas que mejoren la calidad de vida y la salud mejorando las funciones cerebrales y otras que disminuyan el deterioro óseo-muscular. También la creciente preocupación por el aspecto físico favorecerá la investigación de los factores genéticos y nutricionales con efectos estéticos. Entre 2021 y 2025 se profundizará en el conocimiento científico de la interacción entre las características genéticas, los hábitos alimentarios y la actividad física en el desarrollo de las distintas patologías. Se habrá generado información completa sobre la relación del consumo de determinados alimentos y sus efectos sobre la salud de grupos fenotípicos específicos, lo que permitirá diseñar dietas especializadas para esos grupos fenotípicos.

Factores sociales, legales y ambientales. Se espera que en el 2015, España cuente con más empresas que ofrezcan consejos nutricionales y dietas con mayor base científica, al tiempo que se reforzará la protección de datos con los avances en genómica. A este respecto, Ana Morato, presidenta de la OPTI, considera que "en pocos años, secuenciar el genoma de cada persona será tan barato como un análisis de sangre. Al mismo tiempo, la investigación en los compuestos bioactivos –presentes de forma natural en muchos alimentos– irá descubriendo su influencia en determinados genes. El nexo de unión entre ambos fenómenos es el hecho de que muchas enfermedades tienen un componente genético". Por otro lado, Amelia Martí, Investigadora del Departamento de Ciencias de la Alimentación, Fisiología y Toxicología de la Universidad de Navarra, señala que "entre 25% y 70% de las enfermedades podrían evitarse con una alimentación adecuada" (Martí del Moral, 2010).

Alimentación del futuro

El futurista Thomas Frey plantea que la gente en el futuro será capaz de ordenar una hamburguesa con queso "con 13.2% de grasa, 2.7 gramos de potasio y 3.6 gramos de calcio", junto con un toque de almendra y aroma de plátano, en un pan de ajonjolí con exactamente 47 semillas de sésamo en él. Seremos capaces de hacer esto simplemente por pedir una hamburguesa con queso y nuestra nube de información personal se encargará de los detalles. La demanda de productos estará determinada por la relevancia biológica, y se pasará de la variedad de cultivos a la variedad ilimitada de opciones de comida. Esto traerá como consecuencia un cambio en la terminología utilizada en las etiquetas para describir nuestras dietas, como Kosher, vegetariana, libre de glucosa, deslactosada, y será reemplazada con términos que permitan determinar, a nivel molecular, los alimentos que en nuestro cuerpo tienen una reacción positiva (Frey, 2011).

Alimentos inteligentes

El doctor Jens Juul Holst, lidera el equipo del departamento de endocrinología de la Universidad de Copenhague, en Dinamarca. Trabaja en la confección de alimentos inteligentes para vencer la obesidad, que serían capaces de decirle al cerebro que ya se ha comido lo suficiente. Estas comidas contendrían una sustancia química especial que imita el mensaje que nuestro intestino envía el cerebro cuando está lleno.

Los científicos saben que los nutrientes interactúan con las células intestinales para originar hormonas de saciedad, que actúan como mensajeros químicos, que envían al cerebro la señal de "estómago lleno", y han descubierto una molécula denominada tipo péptido glucagón tipo 1 (GLP-1), que actúa sobre las partes del cerebro que regulan el apetito. Esta molécula regula los metabolismos involucrados en los procesos que inducen a la diabetes y la obesidad. Entre otros estudios, el grupo se plantea el reto de descubrir el proceso con el cual este tipo de sustancias le dice al cerebro que ya está satisfecho y así poderlo manipular imitando el mensaje a través de sustancias que puedan colocarse en los alimentos para que éstos actúen como sistemas de equilibrio. El proyecto está financiado por la Unión Europea y pretende encontrar soluciones permanentes para lidiar con la crisis mundial de obesidad (Holst, 2012).

Alimentos funcionales

Los expertos consideran que la alimentación equilibrada es fundamental para cuidar la salud, básicamente con alimentos funcionales, ya que estos dejan huella genética y sus efectos se verán en el largo plazo. Es por ello que el concepto de alimento ha evolucionado de la tradicional función gastronómica y de nutrición, a su capacidad de medicamento. Ayudan a mejorar algunas funciones de nuestro organismo o prevenir en el riesgo de enfermedades como yougures con Omega 3, fibra o aceite de oliva, pescados blancos y azules, como la sardina y el salmón, las legumbres, las frutas y las verduras.

Alimentos en pastilla

En México, la empresa QUINASA SAPI de C.V., se dedica actualmente al desarrollo de alimentos inteligentes a partir de frutas y verduras deshidratadas, como aguacate, nopal y mango. Su objetivo es mejorar la salud de las personas al ofrecer productos prácticos, de buen sabor y 100% naturales, incluyendo como base el aguacate en polvo, además de otros vegetales que permiten obtener un alimento conformado por 58% de carbohidratos, 20% de proteínas, 20% de grasa vegetal monoinsaturada (omega 3 y omega 6), y 2% de fibra cruda. El inventor es el Ingeniero Dimas Jiménez Mendoza, quien es egresado del Instituto Politécnico Nacional (IPN). El interés inicial fue desarrollar una presentación en pastilla de sus productos, que más tarde serían enviadas al espacio como alimento para astronautas. El reto tecnológico radicaba en que no existía una máquina capaz de comprimir eficientemente productos naturales deshidratados. Con la pastilla de mango, y de mamey, Quinasa captó la atención de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA por sus siglas en inglés). Ambas pastillas presentan diversos beneficios, largo periodo de conservación, son eficaces contra el colesterol, mejoran la digestión y pueden ser utilizadas como raciones de emergencia en los desastres naturales en los que es necesario proporcionar alimentación a la población urgentemente. El desarrollo del proyecto se financió con recursos públicos como el Fondo de Innovación Tecnológica (FIT), Conacyt, y la Secretaría de Economía (Secretaría de Economía, 2012).

Impresión de alimentos en 3D

La impresión 3D es una tecnología de creación de objetos, a través de un proceso relativamente lento de construcción de capas de material, hasta que todos los objetos se colocan en su lugar. La primera impresora 3D comercial fue inventada por Charles Hull en 1984, basada en una técnica llamada estereolitografía. La impresión tridimensional hace que sea tan barato crear elementos individuales como para producir miles de artículos y así minar la economía de escala. Frey considera que esta impresora puede tener un impacto tan profundo en el mundo como la llegada de la fábrica en la época de Henry Ford (3DSystems, 2012).

La comida es un componente básico de la vida. Los alimentos se han convertido en una parte fundamental de nuestra cultura, de nuestra hospitalidad y nuestra salud física. De hecho, la comida toca prácticamente todo lo que hacemos, pero estamos cocinando menos y dependemos de los que otros cocinan. Marcelo Coelho y Amit Zoran, investigadores brillantes del *Massachusetts Institute of Technology (*MIT) trabajan en el Proyecto Cornucopias, proyecto para introducir en los hogares una revolución culinaria, la cocina digital (Zoran y Coelho, 2011). Se trata de una especie de impresora de comida donde en lugar de tinta se usan ingredientes. Cornucopia, mezcla, cocina y deposita capas de ingredientes que se almacenan en unos recipientes que se guardan en el refrigerador cuando la máquina no está en uso. Los ingredientes son calentados o enfriados en los recipientes, los tubos y la cámara de Cornucopia. Este proceso permite la creación de sabores y texturas imposibles de crear a través de las tradición culinaria, además de permitir controlar perfectamente el valor nutritivo y vitamínico de la comida. Cada diseño aborda un proceso fundamental que está en el centro de la cocina, se debe conocer, la mezcla de los ingredientes, la transformación física y química de estos ingredientes en nuevos compuestos y, finalmente, su modelado en formas estéticamente agradables y texturas deliciosas. Se están desarrollando una serie de dispositivos digitales que algún día podrían ser usados para producir los alimentos que comemos. El mezclador virtuoso, el chef robótico y el fabricante digital, tiene el objetivo de llevar las herramientas que utilizamos para hacer comida, al día con la tecnología digital. En el futuro podremos programar la comida desde la computadora de la oficina o desde los teléfonos inteligentes (Zoran y Coelho, 2011).

En este mismo sentido, los diseñadores en Yanko Design han desarrollado un nuevo dispositivo llamado el Molecular Electrolux, una impresora 3D de alimentos con fundamentos en la tecnología de la cocina molecular experimental. Se basa en la técnica de impresión capa-a-capa a partir de pequeños conjuntos de ingredientes.

En minutos imprime postres tridimensionales, estructuras complejas, formas de platos moleculares y patrones para la decoración de una comida (Yanco Design, 2012).

Cultivo de piel y carne

Andras Forgacs CEO, de la empresa Modern Meadow, revela que el reto planteado para el 2017 es cultivar tejidos siguiendo los pasos fundamentales para el cultivo de piel y de alimento. El procedimiento general es obtener biopsias de animales donantes, que podrían ser ganado (para el uso de la carne) o animales exóticos (para el uso de la piel), que ya hayan muerto. A partir de la biopsia, se buscará proliferar las células extraídos en un aparato de crecimiento y se crearán esferas celulares colocándolas en capas para que se fusionen. A este proceso se le llama bioassembly (bioensamblaje). Las células recién fusionadas se colocarán en un bioreactor, dándoles tiempo para madurar. El tejido muscular y la grasa se cosecharán para la alimentación. La piel pasará por un proceso de bronceado que disminuirá la cantidad de productos químicos tóxicos que llegara a tener. Esta empresa considera que el cultivo de carne podría llegar a ser la solución para las grandes crisis de la humanidad que se acercan, ya que tan solo en Estados Unidos, según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en 2011 se consumieron 55 mil millones de kilos de carne en ese país. El mismo año, se consumieron 101 mil millones de kilogramos de carne de cerdo. Sin embargo, reconoce que uno de los principales retos a enfrentar es la aceptación del consumidor de este tipo de productos, por su origen no natural, aunque posean las mismas proteínas y aspecto que la carne real, y puedan ser digeridas y aprovechadas por nuestro organismo sin problemas. El filántropo Peter Thiel, cofundador de PayPal, es quién ha financiado esta iniciativa (Muy interesante, 2010).

En este mismo sentido, James King, un biólogo molecular inglés que se autodenomina diseñador especulativo, trabaja en el área de las ciencias biológicas para investigar las implicaciones de la biotecnología en el futuro. Actualmente plantea y desarrolla un proyecto en el que estudia la mejor forma de diseñar la carne *in vitro* y otros alimentos artificiales del futuro. King imagina unidades móviles que recorren el campo buscando los más bellos ejemplares, por ejemplo, vacas, pollos, patos, cerdos. Una vez ubicado el ejemplar se escanea para crear imágenes de los órganos internos, los más interesantes o bonitos, y se utilizan estos modelos como plantillas para crear sus réplicas de carne *in vitro*, utilizando para ello la ingeniería genética. A la carne cultivada en el laboratorio se le puede dar la forma que se desee buscando criterios funcionales, ergonómicos o estéticos (King, 2012).

Nuevos envases alimentarios

En la actualidad se trabaja en el desarrollo de envases funcionales, con un enfoque muy distinto al de los envases tradicionales, los cuales deben se inertes y no interactuar con el alimento. Los nuevos envases se dividen en envases activos y envases inteligentes. Los envases activos son aquellos que pueden absorber, eliminar o regular la presencia de compuestos que afectan negativamente la vida de anaquel del alimento que contiene. Estos envases se emplean para regular la presencia de oxígenos, etileno o humedad. También pueden contener y liberar hacia el alimento conservadores, antioxidantes, colorantes, aromas.

Los envases inteligentes tienen como función el evaluar las condiciones del envasado y alertar sobre el estado del alimento o el riesgo de consumirlo. Se utilizan para notificar si un alimento permaneció por encima de la temperatura de frío mínima recomendable, el tiempo que ha estado expuesto a esa temperatura, el tiempo transcurrido a partir de la apertura del alimento para su consumo, falla en la hermeticidad del envase, o presencia de sustancias químicas, asociadas con la pérdida de frescura o la presencia de microorganismos patógenos (Paseiro Losada *et al.*, 2011).

Recientemente, durante la Feria Barcelona Tecnología de la Alimentación (2011), llamaron la atención los empaques inteligentes que incorporan ya los descubrimiento científicos generados. En Japón, ya se emplean empaques que indican el contenido de humedad dentro del empaque de pescados y mariscos. Estos envases pueden contener cloruro de cobalto que pasa del color azul al rosa o cloruro de cobre que pasa del amarillo al rosa con el aumento de humedad. También utilizan tintas cromáticas que cambian de color al ser expuestas al calor, indicando que el producto ha estado por encima de la temperatura recomendada. Utilizan también envases que detectan la entrada de oxígeno. Por su parte, el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España, presentó su reciente desarrollo: un envase inteligente que puede reducir el colesterol de la leche. También los recubrimientos a base de nanopartículas estuvieron presentes. José María Lagarón, investigador del CSIC, presentó un recubrimiento de frutas comestible, que permite prolongar la vida de anaquel.

Conclusiones

La situación mundial en relación con la producción de alimentos, uso del agua, superficies cultivables y aumento de la población ponen de manifiesto que nos encontramos con una insuficiente oferta de alimentos y deficiencias nutricionales importantes.

Los consumidores de los países desarrollados son ahora más conscientes de la relación alimento-salud, demandan productos de mayor calidad, de fácil y rápida preparación, menos procesados, sabrosos, naturales (sin conservantes, aditivos naturales), frescos, saludables, seguros y de mayor vida útil. Sin embargo, las nuevas tecnologías y el desarrollo científico posibilita la nutrición individual, una alimentación personalizada, única y especial, con base en alimentos "inteligentes" que se puede administrar dependiendo del requerimiento genético de cada individuo en un momento dado del día y de su ciclo de vida.

Los medios digitales han transformado casi todas las facetas de la sociedad, las tecnologías fundamentales que utilizamos para preparar la comida de hoy es sólo una mejora incremental sobre las herramientas que hemos estado utilizando durante cientos de años. Con el fin de que nos movamos a tecnologías de cocción a la era digital, tendremos que reinventar todo el proceso de obtención de alimentos de la granja a la mesa.

Sobre los autores

Frida Carmina Caballero Rico, Rocío Margarita Urresti Marín, Manuel Vázquez Vázquez, José Alberto Ramírez de León. Cuerpo Académico Consolidado Gestión y Transferencia del Conocimiento, Dirección General de Innovación Tecnológica, Universidad Autónoma de Tamaulipas, correo electrónico fcaballer@uat.edu.mx

Bibliografía

García-Casal M. N. (2007), "La Alimentación del futuro: Nuevas Tecnologías y su importancia en la nutrición poblacional", *Anales Venezolanos de Nutrición*, vol. 20 (2), pp. 108-114.

Frey, T. (2011), *Communicating with the Future: How Re-engineering Intentions Will Alter the Master Code of Our Future*, CGXPublishing, 1st edition, pp. 126.

Fundación Opti (2012), "Nutrigenómica, alimentación y salud", Estudio de prospectiva. Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Industrial, disponible en http://www.opti.org/publicaciones/pdf/resumen114.pdf

Holst, J. J (2011), "The Novo Nordisk Foundation Center for Basic Metabolic Research", Scientist director, disponible en http//http://metabol.ku.dk/scientific_sections/translational_metabolic_physiology/holst/

King, J (2012), "Dressing the meat of tomorrow", disponible en http://www.james-king.net/projects/meat; consultado en noviembre de 2012.

Martí del Moral, A (2010), "Una dieta adecuada evitaria mas del 25% de las enfermedades", Diario de Navarra. Navarra, España; disponible en http://www.unav.es/informacion/sites/default/files/080510.pdf; consultado el 8 de mayo de 2012.

Muy Interesante (2010), "Producción de cuero *in vitro*", tecnología, disponible en http://www.muyinteresante.com.mx/tecnologia/504748/produccion-carne-y-cuero-in-vitro; consultado en septiembre de 2012.

Paseiro Losada, P., J. F. Cacho Palomar, M. Juárez Iglesias, T. O. Hernández-Agero, C. Nerín de la Puerta y R López Rodríguez (2011), "Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a los envases activos e inteligentes", *Revista del Comité Científico de la ASESAN*, 13, pp. 89-109.

Secretaría de Economía (2012), "Casos de Éxito", Quinasa, disponible en http://www.economia.gob.mx/mexico-emprende/casos-de-exito/8330-quinasa

Yanko Design (2012), "Surreal food is real and printed", disponible en http://www.yankodesign.com/2009/08/26/surreal-food-is-real-and-printed/

Zoran, A. and M. Coelho (2011), *Cornucopia: The Concept of Digital Gastronomy*, Leonardo, 44 (5), pp. 425-431.

3DSystems (2012), "Stereolithography (SLA)", disponible en http://production3d-printers.com/sla/stereolithography; consultado en noviembre, 2012.

La competitividad en el sector vitivinícola mexicano

Alejandra Véra González, Karla María Nava Aguirre, Javier Hernández Treviño, Darío Hernández Fernández del Campo

Resumen

El vino es considerado como un alimento completo, y que por sus propiedades nutricionales, aporta muchos beneficios para la salud del ser humano. Su importancia radica precisamente en que no solo es un producto que puede ser comercializado, elevando la competitividad del sector, si no como un producto que puede ayudar a la salud del ser humano. El presente trabajo describe la competitividad del sector vitivinícola mexicano, a través de la aplicación del modelo de las cinco fuerzas competitivas de Michael Porter (2009), donde se exponen algunos elementos que se requieren para el desarrollo competitivo de la cadena vitivinícola. Al final, se presenta un análisis de los productores, comercializadores y consumidores, como los actores más importantes que participan en el sector vitivinícola en México desde la perspectiva de las cinco fuerzas competitivas.

Introducción

En el presente trabajo se describe la competitividad del sector vitivinícola mexicano, a través de la aplicación del modelo de las cinco fuerzas competitivas de Michael Porter (2009), que permite diagnosticar la situación que guarda en la actualidad el

mercado de vinos en México, frente a la fuerte competencia que existe entre el vino nacional y los vinos extranjeros, sin olvidar las aportaciones y beneficios que brinda esta bebida a la salud.

En este trabajo se exponen algunos elementos que se requieren para el desarrollo competitivo de la cadena vitivinícola. Estos elementos se refieren a: contar con denominaciones de origen, que las empresas tengan apoyo por parte de gobierno y que exista vinculación entre empresas productoras y las universidades de la región para llevar a cabo proyectos de investigación y desarrollo que incidan en productos competitivos del sector vitivinícola.

Consideraciones generales del vino relacionadas con la salud

El vino es considerado por la mayoría de los autores como un alimento completo y que por sus propiedades nutricionales, aporta muchos beneficios para la salud del ser humano, pues es una fuente de energía fácil de asimilar, que no contiene grasa ni colesterol. A lo largo de la historia, el vino no sólo se ha utilizado como estimulante, sino también como medicamento. Se ha demostrado, que un consumo regular y moderado de vino puede contribuir, junto a otros factores, a una vida larga y sana, ya que contiene vitaminas y minerales útiles y necesarios para cada organismo como la vitamina A, C y varias del complejo B.

En cuestiones de la vida diaria, el vino se recomienda para encontrar la relajación y evitar el estrés, pues disminuye la depresión. Mientras el vino tinto ayuda a recuperarse de enfermedades infecciosas, el vino blanco es diurético. Los vinos blancos ácidos, ricos en tartratos, actúan sobre los riñones asegurando un mejor funcionamiento. Por otra parte, y después de varios estudios, se encontró que el vino es antialérgico y puede reducir considerablemente el riesgo de contraer cáncer, ya que contiene sustancias que activan la respiración celular. El vino es digestivo, y por lo tanto muy útil después de la comida o cena.

Entre las enfermedades que se creen pueden ser tratadas o evitadas de manera directa o indirecta mediante el consumo del vino, destacan el alzheimer, el cáncer, anemia y diversas alergias. El vino acelera la depuración del colesterol, pues facilita y refuerza la acción de la vitamina C, estabiliza las fibras de colágeno que sirven de sostén a diversas arterias, reduce el riego de los accidentes cerebro-vasculares isquémicos, disminuye los problemas con la artritis, disminuye el crecimiento de cataratas y la degeneración macular (Dominé, 2003).

Por los beneficios que se mencionan es interesante reconocer la importancia que el vino puede representar no solo como un producto que puede ser comercializado,

elevando la competitividad del sector, sino también por su valor como un producto que puede ayudar a la salud del ser humano.

La industria vitivinícola en el contexto internacional

Existen diferentes estudios relacionados con el sector vitivinícola en Chile, España y México. En el caso de Chile, la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Gobierno de aquél país, realizó un estudio con financiamiento de la Unión Europea, con el objetivo de observar las capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico del sector en Chile, así como las oportunidades de desarrollo que presenta (CONICYT, 2008).

Por otra parte, la Federación Española del Vino realizó un estudio acerca de la competitividad del vino español y planes para su mejora, en el que se plantean alternativas de mejora en la producción y comercialización del vino de aquél país (Ley, 2008).

En México, se realizó el estudio titulado "La industria vinícola mexicana y las políticas agro-industriales: panorama general" por un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (Font *et al.*, 2009), cuyo enfoque principal se concentra en exponer las políticas públicas que se requieren para fortalecer el desarrollo de la industria vinícola en México.

El sector vitivinícola en México

Hoy en día el vino mexicano tiene un lugar relevante dentro de los vinos del nuevo mundo y comienza a destacar en los mejores concursos del mundo, al mismo tiempo que se presenta un crecimiento por el interés en el consumo de esta bebida en el mercado mexicano.

En México, se tiene más de medio centenar de empresas productoras de vino tinto, blanco, espumoso y dulce que exportan más de 300 etiquetas de vino a más de 30 países (Rojas, 1998). En los últimos 10 años ha crecido el consumo de vino en el país y la tendencia se mantiene creciente, tal vez como consecuencia de la instauración y fortalecimiento de la cultura del vino y la integración de este producto en un estilo de vida que está siendo influenciado por tendencias observadas en otros mercados.

El vino mexicano está en un momento de posicionamiento importante, sin embargo, no se puede negar que el enófilo mexicano tiene gustos cosmopolitas. La preferencia en el consumo de vinos extranjeros parece estar fundada en factores

como una baja producción nacional, falta de apoyo gubernamental, miedo a lo nuevo o mero malinchismo (Chan, 2009).

Las opiniones de expertos, indican que el vino chileno es el más competitivo, en cuanto a volumen de venta se refiere en el mercado mexicano, situación que afecta directamente la competitividad de los vinos nacionales en dicho mercado. Esta situación motiva a la investigación de los factores que otorgan mayor competitividad a vinos extranjeros frente a los nacionales en México.

De acuerdo con el estudio realizado por la Asociación Nacional de Viticultores (Chan, 2009), el 70% del consumo en el mercado de vinos en México proviene del extranjero. Entre los principales orígenes del vino, destaca Chile como primer país de origen de dichas importaciones; esto motiva a analizar la competitividad en el mercado de vinos en México, con el propósito de elevar dicha competitividad en el sector de referencia.

Competitividad del sector vitivinícola en México: las cinco fuerzas de Porter

La formulación de una estrategia competitiva, consiste esencialmente en relacionar una empresa con su ambiente fundamental, que es la industria o industrias donde ella compite. La estructura de la industria contribuye decisivamente a determinar las reglas competitivas del juego y también las estrategias a que puede tener acceso la empresa. En la figura 1, se observa que "la intensidad en una industria depende de las cinco fuerzas competitivas" (Porter, 2009). Las cinco fuerzas competitivas que señala Porter constituyen el interés central del presente trabajo. Para tales efectos, el concepto industria en el modelo de Porter, equivaldrá al concepto de sector vitivinícola.

Figura 1. Cinco fuerzas competitivas



Fuente: Porter (2009).

Es importante considerar que el objeto del análisis sectorial es comprender los mecanismos internos de la competitividad de dicha industria. El análisis sectorial no se limita a elaborar un listado de puntos fuertes y débiles, sino que concibe a una industria en términos globales y sistémicos (Porter, 2009). El presente estudio pretende analizar en términos globales y sistémicos la configuración del sector vitivinícola mexicano, y definir su competitividad. La estructura sectorial, en este caso del sector vitivinícola, se desarrolla a partir de una serie de características que determinan la fortaleza de cada fuerza competitiva. Para analizar la competitividad de un sector productivo es necesario definir el alcance geográfico, el cual, para efecto del presente estudio es México. También es necesario identificar los productos que concurren en esta industria. El sector vitivinícola incluye a los vinos de mesa, a saber, vino tinto, vino blanco, vino rosado, vino espumoso y vino dulce, de los cuales, el foco de atención es el vino tinto.

Adicionalmente, se deben identificar los participantes y dividirlos en grupos. Los participantes del sector vitivinícola en México se dividen en los siguientes grupos: productores, comercializadores y consumidores de vino. Los competidores se dividen en dos clases: los competidores directos (productores y comercializadores de vino) y los competidores indirectos (comercializadores de productos sustitutivos al vino). Por otra parte, los productos sustitutivos al vino incluyen a los siguientes productos: brandy, cerveza, mezcal, ron, tequila, vodka y whisky, que representan las bebidas alcohólicas que compiten con los vinos de mesa en el mercado mexicano.

Estas bebidas están consideradas dentro de los licores con fortaleza competitiva en el mercado mexicano (D'Andrea, 2001). Finalmente, dentro del análisis sectorial, los posibles aspirantes se refieren a aquellas empresas productoras y/o comercializadoras que tengan interés en entrar a competir en el mercado vitivinícola mexicano.

Dentro del análisis de las cinco fuerzas competitivas, se tienen las amenazas de entrada, donde, los nuevos aspirantes a entrar en una industria, aportan una nueva capacidad y un deseo de obtener una cuota de mercado que ejerce presión en los precios, los costos y el índice de inversión necesario para competir (Porter, 2009).

Se define como industria relevante, al sector vitivinícola, que incluye producción vitícola, producción vinícola y comercialización vinícola; se identifica a los participantes y se dividen en grupos (proveedores, competidores, sustitutivos y posibles aspirantes); se evalúan las influencias subyacentes de cada fuerza competitiva para determinar cuáles son las fuertes y las débiles y por qué; se determina la estructura general de la industria (del ramo vitivinícola) y, se identifican los aspectos de la estructura de la industria (ramo vitivinícola) que podrían estar influenciados por los competidores, por los aspirantes o por la propia compañía (Porter, 2009).

En cuanto a las *barreras de entrada*, éstas se refieren a las ventajas de las que gozan los miembros establecidos, en comparación con los nuevos aspirantes a ingresar al sector vitivinícola mexicano. Existen siete fuentes principales para ello y que se refieren a: a) economías de escala por parte de la oferta, b) beneficios de escala por parte de la demanda, c) costos por el cambio de clientes, d) requisitos de capital, e) beneficios para los miembros independientemente del tamaño, f) acceso desigual a los canales de distribución y, g) política restrictiva del gobierno (Porter, 2009).

Por otra parte, la influencia de los proveedores, se refiere a que los proveedores influyentes acaparan más valor para sí mismos, al cobrar un precio elevado, limitar la calidad o los servicios, al traspasar sus costos a los participantes de la industria. Las empresas dependen de una amplia variedad de grupos distintos de proveedores. Un grupo de proveedores es influyente si: *a)* Está más concentrado que la industria a la que vende. *b)* El grupo de proveedores no depende demasiado de la industria para obtener beneficios. *c)* Los participantes de una industria se enfrentan a fluctuaciones en los costes y a proveedores inestables. *d)* Los proveedores ofrecen productos que están diferenciados entre sí. *e)* No existe substitutivo alguno del producto que ofrece el grupo proveedor. *f)* El grupo proveedor puede amenazar, de forma creíble, con integrarse a la industria (Porter, 2009).

En una tercera dimensión de análisis, tenemos la influencia de los compradores, donde los clientes influyentes pueden acaparar más valor al forzar los precios a la baja, exigiendo mejor calidad o más prestaciones (lo cual hace subir los costos) y enfrentando en general a los distintos participantes en una industria. Todo ello, a

costa de la rentabilidad de una industria. Un grupo de clientes ejerce influencia negociadora si: *a)* Existen pocos compradores, o si cada uno compra en volúmenes grandes en comparación al tamaño de un solo vendedor. *b)* Los productos de la industria están estandarizados o no se diferencian entre sí. *c)* Los compradores se enfrentan a pocas variaciones en los costes al cambiar de vendedor. *d)* Los compradores pueden amenazar con retirarse y producir ese mismo producto si los vendedores son demasiado rentables (Porter, 2009).

La amenaza de los sustitutivos, es donde un sustitutivo realiza una función idéntica o similar a la del producto de una industria, pero de distinta manera. Los sustitutivos siempre están presentes, pero es fácil que los pasemos por alto porque pueden parecer muy distintos al producto del sector. Se tiene un sustitutivo cuando se puede prescindir de ese producto, cuando se prefiere comprar uno usado en vez de adquirir otro nuevo o cuando lo fábrica el consumidor (trae el servicio o producto a casa). La amenaza de un sustitutivo es elevada si: a) ofrece una atractiva equiparación entre precio y prestaciones al producto de la industria y, b) para el comprador, el coste de pasarse a un producto sustitutivo es muy bajo (Porter, 2009).

Finalmente, tenemos la rivalidad entre competidores existentes, la cual adopta muchas formas conocidas, entre las cuales se incluyen los descuentos en los precios, nuevas mejoras en el producto, campañas de publicidad y mejoras en el servicio. La intensidad de la rivalidad es mayor si: *a)* Los competidores son muy numerosos o muy parecidos en tamaño e influencia. *b)* El crecimiento de la industria es lento. *c)* las barreras de salida son elevadas. *d)* Los rivales están altamente comprometidos con el negocio y tienen aspiraciones de liderazgo, en especial si cuentan con objetivos que van más allá de la rentabilidad económica en una industria determinada. *e)* Las empresas no pueden interpretar adecuadamente las señales de los demás por falta de familiaridad con los contrincantes, los distintos enfoques de la competitividad u objetivos diferentes (Porter, 2009).

Análisis de la industria vitivinícola nacional

Los productores de vino nacionales enfrentan los retos y oportunidades que provienen de las cinco fuerzas competitivas previamente analizadas, por lo que es importante entender el entorno de competitividad en que se desenvuelven. Los resultados que se mencionan en este trabajo, provienen de un estudio realizado a través de cuestionarios que fueron aplicados mediante entrevistas a empresas productoras y comercializadoras de vino tinto en el mercado de vinos en México. De la misma manera, se diseñaron y aplicaron cuestionarios mediante una encuesta a consumidores de vino

en México, así como a consumidores de bebidas sustitutivas al vino en el mismo mercado.

Por lo que se refiere a la dimensión del poder de negociación de proveedores, las empresas de producción vinícola en México enfrentan la influencia de sus proveedores, principalmente de los productores vitícolas. Es importante explicar que no todas las empresas vinícolas cuentan con viñedo propio y, se ven obligados a comprar uva a diversos viticultores en el país. Por esta razón, las condiciones de producción vitícola son un elemento importante a ser considerado, dado que la calidad del vino que se produce, depende directamente de la calidad de las uvas con que se realiza la vinificación.

Otros elementos significativos en esta fuerza competitiva tienen que ver con las condiciones de cultivo de la vid que guardan las empresas productoras, así como sus técnicas de producción vitícola.

En cuanto a la dimensión de amenaza de nuevos aspirantes, las empresas de producción vinícola enfrentan la posibilidad de entrada de nuevos competidores en el mercado, especialmente motivados ante el crecimiento de demanda de vino en el mercado mexicano. Es conveniente aclarar que los productores que actualmente participan en la cadena vitivinícola, no cuentan con apoyos a la producción de vino, que provengan de programas gubernamentales para el fomento de la producción vitivinícola en México. Esta situación restringe a las empresas vinícolas a tratar de competir en el sector, con sus propios medios y recursos.

Los elementos de la estrategia de inteligencia comercial, que se derivan de la fuerza competitiva de amenaza de nuevos aspirantes, representan las barreras que los competidores ya establecidos en la cadena vitivinícola establecen y se refieren a aspectos como las técnicas de producción vinícola, la experiencia enológica, el volumen de producción de vino y el posicionamiento del mismo por parte de las empresas productoras en el país.

Como tercera dimensión, en lo referente a la rivalidad de los competidores existentes, las empresas de producción vinícola enfrentan las acciones realizadas por otros productores en el sector, así como las que llevan a cabo los comercializadores de vino y de sustitutivos al vino en su afán de ganar cuota de mercado. Es importante mencionar que esta rivalidad se presenta en México proveniente de otros productores y comercializadores tanto nacionales como internacionales.

Los elementos que proporcionan competitividad a los integrantes del sector vitivinícola mexicano se relacionan con aspectos como el tipo de comercialización, las prácticas comerciales, los esfuerzos promocionales y la comunicación de las empresas productoras de vino con el consumidor en el mercado mexicano.

En la cuarta dimensión, relativa al poder de negociación de los compradores, las empresas de producción vinícola enfrentan la presión que ejercen los consumidores a través de sus hábitos de compra y de consumo, mismos que derivan de los gustos y preferencias de los consumidores y de las decisiones que toman para comprar vino en uno o diversos tipos de puntos de venta. Los elementos importantes en esta fuerza competitiva tienen que ver con el perfil del consumidor, sus hábitos de compra y de consumo, sus gustos y preferencias, así como las características de los vinos que se producen por las diferentes empresas del sector vitivinícola mexicano.

En la quinta dimensión que se refiere a las amenazas de productos sustitutivos al vino, las empresas de producción vinícola enfrentan el riesgo de que el consumidor prefiera realizar la compra y consumo de bebidas sustitutivas al vino que, para efecto de la presente investigación se consideraron: brandy, cerveza, mezcal, ron, tequila, vodka y whisky.

Los elementos que se observaron en esta fuerza competitiva son: el perfil del consumidor de bebidas sustitutivas al vino, sus hábitos de compra y consumo, así como las características que buscan en los diferentes sustitutivos al vino, entre los más importantes.

Conclusiones

Las empresas vinícolas mexicanas enfrentan las fuerzas competitivas que se derivan de las acciones de otros productores nacionales e internacionales, así como de los comercializadores de vino y de sustitutivos al vino y, finalmente, de los consumidores de vino y de bebidas sustitutivas al vino. Por otra parte, la evolución en el consumo de vino ha incrementado en México y a nivel mundial, situación que presenta la oportunidad para que las empresas vinícolas mexicanas busquen elevar su competitividad a través del uso y aplicación del modelo de las cinco fuerzas competitivas. Una de las acciones necesarias que se observaron, es lograr vender más y mejor. Cabe señalar que los competidores existentes en el sector analizado tienen objetivos similares, ser más competitivos. La competitividad se refleja a través de elementos como son: calidad, precio, imagen y capacidad de distribución del vino, entre otros.

Una de las acciones centrales que necesitan desarrollar los productores de vino en México es la optimización de productos y procesos, de acuerdo con la apreciación que le otorgan los consumidores de vino en el mercado mexicano.

Derivado del análisis de las cinco fuerzas competitivas, y centrados en los tres actores principales en el sector vitivinícola mexicano, los cuales son: productores,

comercializadores y consumidores; se presentan las conclusiones para cada una de ellas, mismas que se mencionan a continuación.

Para elevar la competitividad en la Producción, se recomienda que las empresas productoras de vino emprendan acciones como: formar profesionalmente al personal que participa en la producción vitivinícola, ajustar las condiciones de producción a las necesidades observadas en el mercado, invertir en innovación y desarrollo tecnológico en los procesos productivos, diferenciar su oferta de vinos, mejorar la presentación de sus productos y mejorar la relación precio-calidad del vino.

Para elevar la competitividad en la Comercialización, es importante que las empresas se enfoquen en acciones como: crear una imagen de vino mexicano, conocer de cerca las preferencias de los consumidores, incorporar a nuevos consumidores a través de estrategias de marketing y comercialización adecuadas, mejorar las condiciones de distribución y comercialización del vino, ofrecer incentivos al consumo de vino como promociones y mejores precios y hacer promoción y difusión de los productos vinícolas mexicanos.

Para elevar las posibilidades de Consumo, se recomienda que las empresas del sector vitivinícola en México, se concentren en alternativas como: mejorar la presentación del vino, informar al consumidor de las características que distinguen a sus vinos, posicionar al vino como un producto saludable y de vanguardia, así como invertir en la difusión de la cultura de vino en el mercado mexicano, a través de catas, cursos, seminarios y degustaciones. Algo importante por destacar, es recomendar a la industria o el sector vitivinícola el realizar una fuerte labor de difusión sobre las aportaciones y beneficios del vino en el ser humano. En una época en la que el ser humano esta preocupado por su salud, es importante destacar las bondades del vino y aclarar que su consumo en moderación es bueno para la salud.

A partir de las propuestas realizadas en la presente investigación, queda abierta la posibilidad de profundizar en cada una de ellas a través de estudios posteriores que den continuidad.

Sobre los autores

Alejandra Vera González,[1] Karla María Nava Aguirre,[2] Javier Hernández Treviño,[2] Dario Hernández Fernández del Campo,[2] Universidad Autónoma de San Luis Potosí,[1] Universidad Autónoma de Tamaulipas,[2] correos electrónicos avera@uaslp.mx; knava@uat.edu.mx; javhdz@uat.edu.mx; dhfernan@uat.edu.mx

Referencias

Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Gobierno de Chile (CONICYT) (2008), "El sector vitivinícola en Chile. Capacidades de investigación y áreas de desarrollo científico-tecnológico", disponible en http://www.embassyofchile.se/espanol/Documentos/Vino_Wine_BD.pdf; consultado el 1 de septiembre de 2010.

Chan, Jennifer (2009), "Radiografía del gusto mexicano", *Vinisfera*, 2(9), pp. 38-45.

D'Andrea, G. y J. Quelch (2001), *Marketing estratégico en Latinoamérica: Casos de estudio*, Buenos Aires, Prentice Hall. pp. 309-328.

Dominé, A. (2003), *El Vino*. España, Könemann.

Font P. I., P. P, Gudiño, M. A. Sánchez (2009), "La industria vinícola mexicana y las políticas agroindustriales: panorama general", disponible en http://redpol.azc.uam.mx/descargas/numero2/2vino.pdf. UAM Azcapotzalco; consultado el 1 de septiembre de 2010.

Gobierno de España (2010), "El Gobierno de España apoya con más de doscientos mil euros la Plataforma Tecnológica Nacional del Vino, con sede en La Rioja", disponible en http://www.mpt.gob.es/es/ministerio/delegaciones_gobierno/delegaciones/larioja/actualidad/notas_de_prensa/notas/2010/10/2010_10_27.html; consultado el 1 de octubre de 2011.

Ley, Rafael (2008), "La competitividad del vino español y planes para su mejora", disponible en http://www.ccin.es/pdf_documentacion/ntic/RafaelRey.pdf; consultado el 1 de septiembre de 2010, Federación Española del Vino. España.

Porter, M. (2009a) (a), *Estrategia Competitiva*, México, Patria, pp. 19-88; 103-196.

Porter, M. (2009b), *Ser competitivo*, España, Deusto, pp. 31-68.

Rojas Soriano, R. (1998), *Guía para realizar investigaciones sociales*, (30ª), México, Plaza y Valdés.

Sección 2. Alimentos funcionales

Microbiota intestinal, importancia en la salud y modulación mediante el consumo de prebióticos

Gabriela Ramos Clamont Montfort y Luz Vázquez Moreno

Resumen

En el transcurso de la evolución, diversos microorganismos se han adaptado para sobrevivir al medio ambiente del intestino humano, estableciendo una relación simbiótica con su hospedero. En conjunto, estos microorganismos se conocen como microbiota intestinal (MI), formada por más de 500 especies. Por cada célula humana hay aproximadamente 10 células microbianas; esto nos convierte en un supraorganismo cuyo genoma total, estaría conformado por nuestro genoma humano más la totalidad del genoma de nuestra microbiota (100 veces mayor al genoma humano), conocido como microbioma. La gran mayoría de la MI (microbiota residente), es fundamental para la salud del hospedero, ya que tiene la capacidad de modular a su sistema inmune, de promover la absorción de minerales y de sintetizar vitaminas, entre otros efectos. Si las poblaciones de microorganismos benéficos disminuyen, se presenta un desbalance de la MI conocido como disbiosis. Diversos factores influyen en el desbalance de la MI; uno muy importante, es la alimentación actual. La disbiosis promueve la aparición de inflamación intestinal, enfermedades autoinmunes e infecciones, entre otras. El consumo de alimentos que contengan prebióticos, se presenta como alternativa para modular el crecimiento de microorganismos benéficos con el fin de recuperar la salud intestinal. En este capítulo de revisión se discutirán: la importancia de la microbiota intestinal, las causas y consecuencias de la disbiosis y la efectividad del consumo de prebióticos para modularla.

Palabras clave: microbiota, dieta, salud, prebióticos.

Introducción

La microbiota gastrointestinal humana es un sistema complejo de microorganismos que colonizan al aparato digestivo. En este consorcio existen entre 500 y 1000 especies microbianas diferentes (Berg, 1996; Artis, 2008; Bick *et al.*, 2006; Quigley, 2010), con una densidad celular de 10 veces más células microbianas, que la cantidad de células somáticas por las que estamos formados (Fric, 2007; Artis, 2008). Así, 90% de las células (considerando procariotas y eucariotas), que componen al organismos humano son de origen microbiano. Esto nos convierte en un superorganismo o en hombres y mujeres-ecosistema con dos genomas, el humano, heredado de nuestros padres y el microbioma, adquirido del medio ambiente, después de nacer (Lederberg, 2000; Zhao y Chen, 2010). Ambos genomas conforman al hologenoma (Zibcr- Rosenberg y Rosenberg, 2008), que controla al metabolismo humano-microbiano de nuestro cuerpo (Nicholson *et al.*, 2005). Por lo que, nuestro metabolismo global, es el resultado de las interaccionas entre los dos genomas y nuestro ambiente (Zhao y Chen, 2010).

Si nuestro hologenoma trabaja en armonía, conservamos la salud, si el balance se rompe, aparece la enfermedad (Nicholson *et al.*, 2005). Esto es porque, a diferencia del genoma humano, el genoma microbiano es muy flexible y puede ser modulado, entre otras cosas, por el tipo de medicinas o los alimentos que ingerimos. Por ejemplo, los tratamientos prolongados con antibióticos o el abuso de estos medicamentos, provocan la disminución de las poblaciones de microbianas benéficas del intestino (bifidobacterias y lactobacilos) y permiten la proliferación de microorganismos como el *Clostridium difficile*, que produce diarreas (Levy *et al.*, 2000). En el caso de los alimentos, las dietas ricas en grasas y carbohidratos refinados y pobres en fibras solubles e insolubles, también disminuyen las poblaciones de microorganismos benéficos en nuestro intestino, favoreciendo la aparición de enfermedades relacionadas con la inflamación intestinal permanente y de enfermedades autoinmunes cuya incidencia crece diariamente (Laparra y Sanz, 2010). Por otro lado, si comemos alimentos que promuevan el crecimiento de poblaciones microbianas benéficas, podremos conservar, mejorar o ayudar a restaurar nuestra salud, según sea el caso.

El crecimiento de poblaciones de lactobacilos y bifidobacterias que disminuyen la inflamación, las alergias y las infecciones, puede estimularse con el consumo de prebióticos (McFarlane *et al.*, 2007). Los prebióticos son carbohidratos no digeribles por el humano, que pueden ser metabolizados por la microbiota benéfica residente del intestino, estimulando su crecimiento (MacFarlane *et al.*, 2007). Ya que ningún humano puede escapar de su microbioma y de los efectos que esta produzca en su organismo,

es importante encontrar las formas de modular; es decir, establecer estrategias para que se desarrollen poblaciones de microorganismos que nos hagan un bien. En este capítulo revisaremos las evidencias científicas que prueban que el consumo de carbohidratos prebióticos, pueden modular el crecimiento de ciertas poblaciones de nuestra microbiota intestinal.

Composición de la microbiota gastrointestinal

De acuerdo a su permanencia en el tracto gastrointestinal, la microbiota puede dividirse en: *a)* Residente (MR) o autóctona. *b)* Transitoria o pasajera. La microbiota residente se adhiere a la mucosa y a las células epiteliales; está bien adaptada a nuestro organismo, es reconocida como propia por el sistema inmune y se restablece constante y rápidamente (Sanz *et al.*, 2004). La composición de la MR difiere cualitativamente y cuantitativamente en los distintos segmentos del tracto gastrointestinal. En el esófago, las concentraciones de microorganismos van desde 10^4 a 10^6 UFC/mL; en el estómago < 10^4 y el duodeno hasta de 10^4 UFC/mL; en el yeyuno e ileon habitan en promedio de 10^4-10^8 UFC/mL, mientras que en el colon se encuentra la mayor cantidad de microorganismos que va desde 10^9 hasta 10^{12} UFC/mL (Blaut y Clavel, 2007). Las poblaciones de anaerobios estrictos aumentan a medida que avanza el intestino, hasta alcanzar su máximo en el colon. La diversidad de géneros y especies también se encuentra estratificada horizontalmente (Swidsinski *et al.*, 2002). En el caso del colon se distingue entre la MR adherida a las mucinas, a las criptas y a los colonocitos (Blaut y Clavel, 2007; Swidsinski *et al.*, 2002). En la figura 1 se esquematizan algunos de los géneros bacterianos de la MR, más conocidos.

La microbiota transitoria o pasajera, se incorpora al tracto intestinal a través de fuentes exógenas como los alimentos y el agua. Dentro de ella pueden encontrarse microorganismos patógenos o potencialmente patógenos para la salud, que buscan adherirse al epitelio intestinal, para invadir e infectar a nuestros tejidos (Sanz *et al.*, 2004). Los microorganismos benéficos de la microbiota residente, establecen entonces una competencia por los sitios de adhesión con los microorganismos patógenos; además activan a nuestro sistema inmune y sintetizan compuestos inhibitorios, para impedir que los patógenos nos infecten (Isolauri *et al.*, 2004).

Cuadro 1. Funciones de la microbiota residente en el intestino

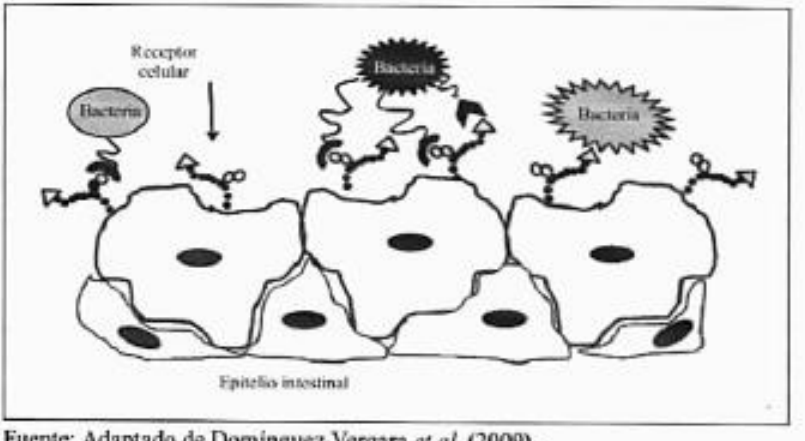
Función	*Beneficio*	*Efectos demostrados/mecanismo*
Estructural	Mantenimiento de la integridad intestinal	Estimulación del crecimiento de células intestinales mediante la producción de butirato.
	Protección contra la colonización de patógenos /disminución de infecciones	Competencia por receptores de adhesión al intestino.
		Desplazamiento de los sitios de adhesión.
		Inhibición de crecimiento por producción de sustancias antimicrobianas (bacteriocinas, ácido láctico).
		Competencia por nutrientes.
	Regulación de la angiogénesis	Estimulación de microvascularización.
Metabólicas	Beneficios nutricionales al hospedero	Síntesis de vitaminas (K, folatos, biotina, B12).
		Mejora en la absorción de Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe^{+2}
		Metabolismo de colesterol y de ácidos biliares conjugados.
	Regulación hormonal	Homeostasis de la energía: Modulación de ghrelina (apetito) y leptina (saciedad).
		Metabolismo de estrógenos.
	Fermentación de carbohidratos no digeribles (prebióticos)	Producción de ácidos grasos de cadena corta. Estimulación del crecimiento de bacterias benéficas.
	Aprovechamiento de compuestos bioactivos	Metabolismos de isoprenoides.
	Protección contra compuestos tóxicos	Metabolismo de xenobióticos.
Modulación de sistema inmune	Homeostasis intestinal	Estimulación de tejido linfoide intestinal.
	Activación de defensas del sistema inmune mucosal	Producción de citocinas intraepiteliales y de la lámina propia.
		Secreción de IgA por nódulos linfáticos del mesenterio.
		Maduración de células T cooperadas a células TH1/th2 y Th3/Tr.
		Tolerancia a antígenos alimentarios a través de la disminución de la producción de IgE (reacciones alérgicas).
		Estimulación de células presentadoras de antígenos.
	Tolerancia inmunológica que permite al organismo reconocer a la MI como un elemento propio	Interacción de moléculas de la bacteria con receptores tipo Toll.

Fuente: Adaptado de Domínguez-Bello y Blaser (2008).

Adquisición y desarrollo de la microbiota intestinal

El tracto digestivo del feto es estéril. La colonización microbiana comienza durante y después del nacimiento (Palmer *et al.*, 2007). El establecimiento de los microorganismos se lleva a cabo mediante interacciones reversibles (electrostáticas, iónicas, puentes de hidrógeno, fuerzas de van del Walls), entre la bacteria y la superficies de las membranas del epitelio intestinal (figura 2), o entre la bacteria y la mucosa intestinal. Las interacciones se promueven mediante el biorreconocimiento molecular en donde proteínas específicas de la pared celular bacteriana (adhesinas, tipo lectina), reconocen a carbohidratos de las glicoconjugados de la pared celular (Abraham *et al.*, 2002). También puede darse un reconocimiento entre las proteínas S-layer de los microorganismos, y secuencias de proteínas de la superficie de la membrana celular (Deepika *et al.*, 2010).

Figura 2. Esquematización del biorreconocimiento bacteria-hospedero que permite la colonización de la microbiota intestinal



Fuente: Adaptado de Domínguez-Vergara *et al.* (2009).

La colonización bacteriana del intestino se completa durante la primera semana de vida; sin embargo, el número de especies colonizadoras puede fluctuar bastante, durante los primeros 5 meses (Palmer *et al.*, 2007). Las primeras bacterias que adquirimos son anaerobias facultativos del tipo de las enterobactereas (*Enterobacteria*, *Staphylococci* y *Streptococci*). Estos primeros colonizadores pertenecen a especies potencialmente patógenas; sin embargo, pocas veces causan enfermedad

durante esta etapa (Dethlefsen *et al.*, 2007), ya que consumen el O_2 del intestino, creando un ambiente reductor óptimo para el establecimiento y crecimiento de anaerobios estrictos de los géneros *Bacteroides, Clostridium y Bifidobacterium y Ruminococci* (Vael y Desager, 2009). A medida que transcurre el tiempo, aumenta la diversidad de estos anaerobios estrictos, que forman una barrera de protección, impidiendo que otras especies colonicen a nuestro intestino (Favier *et al.*, 2002; Palmer *et al.*, 2007).

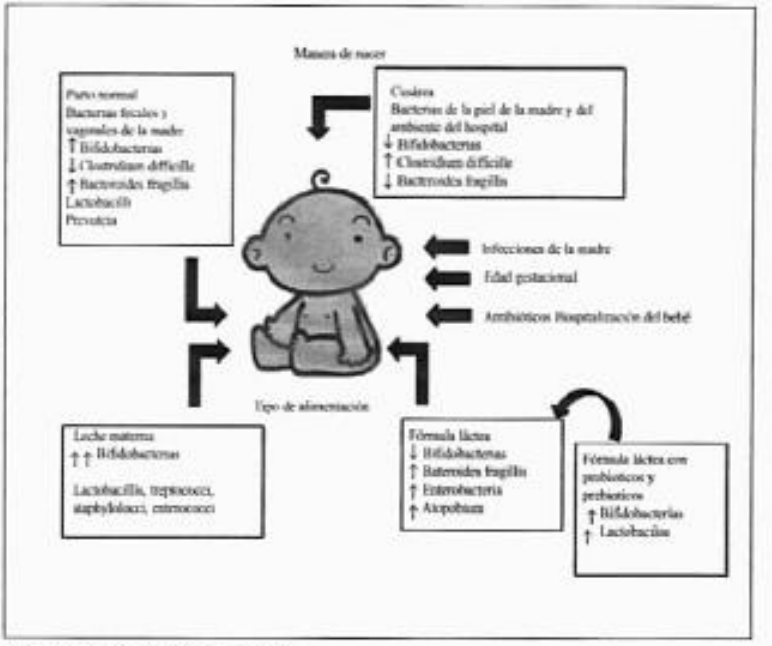
Tanto el tipo de microorganismos que adquirimos, como la velocidad de su crecimiento, tendrán gran repercusión en el desarrollo de nuestro sistema inmune, así como en la maduración, la regulación de la permeabilidad y la salud de nuestro intestino (Sanz *et al.*, 2004). Es importante que prevalezcan poblaciones de bacterias benéficas de anaerobios estrictos; entre ellas, las Bifidobacterias.

La manera en que nacemos, la manera en que nos alimentan, los factores medioambientales, la exposición a antibióticos y el consumo de ciertas moléculas funcionales, son factores que inciden o modulan el tipo de microbiota residente que nos colonizará durante las primeras etapas de nuestra vida (Pugnani *et al.*, 2010). En la figura 3 podemos ver una síntesis de estos factores. Los niños que nacen por vía vaginal (parto natural), adquieren una MR parecida a las microbiotas vaginal y fecal de la madre. Algunos de los géneros encontrados son, *Lactobacillus, Prevotella, Sneathia,* pudiéndose encontrar también *Bacteroides*; también se reportan mayores poblaciones de *Bifidobacterium* y menores de *Clostridium difficille* (Domínguez-Bello *et al.*, 2010; Marques *et al.*, 2010). Por otro lado, los niños nacidos por cesárea, adquieren una microbiota más parecida a la de la piel de la madre o de las personas y los ambientes con las que tienen mayor contacto; se encuentran menores poblaciones de *Bifidobacterium* y mayores de *C. difficille* (Biasucci *et al.*, 2010).

El tipo de alimentación que se da al bebé también influye, la leche materna produce poblaciones más estables de bacterias con mayor prevalencia de *Bifidobacterium*, en comparación con los niños alimentados con fórmula, en la que se encontraron 2 veces menos bifidobacterias y mayor diversidad microbiana, destacando *Atopobium, Bacteroides* y coliformes (Bezirtzoglou *et al.*, 2011). Se cree que esta diferencia se debe a la presencia de diferentes moléculas en la leche humana, que no contienen las fórmulas infantiles (Prakash *et al.*, 2011). Entre estos factores se encuentran los prebióticos llamados galactooligosacáridos y algunas proteínas de defensa como la lactoferrina (MacFarlane *et al.*, 2007). Actualmente algunas fórmulas lácteas contienen probióticos Lactobacilos y Bifidobacterias), prebióticos (galactooligosacáridos y fructooligosacáridos), y/o lactoferrina, observándose que en los bebés que las consumen se modifica, se reduce el número de microorganismos

potencialmente patógenos y aumentan las poblaciones de bifidobacterias y lactobacilos (Prakash *et al.*, 2011). Estos son los primeros indicios de que los carbohidratos prebióticos pueden "programar" o modular a nuestra MR.

Figura 3. Factores que influyen en el tipo de microbiota que coloniza a los recién nacidos



Fuente: Marques *et al.* (2010).

Las infecciones de la madre, la edad gestacional a la que nace el feto, la hospitalización del bebé después del nacimiento y los tratamientos con antibióticos, también influyen en el tipo de MI (Marques *et al.*, 2010). En los niños prematuros existen más colonias de *Clostridium difficille* que en los niños que llegan a término, mientras que en los bebés que son hospitalizados después de nacer, las poblaciones de este microorganismo (*C. difficile*), aumentan alrededor de 13%/día en el hospital (Penders *et al.*, 2006). El uso de antibióticos (por ejemplo, amoxicilina) y antimicóticos (por ejemplo, miconazole) durante el primer mes de vida, disminuye las poblaciones de bifidobacterias y bacteroides; aunque estas poblaciones pueden recuperarse, después de algunas semanas, si el infante es alimentado con leche materna (Penders *et al.*, 2006).

A la edad de dos años, el individuo contiene una microbiota intestinal similar a la del adulto joven (Prakash *et al.*, 2011). Durante la edad adulta la composición de la MR es relativamente estable, con excepción de periodos en que se consumen medicamentos, particularmente antibióticos. Sin embargo, es importante destacar que, el tipo de alimentación que llevemos durante nuestras vidas, influirá poderosamente sobre el tipo de microbiota que habite a nuestro intestino (MacFarlane *et al.*, 2007). La dieta occidental que actualmente consumimos los mexicanos (rica en azúcares refinados, alta en grasas y baja en fibra soluble e insoluble), disminuye las poblaciones de microorganismos benéficos del intestino, aumentando la susceptibilidad a adquirir diversas enfermedades, como veremos en el siguiente apartado.

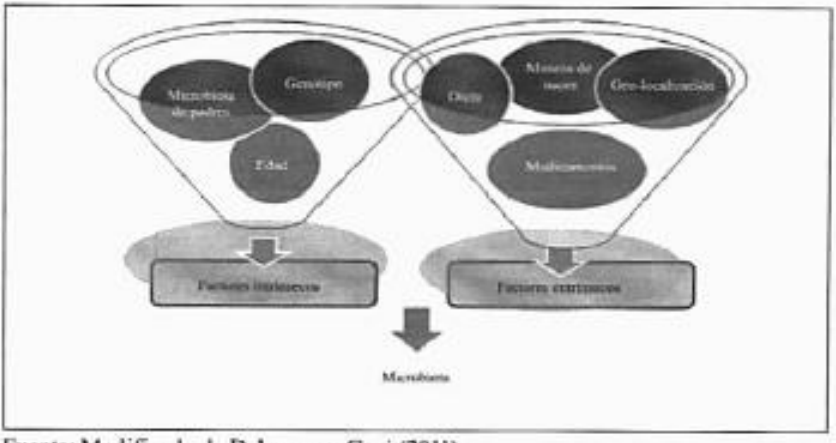
A medida que envejecemos, se observa una disminución de las poblaciones de bifidobacterias y lactobacilos, aumentando la predisposición a infecciones y otras enfermedades (Tihonen *et al.*, 2010). Por ello, también es importante buscar opciones para modular la microbiota intestinal para estas poblaciones, que crecen día a día, debido al aumento en la esperanza de vida.

Además de la dieta, el medio ambiente también influye en nuestra microbiota intestinal, de allí que la microbiota de individuos de la misma región es más parecida que la microbiota de otras regiones y la microbiota de individuos de una misma familia, presentan similitudes. De acuerdo a todo lo anterior, se concluye que existen factores intrínsecos y extrínsecos que programan el tipo de microbiota que adquirimos (figura 4). Podemos promover de nuevo los partos naturales, alimentar a los neonatos con leche humana y a través de la alimentación, influir en la microbiota que nos acompaña, a fin de conservar la homeostasis intestinal.

Microbiota intestinal, salud y enfermedad

En estado saludable, las poblaciones de la microbiota intestinal se encuentran en homeostasis (Eubiosis). De manera simplificada el balance de este estado será el siguiente (figura 5): más del 90% de la microbiota residente estará conformado por bacterias benéficas; un 1% de bacterias potencialmente patógenas (microbiota satélite) y menos de 0.01% de microbiota transitoria o pasajera, constituida principalmente por patógenas (Mohnl, 2011).

Figura 4. Factores que influyen en el tipo de microbiota intestinal de un individuo

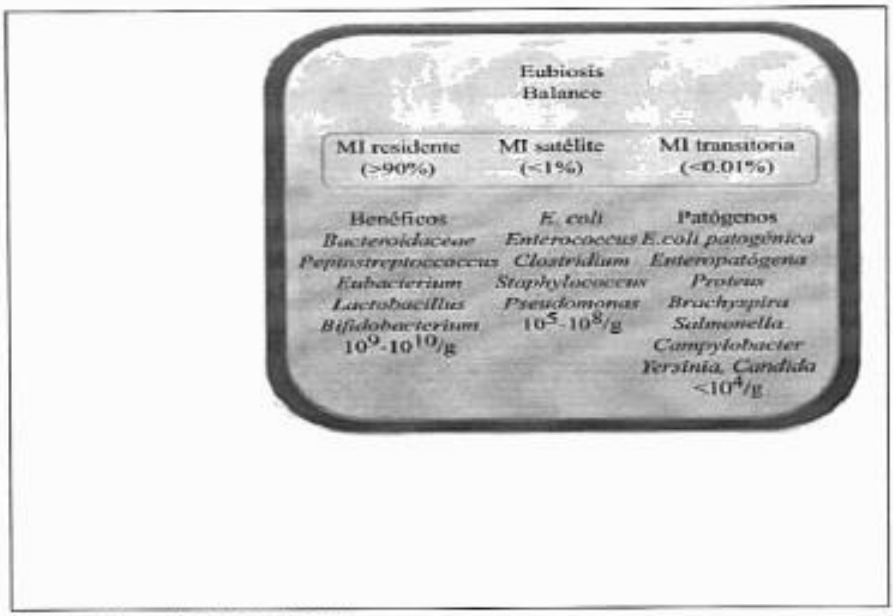


Fuente: Modificado de Delzenne y Cani (2011).

En Eubiosis, las bacterias benéficas de la microbiota residente, desarrollan las funciones que revisamos anteriormente y mantienen controladas a las poblaciones potecialmente patógenas y a las patógenas (Tihonen *et al.*, 2010). La homeostasis se pierde cuando las poblaciones de la microbiota residente benéfica disminuyen y las de las MI satélite y pasajera, aumentan. Este fenómeno puede promoverse por ejemplo, por el tipo de microorganismos que adquirimos primero, o por una infección intestinal y se conoce como Disbiosis (Marques *et al.*, 2010).

Las consecuencias de la Disbiosis sobre nuestro organismo dependen de su duración y de la predisposición genética que tengamos hacia ciertas enfermedades. La Disbiosis puede ser pasajera, por ejemplo, durante una infección intestinal o después de un tratamiento con antibióticos; o permanente, por ejemplo, si no adquirimos una MI adecuada al nacimiento. Entre los efectos del desbalance microbiano tenemos: menor grosor de la pared intestinal, menor absorción de nutrientes, inflamación; mayor producción de aminas biogénicas, toxinas e incremento en la producción de gas; aceleramiento del recambio intestinal, mayor requerimiento de energía; debilitamiento del sistema inmune, pérdida de la relación estable entre la microbiota y el hospedero que puede derivar en enfermedades autoinmunes (Mohnl, 2011).

Figura 5. Algunos de los principales géneros bacterianos que se encuentran en el intestino en estado de homeostasis o Eubiosis



Fuente: Adaptado de Mohnl (2011).

Algunas de las patogenias producidas por la disbiosis son relativamente obvias, por ejemplo, si algún medicamento destruye a una gran cantidad de microbiota benéfica, no habrá suficiente población para impedir la adhesión de patógenos a nuestro intestino. Uno de los casos más frecuentes es la colitis y la diarrea promovidas por *Clostridium difficille*, después de un tratamiento prolongado con antibióticos, principalmente en infantes, ancianos y personas inmunocomprometidas (Quigley, 2010). Por otro lado, la disbiosis intestinal está siendo asociada a una gran cantidad de enfermedades, cuya patogenia no ha sido completamente elucidada. Por ejemplo, en neonatos e infantes, se relaciona con enfermedades metabólicas (resistencia a la insulina, obesidad, hígado graso no alcohólico); enfermedad inflamatoria intestinal (IBD), enfermedad celiaca, enterocolitis necrotizante (NEC) y otras enfermedades asociadas con enterocolitis (Nell *et al.*, 2010; Del Cherico *et al.*, 2012).

Algunos estudios con niños alérgicos relacionan la dermatitis atópica con una disminución en las poblaciones de bifidobacterias, lactobacilos y bacteroides y el aumento de *C. difficille* (Bjorksten *et al.*, 1999; Bottcher *et al.*, 2000); en otros se

encontró una relación con la colonización temprana por *E. coli* y el eczema. La obesidad en modelos animales y en adultos también ha sido asociada con cambios en la microbiota intestinal. El intestino de adultos obesos contiene poblaciones más reducidas en Bacteroidetes y un mayor número de Firmicutes (Ley *et al.*, 2006). La patogenia de otras enfermedades como la enfermedad inflamatoria intestinal, la enfermedad de Crohn y la celiaca no se conocen completamente, pero también se asocian a cambios en la microbiota que inducen daño al intestino y alteraciones en el sistema inmune (Marchiando *et al.*, 2010).

Los estudios realizados para comparar la MI de personas sanas y enfermas evidencian cambios importantes; éstos pueden ser más complejos de lo que suponemos, debido a limitaciones en las herramientas para identificar y cultivar a muchos anaerobios estrictos. Con el desarrollo de las tecnologías OMICAS se encontrarán nuevos indicios que nos lleven a comprender mejor, el papel de la Disbiosis en la enfermedad (Montalto *et al.*, 2009). Sin embargo, los hallazgos encontrados hasta el momento parecen indicar que, un aumento en la diversidad de la microbiota puede asociarse con enfermedad en aquellos órganos que, de manera normal, tienen una microbiota reducida. Por el contrario una reducción en la diversidad, se asocia con enfermedad en aquellos órganos que regularmente tienen una microbiota muy diversa. Este último caso sería el de nuestro intestino.

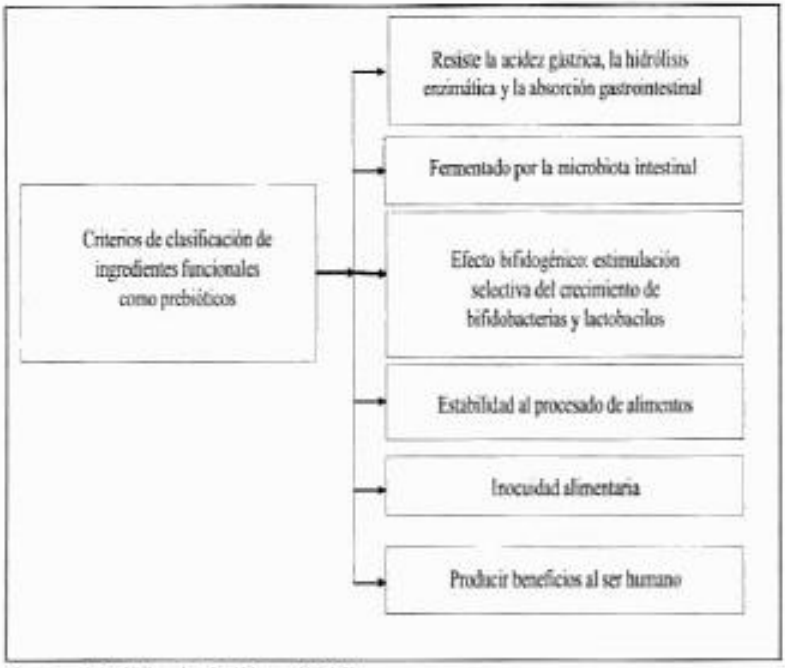
Modulación de la microbiota intestinal a través de la dieta

Existen 3 formas potenciales de influir en la composición y o actividad de la microbiota intestinal: los antibióticos, los probióticos y los prebióticos (Marques *et al.*, 2010). Los antibióticos presentan la mayor influencia; nos ayudan a controlar las infecciones por enterobacterias y pueden ser usados como parte del tratamiento para controlar la proliferación de patógenos en las enfermedades inflamatorias del intestino (Tiihonen *et al.*, 2010). Sin embargo, el uso frecuente de antibióticos para controlar de poblaciones potencialmente patógenas en el intestino promueve la resistencia bacteriana y también afecta a las poblaciones de microorganismos benéficos (Marques *et al.*, 2010). Otra alternativa es el consumo de probióticos, microorganismos vivos que, cuando se aplican en concentración suficiente, ejercen un efecto benéfico al organismo (FAO/OMS, 2001). El principal problema cuando se añaden probióticos a los alimentos, es su sobrevivencia; en otro capítulo de este libro, se discuten estos aspectos. Por último, tenemos a los prebióticos, cuyo efecto en la modulación de la MR, discutiremos a continuación.

Prebióticos

Los prebióticos son carbohidratos que estimulan el crecimiento de la microbiota intestinal responsable del bienestar y de la salud de su hospedero (Gibson *et al.*, 2004). Estos compuestos se conocen también como fibras solubles; no pueden ser digeridos por el humano y por tanto llegan casi intactos hasta el colon, donde sirven de alimento para aquellas bacterias sacarolíticas que expresan enzimas como la β-fructofuranosidasa, la α- y β-galactosidasas, la xylanasa y otras carbohidrasas (Delzenne, 2003). Debido a que el consumo de prebióticos resulta en un incremento en las poblaciones de bifidobacterias y en menor grado de lactobacilos; este efecto se conoce como bifidogénico (Bouhnik *et al.*, 2005; Gibson *et al.*, 2004). Las características que debe cumplir un prebiótico se sintetizan en la figura 6.

Figura 6. Criterios para la selección de prebióticos



Fuente: Modificada de Wang (2009).

Mecanismos de prebiosis

Una de las características más difíciles de probar de los prebióticos es su efecto benéfico sobre la salud. El efecto de estos carbohidratos es indirecto, en la medida que estimulan selectivamente el crecimiento de la microbiota benéfica, la cual activa al sistema inmune, protege contra patógenos y facilita la absorción de minerales (Gibson y Roberfoid, 1995).

Los prebióticos también tienen un efecto directo, derivado de los metabolitos que la MR, produce cuando los fermenta (Gibson *et al.*, 2004). Dichos metabolitos son los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), butírico, acético, láctico y propiónico. Los AGCC contribuyen a la homeostasis de sales y agua en el colon; promueven el mantenimiento de la barrera intestinal , intervienen en la regulación del metabolismo del colesterol y a la disminución de la inflamación intestinal (Emenaker *et al.*, 2001; Marcil *et al.*, 2002; Segain *et al.*, 2000).

Clasif cación de los prebióticos

Los primeros carbohidratos reconocidos como prebióticos son los de la leche humana, al demostrarse su efecto bifidogénico en el intestino de los infantes (Isolauri *et al.*, 2004). Las observaciones de que el intestino de niños alimentados con leche de fórmula contiene menos bifidobacterias y más coliformes, llevaron a la búsqueda de nuevas fuentes de oligosacáridos que pudieran tener efecto prebiótico (Isolauri *et al.*, 2004). Los prebióticos reconocidos son: la lactulosa, los galacto o transgalacto-oligosacáridos (GOS/TOS), la inulina y los fructuoligosacáridos o FOS. Todos ellos han demostrado su efecto bifidogénico en humanos y animales (Tuohy *et al.*, 2001; Macfarlane *et al.*, 2007; Roberfroid, 2007). El efecto prebiótico de los mano-oligosacáridos, oligosacáridos pécticos, oligosacáridos de la soya, isomalto-oligosacaridos y xilo-oligosacaridos, se encuentra en estudio (Roberfroid, 2007).

Los galactoligosacáridos o transgalactoligosacáridos se obtienen de la adición de galactosas (transgalactosilación) a la lactosa del suero de queso, con β- galactosidasa (Playne *et al.*, 1996). En México se produce gran cantidad de suero de queso que no se aprovecha y que pudiera servir como fuente de galactoligosacáridos. Dependiendo de las enzimas utilizadas y las condiciones de reacción se consiguen mezclas de tri, tetra o pentasacáridos con enlaces b 1-3, 1-6 y 1-4 (figura 7).

Figura 7. Diagrama de la producción de galactooligosacáridos a partir de lactosa



Fuente: MacFarlane *et al.* (2007).

Los fructanos son carbohidratos que se forman por la unión de glucosas; la inulina y los fructooligosacáridos (FOS) son lo que se usan actualmente como prebióticos (MacFarlane *et al.*, 2007). La inulina se forma con cadenas lineales de *β*-D-glucopiranosil-(*β*-D-fructofuranosil)n-1-*β*-D-fructofuranosido, donde la única glucosa se une por enlace *β* (1-2), y el enlace entre fructuosas es del tipo *β* (2-1). La inulina está compuesta por una mezcla de oligómeros y polímeros con un grado de polimerización (GP) que varía de 2 hasta 60 unidades (Roberfroid, 2007). Cerca del 10% de las cadenas de fructanos tienen un GP entre 2 y 5. La hidrólisis parcial de la inulina con endoinulinasa (EC 3.2.1.7) produce oligofructosa que también se conocen como fructooligosacáridos o FOS (GP=2 a 7). La oligofructosa también se sintetiza por transfructosilación usando *β*-fructosidasa (EC 3.2.1.7.) de *Aspergillus niger*.

Cada uno de los productos varía en grado de polimerización y en propiedades funcionales (Franck, 2002).

Al momento la principal fuente de inulina es la chicoria (*Chicorium intybus*), sin embargo, México tiene gran potencial para la producción de fructanos a partir de diferentes agaves. En el Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos de CIAD, estudiamos la extracción y el efecto probiótico de los fructanos de *Agave tequilana*. Estas moléculas difieren de la inulina en que se encuentran ramificados; por tanto se encuentran tanto enlaces β (2-1), como β (2-6). El contenido de fructanos de agave fluctúa entre 24 y 29%, dependiendo de la especie, mientras que el contenido en la chicoria es del 16 al 18 por ciento.

Intervenciones dietarias con prebióticos para modular a la microbiota intestinal

La definición actual de prebióticos indica que estimulan específicamente el crecimiento de bifidobacterias y lactobacilos. Lo anterior se debe a que, cuando estos carbohidratos son suministrados en la dieta en pequeñas cantidades (5-15 g/día), tienen un marcado efecto en el aumento de las poblaciones intestinales de estos probióticos. Este hecho puede detectarse por un aumento de excreción de los microorganismos en las heces (MacFarlane *et al.*, 2006; 2007). Sin embargo, la estimulación del crecimiento por estos carbohidratos también puede darse en otros microorganismos sacarolíticos. Por ejemplo, algunos investigadores han encontrado estimulación en el crecimiento de los géneros *Roseburia, Ruminococcus* y *Eubacterium*; otros, que el consumo de fructanos estimula el crecimiento de *Faecalibacterium prausnitzii* (Ramirez-Farias *et al.*, 2009); los efectos sobre la salud que ejercen estos microorganismos, también deben estudiarse (Mac Farlane *et al.*, 2006). Por otro lado, a medida que se presenten avances en las técnicas microbiológicas, podrán cultivarse y descubrirse nuevas especies que habitan en nuestro intestino, algunas de las cuales, puedan ser estimuladas por el consumo de prebióticos. En realidad, las propiedades selectivas de los prebióticos se relacionan con el crecimiento de bifidobacterias y lactobacilos a expensas de otros grupos microbianos del intestino como bacteroides, clostridia, enterobacterias y enterococos (MacFarlane *et al.*, 2006; 2007).

Los estudios para ver el efecto de los prebióticos sobre la microbiota intestinal se iniciaron en modelos animales. Sin embargo, era importante probar en humanos para ver si el efecto de los prebióticos es escalable. Varios estudios en humanos indican que el consumo de FOS estimula el crecimiento de *Bifidobacterium* spp y en

algunos casos de *Lactobacillus* spp (Bouhnik *et al.*, 2004; MacFarlane *et al.*, 2006; Kolida *et al.*, 2007). Como ya sabemos, estos grupos de bacterias se administran usualmente como probióticos y se relación con reducción en la inflamación intestinal y mejora de la barrera intestinal (Wang *et al.*, 2006). En estudios piloto de dos semanas con 10 sujetos sanos, la suplementación de GOS durante 6 semanas, promovió la saciedad, redujo el apetito y la ingestión de alimentos, además de aumentar las cuentas microbianas de bifidobacterias (Cani *et al.*, 2005). En estudio de FOS con obesos durante 12 semanas, se observó la supresión de la hormona grelina. En el cuadro 2 se resumen otros estudios en los que se demuestra la modificación de la microbiota por el consumo de prebióticos.

Cuadro 2. Estudios que demuestran el efecto prebiótico de algunos carbohidratos

Probiótico	Estudio	Resultado	Referencia
GOS	Estudio control/placebo con 12 sujetos; 10 g de GOS/día/8 semanas.	En excreción fecal de lactobacilos y bifidobacterias	Ito *et al.*, (1990).
GOS	Alimentación con 2.5 g de GOS/día/ 3 semanas.	Bifidobacterias, bacteroides	Ito *et al.*, (1993).
TOS	8 voluntarios 10 g TOS/día/3 semanas.	Bifidobacterias; enterobacterias, sin cambio	Bouhnik *et al.* (1997).
TOS	Estudio paralelo 40 sujetos 7.5 o 15 g de TOS/día/ 3 semanas.	Lactobacilos (15 g), bifidobacterias y clostridia, sin cambio; pequeña reducción de enterobacterias.	Alles *et al.* (1999).
GOS/FOS	Estudio control/placebo con 90 infantes recibiendo fórmulas lácteas con 4 u 8 g/L; GOS de peso molecular y FOS de peso molecular/28 días.	Significativo de lactobacilos y bifidobacterias en los dos tratamientos, Bifidogénesis dosis dependiente.	Moro *et al.* (2002).
GOS	Estudio control/placebo, 30 sujetos. 1) Sólo 8.1 g GOS 2) 8.1 g GOS+ 3 x10 ^{10} *B. lactis* Bb12 3) *B. lactis* Bb12 sin prebióticos	1) Ligero bifidobacterias 2 y 3 significativo de bifidobacterias	Malinen *et al.* (2002).
GOS/FOS (9:1)	Doble ciego al azar controlado; 20 infantes 29.90 días de edad; fórmula infantil con 0.8b/100 ml GOS/FOS /6 semanas	De bifidobacterias totales, composición similar a niños alimentados con fórmula materna	Haarman y Knol (2005).
GOS/FOS (9:1)	42 infantes Placebo Leche materna Fórmula con 10 g de prebiótico/L	3) Aumentos significativo de bifidobacterias. Sin cambio en clostridia ni bacteroides	Bochm *et al.* (2005).

Fuente: MacFarlane *et al.* (2007).

Microbiota, prebióticos y obesidad

La evidencia científica muestra que la microbiota de personas que presentan diversas enfermedades es diferente a la de personas sanas; por tanto, es lógico pensar que, si logramos modular o cambiar a la microbiota de las personas enfermas, pueden recuperar su salud o mejorar sus síntomas.

A continuación analizaremos el efecto del consumo de los prebióticos en la obesidad, resaltando que los estudios también se están llevando a cabo en otras enfermedades (enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedad de Crohn, autismo, enfermedad celiaca, diabetes) que no se tratarán en este capítulo.

Modulación de la microbiota mediante el consumo de prebióticos para el control de la obesidad

La obesidad es una enfermedad que se ha convertido en epidemia a nivel mundial. En nuestro país, estudiar la(s) manera(s) de prevenirla y de combatirla debe ser prioridad nacional ya que afecta a alrededor del 40% de la población (niños y adultos) con una tendencia al aumento en estos porcentajes (Secretaría de Salud, 2009). La obesidad deriva en otras enfermedades importantes (desórdenes metabólicos), que actualmente también son una epidemia en nuestro país. Entre estas se incluyen: intolerancia a la glucosa, resistencia a la insulina, diabetes tipo 2 (primera causa de muerte en México), hipertensión, dislipidemia, desórdenes fibrinolíticos, disfunción epitelial, ateroesclerosis, enfermedades cardiovasculares, hígado graso no alcohólico y esteatohepatitis no alcohólica (Eckel *et al.*, 2005; Ogden *et al.*, 2007). Los efectos adversos del sobrepeso y la obesidad son especialmente marcados después de periodos prolongados de balances positivos de energía, asociados principalmente a altos consumos de grasa y azúcares refinados de la dieta occidental que actualmente ingerimos (Delzenne y Cani, 2010). Estudios con roedores y humanos prueban una asociación entre la obesidad y alteración de la microbiota intestinal. La obesidad se caracteriza por una disminución en la diversidad filogenética de la MR; en los obesos se observa un aumento en los Firmicutres y existe controversia en cuanto si los Bacteroidetes aumentan o disminuyen (Delzenne y Cani, 2010). Los niveles de *Bifidobacterium* spp aumentan en niños con peso normal, en tanto que disminuyen en niños con sobrepeso, mientras que los de *Staphylococcus aureus* aumentan en niños con obesidad y disminuyen en niños con peso normal (Kalliomaki *et al.*, 2008). Por esta razón es lógico suponer que el consumo de prebióticos puede ayudar con el problema.

La obesidad se caracteriza por un estado de inflamación intestinal permanente. En roedores, Cani *et al.* (2007), encontraron una correlación positiva entre el consumo de prebióticos, el aumento en las poblaciones de bifidobacteria y la disminución de los marcadores de inflamación (endotoxemia por lipopolisacárido (LPS), disminución de citocinas proinflamatorias en plasma y tejido adiposo). También con roedores, otros investigadores han probado que el consumo de prebióticos activa genes que codifican para péptidos tipo-glucágon, que mejoran la homeostasis de la glucosa, y por tanto, el manejo de ésta en pacientes diabéticos o resistentes a la insulina (Delzenne y Canni, 2010). Ratones gnobióticos (libres de gérmenes) que fueron colonizados por la microbiota de ratones delgados, acumularon menos grasa que los ratones que recibieron la microbiota de ratones obesos (Bajzer y Seeley, 2006).

En humanos que consumieron 16 g de inulina por varias semanas se observó una disminución del apetito que correlacionó positivamente con disminución del consumo de energía y de la lipogénisis hepática de novo. Sin embargo, después de un consumo de 48 horas. No se observaron cambios, lo que indica que, debe haber un cambio en la microbiota provocado por el prebiótico, para que se observe un efecto (Cani y Delzenne, 2010). En pacientes obesos a los que se les ha alimentado con prebióticos durante tiempo prolongado se observó la disminución del peso y el aumento en la expresión de péptidos intestinales tipo-glucagón (Abrams *et al.*, 2007; Parnell y Reimer, 2009). Por otro lado, (Daubioul *et al.*, 2005), reportaron una disminución de las alteraciones hepáticas, después de 8 semanas de consumo de inulina.

A pesar de que la mayoría de los datos se han obtenido con modelos animales, también existen efectos promisorios en humanos que amplían el interés del estudio de la modulación de la microbiota intestinal para prevenir y aliviar el sobre peso y la obesidad. En este contexto no sólo los prebióticos, sino también los probióticos y los sinbióticos (probióticos + prebióticos) tienen un amplio potencial. Sin embargo, no debe caerse en un exceso de optimismo, ya que quedan muchas preguntas que responder; entre ellas, ¿cuáles son los mecanismos bioquímicos que permiten a la microbiota intervenir en la regulación de nuestro organismo? Y también ¿qué otros microorganismos de la microbiota que aún no hemos podido aislar intervienen en el mantenimiento de nuestra salud?

Microbiota y el proyecto del microbioma humano

La microbiota intestinal alberga una gran cantidad de especies; por cada célula humana hay aproximadamente 10 células microbianas. Considerándonos como un

supraorganismo, nuestro genoma total, estaría conformado por nuestro genoma humano más la totalidad del genoma de nuestra microbiota o microbioma (100 veces mayor al genoma humano). En 2007, el NIH (National Institutes of Health) de los Estados Unidos de Norteamérica inició el Proyecto Microbioma Humano (Human Microbiome Project o HMP). Actualmente existe un Consocio Internacional para el Estudio del Microbioma. Uno de sus objetivos es producir el genoma de referencia de al menos 900 bacterias del microbioma humano. La meta se alcanzará aprovechando los avances tecnológicos que permiten secuenciar una pregunta trascendental "¿por qué el microbioma es importante para nuestra salud y qué papel desempeña en las enfermedades?". Cada día se descubren nuevos hallazgos que nos ayudarán a encontrar la respuesta. Se está explorando una nueva frontera, que requiere de estudios rigurosamente científicos y del entusiasmo y cooperación de los científicos actuales y de las nuevas generaciones.

Sobre los autores

Gabriela Ramos Clamont Montfort y Luz Vázquez Moreno. Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos. Coordinación de Ciencia de los Alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México. gramos@ciad.mx

Referencias

Abraham, S. N., N. Sharon, I. Ofek and S. Max (2002), *30-Adhesion and Colonisation Molecular Medical Microbiology*, London, Academic, pp. 629-644.

Abrams, S. A., I. J. Griffin, K. M. Hawthorne and K. J. Ellis (2007), "Effect of prebiotic supplementation and calcium intake on body mass index", *Journal of Pediatrics*, 151, pp. 293-298.

Alles, M.S., R. Hartemink, S. Meyboom, J. L. Harryvan and K. M. J. van Laere, F. M. Nagengast and J. G. A. J. Hautvast (1999), "Effect of transgalactooligosaccharides on the composition of the human intestinal microflora, and on putative risk markers for colon cancer", *Am J Clin Nutr*, 69, pp. 980-991.

Artis, D. (2008), "Epithelial-cell recognition of commensal bacteria and maintenance of immune homeostasis in the gut", *Nature Reviews. Immunology*, 8, pp. 411-420.

Bajzer, M., and R. J. Seeley (2006), "Physiology: Obesity and gut flora", *Nature*, 444 (7122), pp. 1009-1010.

Berg, R. D. (2006), "The indigenous gastrointestinal microflora", *Trends in Microbiology*, 4, pp. 430-435.

Bezirtzoglou, E., A. Tsiotsias and G. W. Welling (2011), "Microbiota profile in feces of breast- and formula-fed newborns by using fluorescence in situ hybridization (FISH)", *Anaerobe*, 17(6), pp. 478-482.

Biasucci, G., M. Rubini, S., Riboni, L. Morelli, E. Bessi and C. Retetangos (2010), *Mode of delivery affects the bacterial community in the newborn gut*, Early Hum Dev, 86, pp. 13-15.

Bik E. M., Eckburg P. B., *et al.* (2006), "Molecular analysis of the bacterial microbiota in the human stomach", *Proc Natl Acad Sci U S*, 103(3), pp. 732-737.

Bjorksten, B., P. Naaber, E. Sepp and M. Mikelsaar (1999), "The intestinal microflora in allergic Estonian and Swedish 2-year-old children", *Clin Exp Allergy*, 29, pp. 342-346.

Blaut, M., and T. Clavel (2007), "Metabolic Diversity of the Intestinal Microbiota: Implications for Health and Disease", *The Journal of Nutrition*, 137, pp. 751S-755S.

Boehm, G., B. Stahl, J. Jelinek, J. Knol, V. Miniello and G. E. Moro (2005), "Prebiotic carbohydrates in human milk and formulas", *Acta Pediatrica*, 94, pp. 18-21.

Bottcher, M. F., E. K. Nordin, A. Sandin, T. Midtvedt and B. Bjorksten (2000), "Microflora ssociated characteristics in faeces from allergic and nonallergic infants", *Clin Exp Allergy*, 30, pp. 1590-1596.

Bouhnik, Y., B. Flourie', L. D'Agay-Abensour, P. Pochart, G. Granet, M. Durand and J. C. Rambaud (1997), "Administration of transgalacto-oligosaccharides increase fecal bifidobacterias and modifies colonic fermentation metabolism in healthy humans", *Journal of Nutrition*, 127, pp. 444-448.

Bouhnik, Y., L. Raskine, G. Simoneau, E. Vicaut, C. Neut, B. Flouria, *et al.* (2004), "The capacity of nondigestible carbohydrates to stimulate fecal bifidobacteria in healthy humans: a double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel-group, dose-response relation study", *The American Journal of Clinical Nutrition*, *80*(6), pp. 1658-1664.

Cani, P. D., E. Joly, Y. Horsmans and N. M. Delzenne (2005), "Oligofructose promotes satiety in healthy human: a pilot study", *Eur J Clin Nutr*, 60(5), pp. 567-572.

Cani, P. D., A. M. Neyrinck, F. Fava, C. Knauf, R. G. Burcelin, K. M. Tuohy *et al.* (2007), "Selective increases of bifidobacteria in gut microflora improve high-fat-diet-induced diabetes in mice through a mechanism associated with endotoxaemia", *Diabetologia*, 50, pp. 2374-2383.

Cummings, J., and S, C. Kong (2004), "Probiotics, prebiotics and antibiotics in inflammatory bowel disease" en D. Chadwick, J. Goodeeds, *Inflamm Bowel Dis. Chichester*, John Wiley and Sons, pp. 99-114.

Daubioul, C. A., Y. Horsmans, P. Lambert, E. Danse and N. M. Delzenne (2005), "Effects of oligofructose on glucose and lipid metabolism in patients with nonalcoholic steatohepatitis: results of a pilot study. European", *Journal of Clinical Nutrition*, 59, pp. 723-726.

Deepika, G., D. Charalampopoulos, I. L. Allen, S. Sima and M. G. Geoffrey (2010), "Chapter 4 - Surface and Adhesion Properties of Lactobacilli", *Advances in Applied Microbiology*, vol. 70, pp. 127-152.

Del Chierico, F., P. Vernocchi, L. Bonizzi, R. Carsetti, A. M. Castellazzi, B. Dallapiccola *et al.* (2012), "Early-life gut microbiota under physiological and pathological conditions: The central role of combined meta-omics-based approaches", *Journal of Proteomics*(0).

Delzenne, N. M., and P. D. Cani (2010), "Nutritional modulation of gut microbiota in the context of obesity and insulin resistance: Potential interest of prebiotics", *International Dairy Journal, 20*(4), 277-280.

Delzenne, N. M. (2003), "Oligosaccharides: state of the art", *Proc Nutr Soc*, 62(1), pp. 177-182.

Dethlefsen L, M. McFall-Ngai, DA Relman (2007), "An ecological and evolutionary perspective on human–microbe mutualism and disease", Nature, 449, pp, 811-818.

Dominguez-Bello, M. G., and M. J. Blaser (2008), "Do you have a probiotic in your future?", *Microbes and infection-Institut Pasteur*, 10(9), pp. 1072-1076.

Dominguez-Bello, M. G., E. K. Costello, M. Contreras, M. Magris, G. Hidalgo, N. Fierer *et al.*, (2010), "Delivery mode shapes the acquisition and structure of the initial microbiota across multiple body habitats in newborns", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(26), pp. 11971-11975.

Dominguez-Vergara, A. M., L. Vázquez-Moreno and G. Ramos-Clamont Montfort, (2009), "Revisión del papel de los oligosacáridos prebióticos en la prevención de infecciones gastrointestinales", *ALAN*, 59(4), pp. 358-368.

Eckel, R. H., S. M. Grundy and P. Z. Zimmet (2005), *The metabolic syndrome. Lancet*, 365, pp. 1415-1428.

Emenaker, N.J., G. M. Calaf, D. Cox, M. D. Basson and N. Qureshi (2001), "Short-chain fatty acids inhibit invasive human colon cancer by modulatinguPA, TIMP-1, TIMP-2, mutant p53, Bcl-2, Bax, p21 and PCNA protein expression in an *in vitro* cell culture model", *Journal of Nutrition*, 131, (11 Suppl), 30, pp. 41S-46S.

FAO/WHO (2001) "Report on Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk

with Live Lactic Acid Bacteria", disponible en ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/probio_report_en.pdf

Favier, C. F., E. E. Vaughan, W. M. De Vos and A. D. L. Akkermans (2002), "Molecular Monitoring of Succession of Bacterial Communities in Human Neonates", *Applied and Environmental Microbiology*, 68(1), pp. 219-226.

Franck, A. (2002), "Technological functionality of inulin and oligofructose", *British Journal of Nutrition*, 87 Suppl 2, pp. S287-291.

Fric, P. (2007), "Probiotics and prebiotics-renaissance of a therapeutic principle", *CEJMed*, 2(3), pp. 237-270.

Fric, P. (2007), "Probiotics and prebiotics-renaissance of a therapeutic principle", *Central European Journal of Medicine*, 2(3), pp. 237-270.

Gibson, G.R., and M.B. Roberfroid (1995), "Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics", *Journal of Nutrition*, 125(6), pp. 1401-1412.

Gibson, G.R., A. L. McCartney and R. A. Rastall (2005), "Prebiotics and resistance to gastrointestinal infections", *British Journal of Nutrition*, 93 Suppl 1, pp. S31-4.

Gibson, G. R., H. M. Probert, J. v. Loo, R. A. Rastall, and M. B. Roberfroid (2004), "Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics", *Nutr Res Rev*, 17(2), pp. 259-75.

Gustafsson, B. E. (1982), "The physiological importance of the colonic microflora", *Scandinavian Journal of Gastroenterology Suppl*, 77, pp. 117-131.

Haarman, M. and J. Knol (2005), "Quantitative real-time PCR assays to identify and quantify fecal Bifidobacterium species in infants receiving a prebiotic infant formula", *Appl Environ Microbiol*, 71, pp. 2318-2324.

Isolauri, E., S. Salmien and A. C. Ouwenhand (2004), *Probiotics. Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 18(2), pp. 299-313.

Ito, M., Y. Deguchi, K. Matsumoto, M. Kimura, N. Onodera and T. Yajima (1993), "Influence of galactooligosacharides on the human fecal flora", *J Nutr Sci Vit*, 39, pp. 635-640.

Ito, M., Y. Deuguchi, A. Miyamori, K. Matsumote, H., Kikuchi, K. Matsumoto, T. Yajima and T. Kan (1990), "Effects of administration of galactooligosaccharides on the human faecal microflora, stool weigh and abdominal sensation", *Microb Ecol Health Dis*, 3, pp. 285-292.

Kalliomaki, M., M. C.Collado, S. Salminen and E. Isolauri (2008), "Early differences in fecal microbiota composition in children may predict overweight", *American Journal of Clinical Nutrition*, 87, pp. 534-538.

Kolida, S., D. Meyer and G. R. Gibson (2007), "A double-blind placebo-controlled study to establish the bifidogenic dose of inulin in healthy humans", *Eur J Clin Nutr,* 61(10), pp. 1189-1195.

Laparra, J. M., and Y. Sanz (2010), "Interactions of gut microbiota with functional food components and nutraceuticals", *Pharmacological Research,* 61(3), pp. 219-225.

Levy, D. G., A. Stergachis, L. V. McFarland, K. Van Vorst, D. J. Graham, E. S. Johnson *et al.* (2000), "Antibiotics and *Clostridium difficile* diarrhea in the ambulatory care setting", *Clinical Therapeutics,* 22(1), pp. 91-102.

Ley, R. E., P. J. Turnbaugh, S. Klein and J. I. Gordon (2006), "Microbial ecology: Human gut microbes associated with obesity", *Nature,* 444(7122), pp. 1022-1023.

Macfarlane, S., and J. F. Dillon (2007), "Microbial biofilms in the human gastrointestinal trac", *J Appl Microbiol* 102(5), pp. 1187-1196.

Macfarlane, S., G. T. Macfarlane and J. H. Cummings (2006), "Review article: prebiotics in the gastrointestinal tract", *Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 24*(5), pp. 701-714.

Malinen, E., J. Matto, M. Salmitie, M. Alander, M. Saarela and A. Palva (2002), "II: analysis of Bifidobacterium populations in human faecal samples from a consumption trial with *Bifidobacterium lactis* BB-12 and a galacto-oligosaccharide preparation", *Syst Appl Microbiol,* 25, pp. 249-258.

Marchiando, A. M., W. V. Graham and J. R. Turner (2010), "Epithelial Barriers in Homeostasis and Disease", *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease,* 5(1), pp. 119-144.

Marcil, v., E. Delvin, E. Seidman, L. Poitras, M. Zoltowska, C. Garofalo and E. Levy (2002), "Modulation of lipid synthesis, apolipoprotein biogenesis, and lipoprotein assembly by butyrate", *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol* 283(2), G pp. 340-346.

Marques, T. M., R. Wall, R. P. Ross, G. F. Fitzgerald, C. A. Ryan and C. Stanton (2010), "Programming infant gut microbiota: influence of dietary and environmental factors", *Current Opinion in Biotechnology,* 21(2), pp. 149-156.

Mohnl, M. (2011), "Microflora intestinal y su influencia en el hospedante", disponible en CuencaRural.com acceso; consultado el 04-04.

Montalto, M., F. D'Onofrio, A. Gallo, A. Cazzato and G. Gasbarrini (2009), "Intestinal microbiota and its functions", *Digestive and Liver Disease Supplements,* 3(2), pp. 30-34.

Moro, G.E. and S. Arslanoglu (2005), "Reproducing the bifidogenic effect of human milk in formula-fed infants: why and how?", *Acta Paediatr Suppl,* 94, pp. 14-17.

Nell, S., S. Suerbaum and C. Josenhans (2010), "The impact of the microbiota on the pathogenesis of IBD: lessons from mouse infection models", *Nat Rev Micro*, 8(8), pp. 564-577.

Nicholson, J.K., E. Holmes, I. D. Wilson (2005), "Gut microorganisms, mammalian metabolism and personalized health care", *Nature Reviews Microbiology*, 3, pp. 431-438.

Ogden, C. L., S. Z. Yanovski, M. D. Carroll and K. M. Flegal (2007), "The epidemiology of obesity", Gastroenterology, 132, pp. 2087-2102.

O'Hara, A. M., and F. Shanahan (2006), "The gut flora as a forgotten organ", *EMBO Rep*, 7(7), pp. 688-693.

Ouwehand, A.C., and S. Vesterlund (2003), "Health aspects of probiotics", *IDrugs*, 6, pp. 573-580.

Palmer, C., E. M. Bik, D. B. DiGiulio, D. A. Relman and P. O. Brown (2007), "Development of the Human Infant Intestinal Microbiota", *PLoS Biol*, 5(7), p. 77.

Parnell, J. A., and R. A. Reimer (2009), "Weight loss during oligofructose supplementation is associated with decreased ghrelin and increased peptide YY in overweight and obese adults", *American Journal of Clinical Nutrition*, 89, pp. 1751-1759.

Penders, J., C. Thijs, C. Vink, F. F. Stelma, B. Snijders, I. Kummeling *et al.* (2006), "Factors Influencing the Composition of the Intestinal Microbiota in Early Infancy", *Pediatrics*, 118(2), pp. 511-521.

Pflughoeft, K. J., and J. Versalovic Human Microbiome in Health and Disease. *Annual Review of Pathology: Mechanisms of Disease*, 7(1), 99-122.

Prakash, S., L. Rodes, M, Coussa-Charley and C. Tomaro-Duchesneau (2011), "Gut microbiota: next frontier in understanding human health and development of biotherapeutics", *Biologics*, 5, pp. 71-86.

Putignani, L., R. Carsetti, F. Signore and M. Manco (2010), "Additional maternal and nonmaternal factors contribute to microbiota shaping in newborns", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(42), p. E159.

Quigley, E. M. M. (2010), "Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota", *Pharmacological Research*, 61(3), pp. 213-218.

Ramirez-Farias, C., K. Slezak, Z. Fuller, A. Duncan, Holtrop and P. Louis (2009), "Effect of inulin on the human gut microbiota: stimulation of Bifidobacterium adolescentis and *Faecalibacterium prausnitzii*", *British Journal of Nutrition*, 101, pp. 541-550.

Roberfroid, M. (2007), "Prebiotics: the concept revisited", *Journal of Nutrition*, 137(3 Suppl 2), pp. 83,0S-7S.

Roper, J., F. Francois, P. L. Shue, M. S. Mourad, Z. Pei, A. Z. Olivares de Perez *et al.*, (2008), "Leptin and Ghrelin in Relation to *Helicobacter pylori* Status in Adult Males", *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 93(6), pp. 2350-2357.

Sanz, Y., M. C. Collado, M. Haros and J. Dalmau (2004), "Funciones metabólico-nutritivas de la flora intestinal y su modulación a través de la dieta: probióticos y prebióticos", *Acta Pediatrica Española*, 62(11), pp. 520-526.

Segain, J.P., D. Raingeard de la Bletiere, A. Bourreille, V. Leray, N. Gervois, C. Rosales, L. Ferrier, C. Bonnet, H. M. Blottiere and J. P. Galmiche (2000), "Butyrate inhibits inflammatory responses through NFkappaB inhibition: implications for Crohn's disease", *Gut*, 47(3), pp. 397-403.

Swidsinski, A., A. Ladhoff, A. Pernthaler, S. Swidsinski, V. Loening-Baucke, M. Ortner, J. Weber, U. Hoffmann, S. Schreiber, M. Dietel and H. Lochs (2002), "Mucosal flora in inflammatory bowel disease", *Gastroenterology*, 122, pp. 44-54.

Tiihonen, K., A. C. Ouwehand and N. Rautonen (2010), "Human intestinal microbiota and healthy ageing", *Ageing Research Reviews*, 9(2), pp. 107-116.

Tuohy, K.M., S. Kolida, A. M. Lustenberger and G. R. Gibson (2001), "The prebiotic effects of biscuits containing partially hydrolysed guar gum and fructo-oligosaccharides--a human volunteer study", *British Journal of Nutrition*, 86(3), pp. 341-348.

Vael, C., and K. Desager (2009), "The importance of the development of the intestinal microbiota in infancy", *Current Opinion of Pediatrics*, 21, pp. 794-800.

Wang, Z., G. Xiao, Y. Yao, S. Guo, K. Lu and Z. Sheng (2006), "The Role of Bifidobacteria in Gut Barrier Function After Thermal Injury in Rats", *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 61(3), pp. 650-657.

Wilks, M. (2007), "Bacteria and early human development", *Early Human Development*, 83, pp. 165-170.

Willing, B. P., and A. G. Van Kessel (2010), "Host pathways for recognition: Establishing gastrointestinal microbiota as relevant in animal health and nutrition", *Livestock Science*, 133(1-3), pp. 82-91.

Wostmann, B.S. (1981), "The germfree animal in nutritional studies", *Annual Review of Nutrition*, 1, pp. 257-79.

Zhao, L., and J. Shen (2010), "Whole-body systems approaches for gut microbiota-targeted, preventive healthcare", *Journal of Biotechnology*, 149(3), pp. 183-190.

Zilber-Rosenberg, I., and E. Rosenberg (2008), "Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: the hologenome theory of evolution", *FEMS Microbiology Reviews*, 32(5), pp. 723-735.

Probióticos en alimentos: efecto terapéutico y uso de proteínas de la leche como vehículos encapsulantes para mantenerlos viables

Gabriela Ramos Clamont Montfort, Octavio Antonio Alvarado Reveles, Alma Mireya Hugues Ayala, Luz Vázquez Moreno

Resumen

El efecto benéfico de los alimentos que contienen probióticos depende en gran medida de que éstos lleguen viables y se establezcan en el colon. El proceso tecnológico del alimento, expone a los probióticos a diferentes estreses ambientales como pH, temperatura, presencia de oxígeno y actividad de agua. Estos disminuyen significativamente su viabilidad y ponen en tela de juicio su funcionalidad. Una estrategia para proteger a los probióticos es encapsularlos en matrices poliméricas de carbohidratos y proteínas. En el capítulo se discuten los beneficios que los probióticos provocan en la salud cuando se incorporan a los alimentos y se revisan los principios de encapsulamiento con proteínas de la leche y su efecto en la protección de la viabilidad de los probióticos bajo diferentes condiciones adversas.

Palabras clave: probióticos, encapsulamiento, biomoléculas, sobrevivencia.

Introducción

Los probióticos son microorganismos vivos que, cuando son administrados en una cantidad adecuada, producen efectos benéficos al hospedero (FAO/WHO 2001). Las

especies de los géneros *Lactobacillus y Bifidobacterium* son las que se usan actualmente como probióticos en alimentos destinados al consumo humano. Generalmente, los probióticos se incluyen en leches fermentadas, yogures y queso, aunque también pueden suministrarse como suplementos clínicos y dietarios, en forma de cultivos liofilizados (Granato *et al.*, 2010). Los alimentos que contienen probióticos se consideran alimentos funcionales y constituyen el mayor segmento del mercado en Europa, Australia, Japón y Estados Unidos de Norteamérica (Ross *et al.*, 2005).

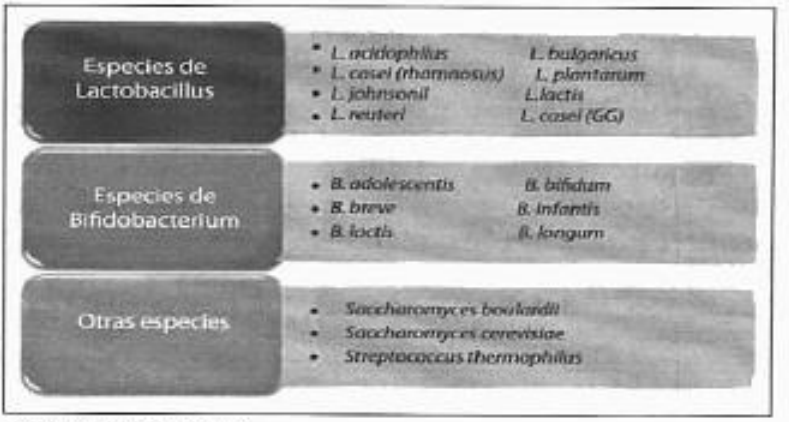
Los probióticos deben de consumirse en cantidad suficiente para que lleguen vivos y en concentración adecuada, al colon. Allí tendrán que adherirse al intestino para establecer una comunicación celular con el hospedero y poder ejercer sus efectos benéficos. El mantenimiento de la viabilidad es un reto tecnológico ya que los probióticos deben tolerar, tanto los estreses del procesamiento del alimentos que los contendrán, como el ambiente gastrointestinal que el microorganismo tiene que atravesar al ser ingerido (Ross *et al.*, 2005). Una forma de mantener al probiótico vivo es encapsularlo y para ello se usan matrices de diferentes biomoléculas. En este sentido, las proteínas de la leche resultan una opción económica y segura. A continuación revisaremos el efecto de los probióticos en la salud y el papel de las proteínas de la leche en la preservación de su viabilidad para poder añadirlos a los alimentos.

Probióticos: def nición y criterios de selección

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (WHO) definen a los probióticos como "microorganismos vivos que cuando son administrados en cantidades adecuadas producen un efecto benéfico a la salud del hospedero (FAO/WHO, 2001). Para ser reconocido como probiótico es indispensable identificar correctamente al microorganismo, debido a que los efectos benéficos de los probióticos son especie-específicos (Weichselbaum, 2009). Algunos estudios sugieren que microorganismos muertos o no viables, pueden producir efectos benéficos a la salud. Sin embargo, éstos no se consideran probióticos (Weichselbaum, 2009).

El término probióticos incluye a una gran cantidad de microorganismos constituidos no sólo por bacterias, sino también por levaduras (FAO/WHO, 2001). Como se observa en la figura 1, dentro de las bacterias, los géneros *Lactobacillusy Bifidobacterium* son los que más se usan en alimentos humanos.

Figura 1. Microorganismos usados como agentes probióticos en humanos



Fuente: Ross *et al.* (2005).

Los criterios de selección que debe cumplir un probiótico son: *1)* Presentar tolerancia a los ácidos y a las sales biliares. *2)* Ser identificado y clasificado por técnicas genotípicas. *3)* Presentar efecto antagónico contra bacterias patógenas. *4)* No actuar como patógeno oportunista, aun cuando el hospedero se encuentre inmunosuprimido. *5)* Estimular al sistema inmunológico, mejorando la resistencia contra patógenos (Ross *et al.*, 2005).

Probióticos y salud

Antes de incorporar cualquier probiótico a los alimentos hay que probar que realmente es efectivo y saber cuál es el efecto que confiere (FAO/WHO, 2001). Primero se realizan estudios *in vitro* y después *in vivo*; éstos últimos inician con modelos animales y posteriormente se llevan a cabo en humanos. Los ensayos *in vivo* deben ser aleatorizados, doble ciego, controlados con placebo y con un número suficiente de sujetos para asegurar la significancia estadística de los resultados. Además, deben corroborarse por un centro independiente (FAO/WHO, 2001). Para garantizar el uso seguro (inocuidad) de cada cepa, deberán realizarse, revisiones sistémicas de los resultados, meta-análisis y estudios independientes por otros investigadores (Weichselbaum, 2009).

En humanos, los estudios clínicos más completos, se han llevado a cabo para conocer el efecto sobre las siguientes enfermedades: *a)* Enfermedades involucradas

con la inflamación intestinal (enfermedad de Crohn, colitis ulcerativa, pouchitis, síndrome de colon irritable). *b)* Diarreas por infección bacteriana o viral; c) diarreas por consumo prolongado de antibióticos (*Clostridium difficile). d)* Constipación (extreñimiento). *e)* Influenza y otras gripes relacionadas. *f)* Enfermedades respiratorias bacterianas. *g)* Alergia, enfermedades atópicas, dermatitis y eczemas (Weichselbaum, 2009).

Para la enfermedad de Crohn, *Sacharomyces boulardii*, resulta efectivo, cuando se combina con el tratamiento convencional (Weichselbaum, 2009). En el caso de la colitis ulcerosa *Bifidobacterium bifidum*; *B. brevis* y *Lactobacillus acidophilus* YIT 0168, muestran resultados promisorios (Weichselbaum, 2009). Para el control de la pouchitis la combinación de 8 cepas bacterianas, VSL#3 (*B. infantis, B. longum, B. breve, L. acidophilus, L. delbrueckii* subsp. Bulgaricus, *L. plantarum, L. casei* y *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*), demostró la disminución de los síntomas y prolongó el tiempo sin que se presentaran recaídas de la enfermedad (Gionchetti *et al.*, 2003). *S. boulardii* y *Lacotbacillus rhamnosus* GG resultaron efectivos en el tratamiento de diarreas inducidas por tratamientos prolongados con antibióticos (McFarland y Surawicz, 2007). Otros estudios demuestran que *S. boulardii, Lacotbacillus rhamnosus* GG y *Bifidobacterium lactis* B12, pueden ser efectivos para la reducción de episodios de diarrea (Weichselbaum, 2009).

Otros efectos atribuidos a los probióticos incluyen: la capacidad de remover el colesterol sérico, de disminuir la actividad de enzimas carcinogénicas y de regular el sistema inmune (Rowland, 1999). Es importante ampliar estos estudios para obtener resultados confiables y estadísticamente significativos.

Efectos en la salud de los probióticos incorporados a los alimentos

Muchas compañías internacionales comercializan alimentos con probióticos, atribuyendo a sus productos, determinados efectos benéficos en la salud; en el cuadro 1 se resumen algunos. En este caso también es necesario ensayos científicos para demostrar el efecto del alimento. En general, los ensayos que existen requieren de mayor rigor estadístico y de ser comprobados por otros investigadores (Weichselbaum, 2009). En este sentido, hay un campo de estudio interesante para muchos estudiantes relacionados con las carreras de Alimentos.

Cuadro 1. Efectos benéficos atribuidos a algunos alimentos que contienen probióticos

Indicación contra	*Cepa*	*Compañía*
Diarrea infantil	*L. rhamnosus* GG	Danimals (yogur para beber)
	L. casei DN 114001	DanActive (leche fermentada)
Diarrea por *C. difficile* asociada a tratamiento con antibióticos	*L. rhamnosus* GG	Danimals (yogur para beber)
	S. boulardii	Florastor (polvo)
	L. casei DN114001	DanActive (leche fermentada)
Tránsito intestinal lento, inflamación intestinal	*B. animalis* DN 173 010	Activia (yogurt)
Mantenimiento de la salud	*L. reuteri* ATCC 55730	Stonyfield yogurt
	L. casei DN 114001	DanActive (Leche fermentada)
	L. casei Shirota	Yakult
Alergia (dermatitis en niños)	*L. rhamnosus* GG	Danimals (yogur para beber)
Intolerancia a la lactosa	*L. bulgaricus* y *S thermophilus* (la mayoría de las cepas)	Todo Yogur con cultivos vivos
Cólicos en niños	*L. reuteri* ATCC 55730	Gotas Reuteri
Soporte inmunológico	*B. lactis* HN019 (aka HOWARU™ or DR10)	Jugos de frutas; suplementos lácteos, Danisco
	B. lactis Bb12	Fórmula infantile Nestlé
	L. rhamnosus GG	Danimals (yogur para beber)
	L. casei DN	DanActive (leche fermentada)

Fuente: Sanders (2008).

Ejtahed *et al.* (2011), hicieron un estudio doble ciego con 64 pacientes con diabetes mellitus tipo 2; el grupo en estudio consumió 300 g/d de yogurt conteniendo *Lactobacillus acidophilus* La5 y *Bifidobacterium lactis Bb12* durante 6 semanas; el grupo control consumió un yogurt convencional. En los enfermos que consumieron el yogurt con los probióticos se observó una disminución de los niveles de glucosa sanguínea y de hemoglobina glicada ($p < 0.05$) y un aumento en los niveles de actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa ($p < 0.05$). Estos hallazgos son importantes y deben corroborarse por otros investigadores, ya que la diabetes tipo 2 se está convirtiendo en una epidemia mundial y es ya la primera causa de muerte en México. Un estudio experimental aleatorizado, prospectivo, con 18 niños de 2 años recibiendo leche fermentada (500 mL/día) conteniendo *L. casei* durante 6 semanas y 17 niños control recibiendo leche de vaca normal estándar , mostró un aumento significativo en las cuentas de *Lactobacillus spp* en heces y en la concentración de inmunoglobulina A (IgA) en saliva, de los niños tratados con la

leche probiótica (Carnicer *et al.*, 2006). Es necesario aumentar el número de sujetos y corroborar los resultados de manera independiente.

Algunos autores indican que el efecto benéfico de los probióticos consumidos en alimentos es cuestionable, debido, entre otras cosas, a que no permanecen estables ni viables en el alimento (Kailazapaty, 2002). En los siguientes puntos trataremos los aspectos que deben considerarse para elegir a las mejores cepas probióticas y para mantener condiciones que mejoren su viabilidad.

Requerimientos para que los probióticos añadidos a alimentos sean ef cientes

Llegar viables al colon en cantidad suficiente. Para ser eficientes, deben consumirse por lo menos entre 10^8 y 10^9 UFC/ de probióticos/día. Considerando un consumo promedio de 100 g de alimento, los productos deberán contener por lo menos 10^6 UFC viables/ mL (Granato *et al.*, 2010).

Sobrevivir al paso por el tracto gastrointestinal. Los probióticos deben sobrevivir a las condiciones ácidas del estómago y al ataque de las sales biliares. La habilidad para hacerlo depende de la especie y de la cepa del probiótico; por tanto, es importante elegir las cepas más resistentes. Algunas cepas de *Lactobacillus acidophilus, Bifidobacterium longum y B. pseudolongum,* muestran una buena resistencia a las condiciones ácidas, mientras que cepas de *L. acidophilus , B. longum, B. pseudolongum, B. infantis* resisten mejor a las sales biliares (Granato *et al.*, 2010).

Adherencia. Los probióticos deben poder adherirse al colon. Así, pueden impedir que los patógenos nos infecten y establecer comunicación a nivel celular con el hospedero (Rowland, 1999). La adhesividad depende de la cepa y, aunque ninguno de los probióticos puede colonizar permanentemente al intestino, deben escogerse las cepas con mayor capacidad de adhesión para que puedan actuar favorablemente, durante el tiempo que se consuma el producto.

Medio ambiente intestinal. Una vez en el colon, el tiempo de permanencia del probiótico dependerá de la disponibilidad de nutrientes (Ganato *et al.*, 2010). Por ello es importante consumir prebióticos.

Otros criterios a considerar para incorporar probióticos a los alimentos

Inocuidad. Los probióticos deben ser GRAS (considerados como seguros); hay que demostrar la no patogenicidad y que no contienen información genética que transmita resistencia a antibióticos (Forssten *et al.*, 2011). En el cuadro 2 se agrupan los probióticos comerciales reconocidos como GRAS por la Agencia de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos de Norteamérica (FDA). Australia y Nueva Zelanda consideran también GRAS, a las cepas producidas y comercializadas en su continente: DSM Food Specialties (Sydney) produce *L. acidophilus* LAFTI L10, *L. paracasei* LAFTI L26 y *B. lactis* LAFTI B94 para usarlos en productos lácteos fermentados. VRI BioMedical (Perth) produce *L. fermentum* VRI-002 cápsulas con las marcas Progastrim® y ProBio PCC. Nueva Zelanda usa en leche en polvo y queso a la cepas *B. lactis* HN019 con la marca DR10TM, y *L. rhamnosus* HN001 (Sanders, 2008).

Existe evidencia de que el consumo de probióticos ayuda al estado de salud de personas inmunosuprimidas (Hummelen *et al.*, 2010; Dols *et al.*, 2011). Sin embargo, se han reportado casos raros, que relacionan a levaduras probióticas con algunas fungemias (Graf y Gavazzi, 2007). Cabe aclarar que estos casos no se han presentado por el consumo de alimentos probióticos, sino por la administración de preparaciones clínicas. No obstante, es deseable contar con supervisión médica para estos casos.

Capacidad de producción a gran escala. Para comercializar un probiótico debe obtenerse en grandes cantidades, a partir de un proceso de fermentación. El proceso de adaptación al nuevo ambiente que el probiótico enfrenta (O_2, temperatura, humedad, luz), es largo. Además, muchas especies crecen mal en medios de cultivo simples o en aquellos basados en componentes lácteos. Los requerimientos nutricionales (incluida la adición de prebióticos), varían entre géneros y especies. Por ello, es difícil añadir los cultivos liofilizados directamente a los alimentos, sin antes reactivarlos (Ross *et al.*, 2005).

Cuadro 2. Especies de probióticos comerciales consideradas GRAS por la FDA

Cepa	*Compañía*
L. acidophilus NCFM®	Danisco (Madison, WI)
B. infantis 35264	Procter & Gamble (Mason ,OH)
L. fermentum VRI003 (PCC)	Probiomics, Eveleigh, Australia
L. rhamnosus R0011, *L. acidophilus* R0052	Institute Rosell (Montreal, Canada)
L. acidophilus LA-1, *L. paracasei*,CRL 431, *B. lactis*	Chr. Hansen (Milwaukee, WI)
L. casei Shirota, *B. breve* strain	Yakult Yakult (Tokyo, Japón)
L. casei DN114001, *B. animalis*	Danone (Paris, Francia),
DN173 010 ("*Bifidis regularis*™")	Dannon (Tarrytown, NY)
L. reuteri RC-14™,	Chr. Hansens (Milwaukee, WI),
L. rhamnosus GR-1™	Urex Biotech (Londres, Ontario, Canada)
L. johnsonii Lj-1 y L. acidophilus LI	Nestlé (Lausanna, Suiza)
L. plantarum 299V, *L. rhamnosus* 271	Probi AB (Lund, Suecia)
L. reuteri SD2112	Biogaia (Estocolmo, Suecia)
L. rhamnosus GG ("LGG")	Valio Dairy (Helsinki, Finlandia)
L. rhamnosus LB21, *Lactococcus lactis* L1A	Essum AB (Umeá, Suecia)
L. salivarius UCC118	University College (Cork Irlanda)
B. longum BB536	Morinaga Milk Industry Co., Ltd. (Japón)
B. lactis HN019 (DR10),	Danisco (Madison, WI),
L. rhamnosus HN001 (DR20)	Fonterra (Wellington, Nueva Zelanda)
L. acidophilus LB	Lacteol Laboratory (Houdan, Francia)
L. paracasei F19	Medipharm (Des Moines, Iowa)

Fuente: Sanders (2008).

Después de la fermentación la biomasa se concentra por centrifugación o filtración y luego se liofiliza para su preservación. Durante el almacenamiento, la temperatura, la actividad de agua y la humedad serán críticas para la conservación de la viabilidad (Frossten *et al.*, 2011). Por tanto, hay que escoger cepas considerando: no solo el efecto benéfico que producen, sino su habilidad para crecer en leche; habilidad para metabolizar diferentes sustancias prebióticas y tolerancia al oxígeno, al calor y a bajos pH (Frossten *et al.*, 2011).

Estabilidad genética. En este aspecto hay que garantizar la inocuidad del alimento y la funcionalidad del probiótico (Frossten *et al.*, 2011). El industrial debe analizar periódicamente la funcionalidad de la cepa (adhesión, resistencia al tracto

gastrointestinal, viabilidad después de proceso a través del proceso, habilidad fermentativa). La funcionalidad puede variar según el tipo del alimento. Por ejemplo, la estabilidad de *Bifidobacterium lactis* HN019 es diferente en leche, en yogurt y en bebidas de chocolate (Frossten *et al.*, 2011). De allí la importancia de realizar los controles de calidad en todos los alimentos a los que se adicionen los probióticos.

Viabilidad de los probióticos en el alimento

La viabilidad de un microorganismo es un concepto difícil de definir; generalmente las cepas que pueden cultivarse se consideran viables. Sin embargo, los probióticos pueden presentar daño en sus estructuras y entrar en estado viable pero no cultivable. Es importante entonces hacer estudios adicionales, como determinar la integridad de la membrana celular o medir alguna actividad enzimática del microorganismo (Frossten *et al.*, 2011).

Se recomienda almacenar los cultivos liofilizados a temperaturas (T) menores de 25 °C y actividades de agua (Aw) menores de 0.2 (Frossten *et al.*, 2011). Las cápsulas y tabletas de probióticos tienen Aw bajas. Dependiendo de la T de almacenamiento, pueden permanecer viables hasta 12 meses. En cambio, los lácteos (principal vehículo de probióticos en alimentos), presentan Aw de 0.9 y por ello, la viabilidad de las bacterias puede perderse en 1 o 2 semanas, aun cuando el producto esté refrigerado a T conveniente (4 a 6 °C) (Ross *et al.*, 2005). Por otro lado, los cultivos iniciadores usados en la elaboración del yogurt afectan a la viabilidad del probiótico, debido a los metabolitos que producen. La presencia de oxígeno afecta la viabilidad durante el almacenamiento del alimento (Frossten *et al.*, 2011). Los cambios de temperatura durante la distribución y la acidez, además del paso por el tracto gastrointestinal, contribuyen a que la viabilidad de los probióticos en los productos lácteos sea baja y por tanto, a que el beneficio a la salud por consumirlos pueda ser cuestionable (Kailasapathy *et al.*, 2002).

El encapsulamiento como metodología para preservar la viabilidad de probióticos

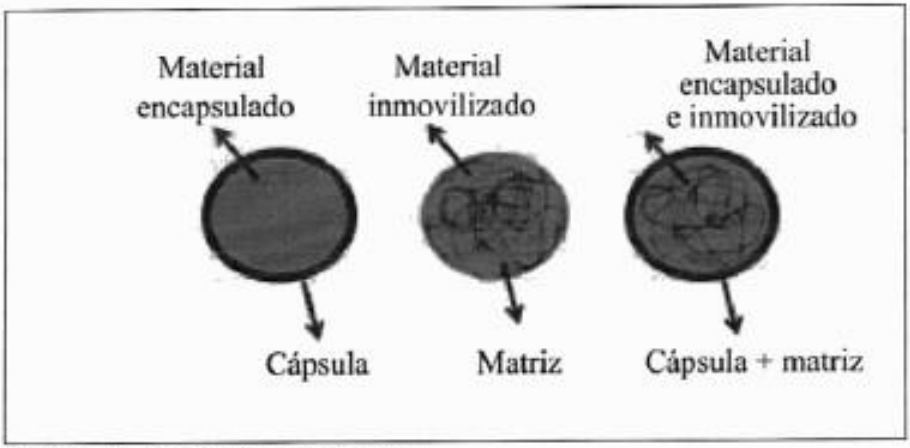
Una de las estrategias más usadas para aumentar la viabilidad de los probióticos en alimentos es microencapsularlos en matrices comestibles que los protegerán de los ambientes adversos (Kailasapathy, 2002). El encapsulamiento también protege a glicoconjugados de la pared celular, que pueden perderse o dañarse por la acidez

estomacal (de Vos *et al.*, 2010). Los glicoconjugados funcionan como receptores y como efectores moleculares. El biorreconocimiento entre éstos y las células del hospedero es determinante para que los probióticos ejerzan su función. Entonces, el encapsulamiento previene la pérdida de funcionalidad de los probióticos (de Vos *et al.*, 2010). De hecho, muchos microorganismos poseen un sistema de encapsulamiento natural, para protegerse del ataque de bacteriófagos y de medio ambientes adversos (Kailasapathy, 2002).

Procesos para el microencapsulamiento de probióticos

El microencapsulamiento es el proceso químico, fisicoquímico o mecánico usado para atrapar o englobar a una sustancia o microorganismos en una matriz comestible; se forman partículas con diámetros desde nanómetros hasta 1 milímetro (Kailasapathy, 2002). El encapsulamiento difiere de la inmovilización en que esta última, atrapa al microorganismo, pero no necesariamente lo engloba (Kailasapathy, 2002). Los dos términos suelen usarse indistintamente por lo que se obtienen "cápsulas" en las que el material se encuentra dentro de ellas, matrices en las que el material se encuentra fuera de la matriz (adsorbido) y una combinación de ambas, como se observa en la figura 2.

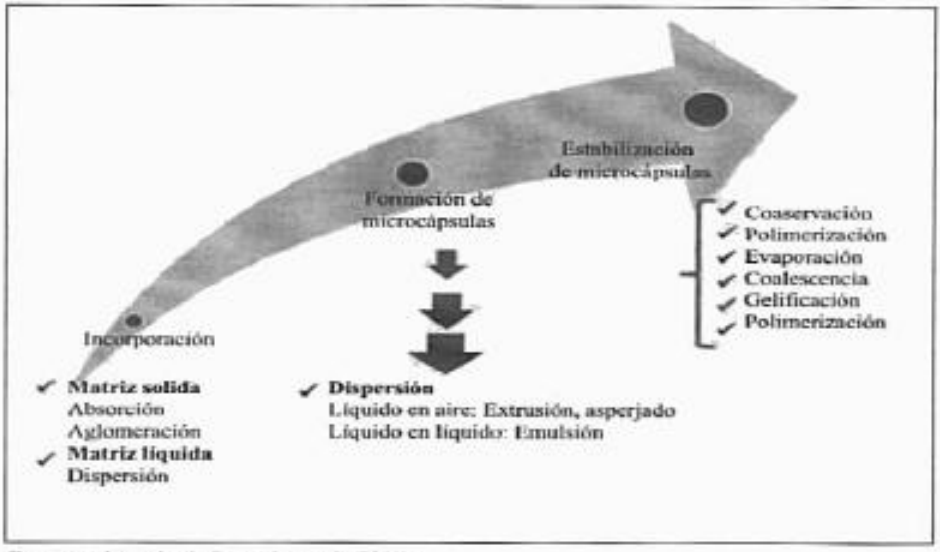
Figura 2. Sistemas de encapsulamiento



Fuente: adaptado de Burgain *et al.* (2011).

Para encapsular microorganismos hay que considerar: su tamaño (1-5 µm), por tanto, las nanocápsulas están descartadas, ya que deben permanecer vivos después del proceso; además, que las matrices permitan su liberación en el intestino. Estos factores son críticos para elegir el proceso para formar las cápsulas (Burgain *et al.*, 2011). El encapsulamiento de probióticos se lleva a cabo en tres etapas principales (figura 3); primero, el microorganismo se incorpora a una matriz que puede ser líquida (dispersión) o sólida (adsorción, aglomeración). Posteriormente se forman las cápsulas principalmente por métodos de dispersión y por último se estabilizan por diferentes estrategias químicas, físicas o fisicoquímicas.

Figura 3. Etapas para el encapsulamiento de probióticos

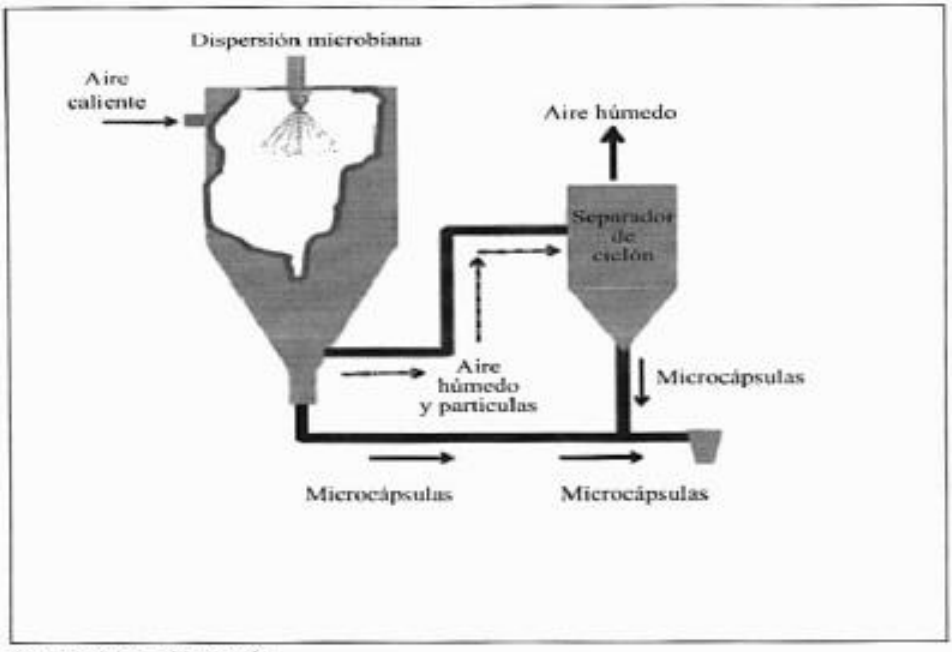


Fuente: adaptado de Burgain *et al.* (2011).

Los métodos de dispersión para el encapsulamiento de probióticos se dividen en atomización, emulsificación, extrusión recubrimiento y aglomeración (de Vos *et al.*, 2010). En la atomización se distinguen los métodos de secado por aspersión y aspersión-liofilización. En el secado por aspersión, una solución/dispersión que contiene al probiótico viable se disuelve en una solución de matriz polimérica que pueden ser carbohidratos, proteínas, o mezclas de ambos (de Vos *et al.*, 2010). Posteriormente se atomiza en una cabina en la que fluye aire caliente (figura 4). El método es reproducible y económico, debido a que puede escalarse a nivel industrial. Sin embargo, una

de las desventajas es la temperatura a las que se expone el microorganismo. Lo anterior, puede mejorarse adicionando termoprotectores como fibras solubles. Además, las cápsulas pueden tener un doble recubrimiento, para mejorar la protección hacia el ambiente gastrointestinal (Semyonov *et al.*, 2010).

Figura 4. Principio del secado por aspersión de microcápsulas



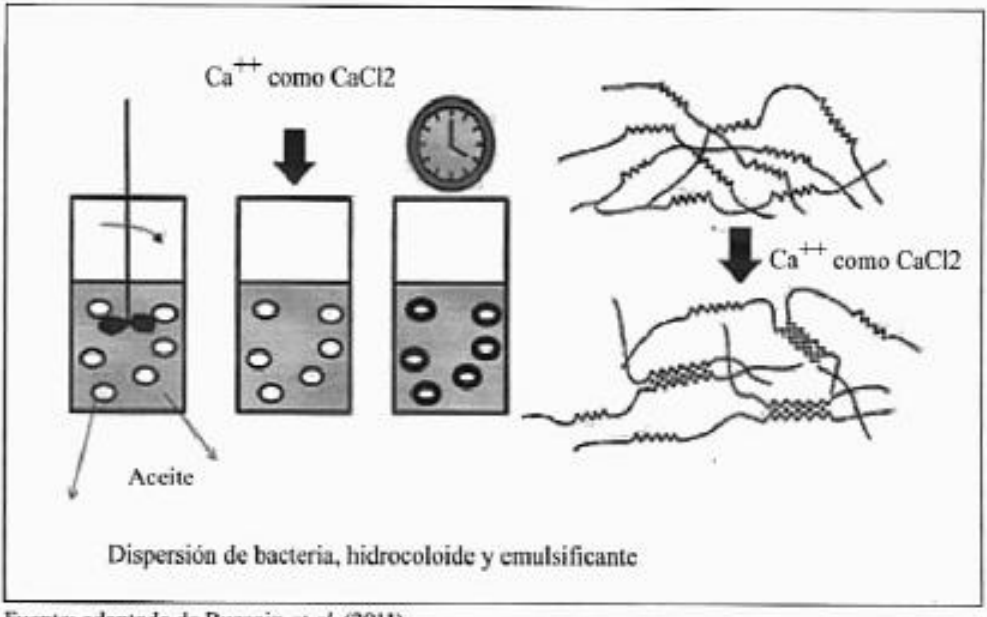
Fuente: elaboración propia.

En la emulsificación se encapsulan los probióticos usando algunos carbohidratos hidrocoloides. En la emulsificación y posterior gelificación iónica (figura 5), una dispersión conteniendo al probiótico con el hidrocoloide y emulsificante, se añade a una fase oleosa (aceite comestible) y se homogeniza formando una emulsión agua en aceite (W/O) en la que el probiótico queda englobado por el hidrocoloide. Posteriormente el coloide se entrecruza con calcio (cloruro de calcio), formando un gel tipo caja de huevo. Los coloides usados son alginatos, pectinas de bajo metoxilo o la κ-carrragenina (Kailasapathy, 2002). Dependiendo de la velocidad de homogenización y de la proporción entre las fases acuosa y oleosa podrán obtenerse diferentes

tamaños de partícula. Una de las desventajas es que los hidrocoloides presentan baja estabilidad al tracto gastrointestinal (de Vos *et al.*, 2010).

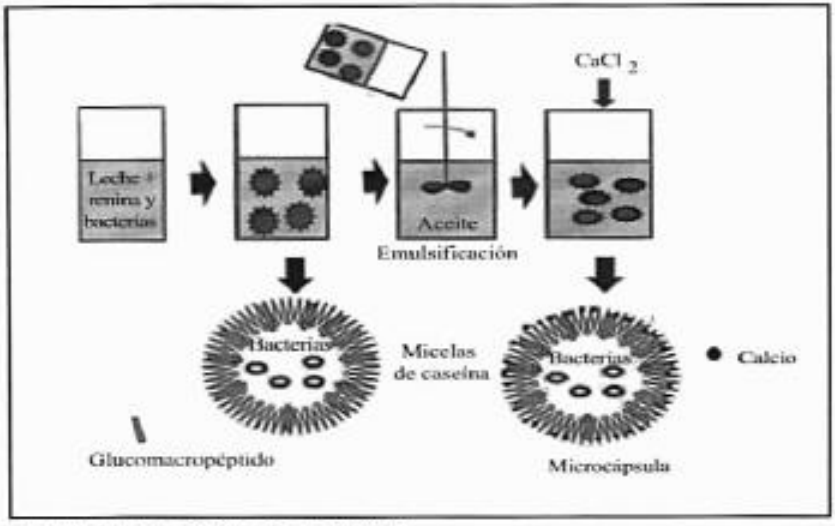
Una variante del método anterior es la emulsificación y posterior gelificación enzimática. Se usa para aprovechar a la caseína de la leche, que resiste mucho mejor el paso por el tracto gastrointestinal (Burgain *et al.*, 2011). La leche se trata con renina a baja temperatura y se añaden los probióticos. La acción de la renina permite que las micelas de caseína que se forman, engloben al microorganismo; esta dispersión se añade al aceite, se emulsifica a 15 °C y posteriormente se calienta a 40 °C y se le añade cloruro de calcio para permitir que la caseína gelifique en forma de microesferas (figura 6). Otros polímeros pueden usarse como matrices protectoras y entrecruzarse con la enzima transglutaminasa (Burgain *et al.*, 2011).

Figura 5. Microencapsulamiento de probióticos en hidrocoloides; técnica emulsif cación y gelif cación iónica



Fuente: adaptada de Burgain *et al.* (2011).

Figura 6. Microencapsulamiento de probióticos en caseína por emulsif cación enzimática



Fuente: adaptada de Burgain *et al.* (2011).

Con la técnica de extrusión se evita la formación de emulsiones en la gelificación iónica. Se prepara una dispersión del biopolímero con la bacteria, se asperja hacia una solución con $CaCl_2$ y se permite el entrecruzamiento. Posteriormente se liofiliza para obtener las microcápsulas.

Propiedades de las proteínas lácteas que favorecen su uso como matrices encapsulantes

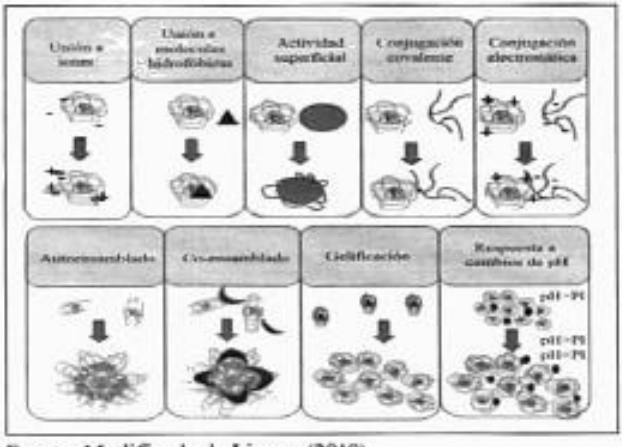
Las principales matrices alimenticias que se usan para encapsular probióticos son los carbohidratos y las proteínas. Las proteínas de la leche son el vehículo natural de los probióticos; además, son económicas, nutritivas, funcionales y GRAS (de Vos *et al.*, 2010). Por su abundancia y propiedades químicas y estructurales, las proteínas de la leche que se usan para encapsular son las del suero y la caseína (Livney, 2010). Su carácter amfifílico permite establecer interacciones iónicas, conjugaciones electrostáticas y covalentes o interacciones hidrofóbicas, entre la misma proteína o con otros polímeros. Debido a las secuencias hidrofílicas e hidrofóbicas las proteínas de la leche se adsorben en la superficie de la fase dispersa de una emulsión, estabilizándola.

Por otro lado, la capacidad de gelificación de las proteínas de la leche permite que los geles se "hinchen", dependiendo del pH, fenómeno que puede aprovecharse para liberar a los probióticos al pH intestinal (de Vos *et al.*, 2010). Por último, la capacidad de autoensamblado y co-ensamblado de las proteínas lácteas, permite su uso en nuevas técnicas como la de encapsulamiento capa por capa. En la figura 7 se esquematizan todas estas propiedades.

Efecto del encapsulamiento con proteínas de la leche, en la viabilidad de diferentes probióticos

La viabilidad de los probióticos encapsulados en proteínas lácteas depende del método utilizado. Entre los parámetros que más afectan la viabilidad microbiana durante el secado por aspersión se encuentran: la velocidad del flujo de aire, la temperatura de salida, la cepa utilizada, la matriz de encapsulamiento y el contenido de sólidos (Silva *et al.*, 2011). El daño que provoca el calor depende de la especie y cepa que se esté encapsulando. Para disminuir los efectos del calor se propone disminuir la temperatura de salida. Una temperatura de entrada de 100 °C y de salida de 45 °C resulta efectiva para conservar la viabilidad de algunas cepas de *Bifidobacterium* (Silva *et al.*, 2011).

Figura 7. Representación de las propiedades de las proteínas lácteas útiles para el encapsulamiento de probióticos



Fuente: Modificada de Livney (2010).

Carvalho *et al.* (2002), encontraron que la adición de agentes crioprotectores y de fibras solubles puede prevenir el daño a las membranas celulares, mejorando la viabilidad de los probióticos. Además, las proteínas del suero previenen la entrada del oxígeno a la cápsula y amortiguan el pH durante el tránsito gastrointestinal. Por tanto, una combinación de proteínas de la leche y carbohidratos, resulta mejor que el encapsulamiento usando sólo proteínas de la leche. Crittenden *et al.* (2006), encapsularon *Bifidobacterium infantis* Bb02 en una matriz conteniendo caseinatos y fructooligosacáridos, después de 5 semanas de almacenamiento las cuentas viables fueron mayores de 10^6 UFC/g.

Rodríguez-Huezo *et al.* (2007), encapsularon *Bifidobacterium bifidum* BB02 usando una combinación de proteínas de suero lácteo, goma arábiga, goma de mezquite y aguamiel, encontrando sobrevivencia mayor al 40%, después de 5 semanas de almacenamiento. Por su parte Oliveira *et al.* (2007), usaron una matriz de pectina y caseína para encapsular *B. lactis* BI-01 y *L. acidophilus* LAC4. Después de 120 días de almacenamiento se observó mayor sobrevivencia (75 veces más) del lactobacilo con respecto a la bifidobacteria. La combinación de proteínas de suero y goma arábiga resultan muy efectivas al encapsular *Bifidobacterium lactis* BB12. En resumen, la combinación de las proteínas de la leche con diferentes carbohidratos puede mejorar notablemente la protección de los probióticos más sensibles a las temperaturas del secado por aspersión.

Si se agregan componentes que disminuyan el potencial redox del entorno del probiótico, se reduce el efecto tóxico del O_2 durante el almacenamiento (de Vos *et al.*, 2010). Por ello, Rodrigues *et al.* (2011), combinaron diferentes carbohidratos con proteínas de suero lácteo y agregaron al medio L-cisteína, para encapsular *Lactobacilus acidophilus* Ki, *Lactobacillus paracasei* L26 y *Bifidobacterium animalis* BB12. *L. paracasei* L26 fue el microorganismo que más beneficiado con la presencia de cisteína en las cápsulas. Después de 22 días en almacenamiento a 22 °C, se obtuvieron cuentas viables mayores a 10^6 UFC/mL.

Kos *et al.* (2000), probaron la eficacia de matrices encapsulantes a base de proteínas de suero lácteos sobre la viabilidad de *L. acidophilus* M92 simulando las condiciones del tracto gastrointestinal. Otros microorganismos muestran menor resistencia; por ejemplo al encapsular con proteínas de suero *Bifidobacterium breve* R070 (BB R070) y *Bifidobacterium longum* R023 (BL R023) la sobrevivencia después del secado por aspersión fue de solo 25 y 1.4%, respectivamente.

Si se desnaturalizan aislados de proteínas de suero (WPI) a 78 °C, 45 min, se forman agregados proteicos que se dispersan en una suspensión conteniendo a los probióticos. Los agregados engloban al probiótico interaccionando por enlaces hidrofóbicos. Posteriormente se asperjan a una solución con calcio para entrecruzarlas. Doherty *et al.* (2012),

usaron esta técnica para encapsular *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG) y posteriormente expusieron las cápsulas a pH de 3.4, 2.4 y 2.0 durante tres horas. Los conteos de LGG encapsulado fueron de 5.7± 0.1, 5.1 ± 0.2 y 2.2 ± 0.2 log10 UFC/mL, respectivamente, mientras que el LGG no encapsulado no sobrevivió.

Muchos estudios prueban los efectos positivos del encapsulamiento en matrices de proteínas lácteas agregadas o gelificadas. Sin embargo, una comparación directa entre los mismos es difícil, debido a los diferentes parámetros, microorganismos, cantidades de microorganismos y condiciones estudiadas.

Incorporación de probióticos encapsulados a los alimentos

Uno de los principales problemas de la incorporación de prebióticos encapsulados a los quesos es la dispersión uniforme de las microcápsulas (Burgain *et al.*, 2010). A pesar de lo anterior, el encapsulamiento ha protegido efectivamente a *Bifidobacterium bifidum* adicionado a queso chedar hasta por 24 semanas y a otras especies de bifidobacterias incorporadas a quesos madurados (Burgain *et al.*, 2010).

La incorporación de probióticos al yogurt aumenta sus propiedades benéficas, sin embargo, la viabilidad es limitada por el pH del yogurt; por ello el encapsulamiento de los probióticos es una alternativa, siempre y cuando no afecte las características sensoriales del producto (Kailasapathy, 2002). La sobrevivencia de *L. casei, B. infantis, B. longum, L. acidophilus, B. adolescentes, B. infantis, L rhamnosus, L. rhamnosus* GG, *B. lactis* y *L. casei* en yogur mejora significativamente cuando se incorporan encapsulados (Burgain *et al.*, 2011).

Otros alimentos a los que se les han añadido probióticos encapsulados para su estudio son: crema (*L. lactis*), mayonesa (*B. infantis y B. bifidum*), salchichas (*L. reiteri, B longum*), jugos de frutas (*L. rhamnosus*), nieve (*L. bulgaricus, L. casei, L. lactis, B. lactis, B. infantis, L. acidophilus*). En todos los casos se observó un efecto protector en la sobrevivencia (Burgain *et al.*, 2011).

Alimentos comercializados con probióticos encapsulados: actualidad y perspectivas

A pesar de la gran cantidad de estudios en alimentos, la mayoría de los productos comerciales que contienen probióticos encapsulados son tabletas o cápsulas. Existen algunos yogures en el mercado con probióticos encapsulados. El instituto Rosell y La l´food introdujeron en el mercado un chocolate y barras nutritivas con probióticos

encapsulados conteniendo cepas de lactobacilos y bifidobacterias; la adición de las capsulas no afecta el sabor ni la textura del producto. El Grupo Kerry de Irlanda comercializa jugo de naranja con probióticos encapsulados. En Latinoámerica Dos Pinos y Chr Hansen comercializan una nieve probiótica (Burgain *et al.*, 2011). Las expectativas que causan actualmente los probióticos abren un campo fértil para el desarrollo de alimentos con probióticos encapsulados. Entre los retos a vencer está el de escalar a nivel industrial, los procesos y los resultados obtenidos en el laboratorio.

Conclusiones

El mercado para los productos que contienen probióticos representa uno de los sectores de mayor crecimiento en el mundo. Por ello, a nivel científico, debe probarse a través de estudios adecuados, que estos alimentos, realmente producen un efecto benéfico para la salud. El avance de la ciencia nos indica que, para que los probióticos puedan tener un efecto benéfico, deben llegar vivos y adherirse al colon. El medio ambiente adverso durante la producción, almacenamiento y distribución de los alimentos y el paso por el tracto gastrointestinal, afectan significativamente la viabilidad de los probióticos, comprometiendo su funcionalidad. El reto científico es aplicar la ciencia básica al desarrollo de estrategias que conserven vivos a los probióticos y el tecnológico, poderlas implementar a nivel industrial. En este sentido existe un amplio campo para estudiar y aplicar las propiedades químicas de las proteínas de la leche, en el desarrollo de matrices encapsulantes que protejan a los probióticos.

Sobre los autores

Gabriela Ramos Clamont Montfort,*[1] Octavio Antonio Alvarado Reveles,[2] Alma Mireya Hugues Ayala,[1] Luz Vázquez Moreno.[1] [1]Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos. Coordinación de Ciencia de los Alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Carretera a la Victoria Km 0.6. Hermosillo, Sonora, México. 83000, correo electrónico gramos@ciad.mx[2]; Departamento de Ciencia de los Alimentos Orientados a la Salud, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila.Blvd, Torreón-Matamoros Km 7, Ejido el Águila, ciudad Universitaria, Torreón Coahuila, México 27000.

Referencias

Allen, S. J., E. G. Martinez, G. V. Gregorio and L. F. Dans (2011), "Cochrane Review: Probiotics for treating acute infectious diarrhea", *Evidence-Based Children Health: A Cochrane Review Journal,* 6(6), pp. 1894-2021.

Burgain, J., C. Gaiani, M. Linder and J. Scher (2011), "Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications", *Journal of Food Engineering,* 104(4), pp. 467-483.

Carvalho, A.S., J. Silva, P. Ho, P. Teixeira, F. X. Malcata and P. Gibbs (2002), "Survival of freeze-dried *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus rhamnosus* during storage in the presence of protectant", *Biotechnology Letters,* 24, pp. 1587-1591.

Crittenden, R., R. Weerakkody, L. Sanguansri and M. Augustin (2006), "Synbiotic microcapsules that enhance microbial viability during nonrefrigerated storage and gastrointestinal transit", *Applied and Environmental Microbiology,* 72, pp. 2280-2282.

de Vos, P., M. M. Faas, M. Spasojevic and J. Sikkema (2010), "Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components". *International Dairy Journal,* 20(4), pp. 292-302.

Doherty, S. B., M. A. Auty, C. Stanton, R. P. Ross, G. F. Fitzgerald and A. Brodkorb (2012), "Survival of entrapped *Lactobacillus rhamnosus* GG in whey protein micro-beads during simulated ex-vivo gastro-intestinal transit", *International Dairy Journal,* 22(1), pp. 31-43.

Dols, J. A. M., M. E. Boon, M. Monachese, J. Changalucha, N. Butamanya, S. Varriano *et al.,* (2011), "The impact of probiotic yogurt on HIV positive women in Tanzania", *International Dairy Journal,* 21(8), pp. 575-577.

Ejtahed, H. S., J. Mohtadi-Nia, A. Homayouni-Rad, M. Niafar, M. Asghari-Jafarabadi and V. Mofid (2011), "Probiotic yogurt improves antioxidant status in type 2 diabetic patients", *Nutrition* (0).

FAO/WHO (2001), "Report on Joint FAO/WHO Expert Consultation on Evaluation of Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food Including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria", disponible en ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/probio_report_en.pdf.

Forssten, S. D., C. W. Sindelar and A. C. Ouwehand (2011), "Probiotics from an industrial perspective", *Anaerobe,* 17(6), pp. 410-413.

Gionchetti, P., F. Rizzello, U. Helwig, A. Venturi, K. M. Lammers, P. Brigidi, G. Poggioli, M. Miglioli, M. Campieri (2003), "Prophylaxis of pouchitis onset with probiotic therapy: a double-blind, placebo-controlled trial", *Gastroenterology,* 124(5), pp. 1202-1209.

Graf, C., and G. Gavazzi (2007), "Saccharomyces cerevisiae fungemia in an immunocompromised patient not treated with *Saccharomyces boulardii* preparation", *Journal of Infection*, 54(3), pp. 310-311.

Granato, D., G. F. Branco, A. G. Cruz, J. d. A. F. Faria and N. P. Shah (2010), "Probiotic Dairy Products as Functional Foods", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), pp. 455-470.

Hummelen, R., J. Changalucha, N. L. Butamanya, A. Cook, J. D. F. Habbema and G. Reid (2010), "*Lactobacillus rhamnosus* GR-1 and *L. reuteri* RC-14 to prevent or cure bacterial vaginosis among women with HIV", *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 111(3), pp. 245-248.

Kailasapathy, K. (2002), "Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications", *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 3, pp. 39-48.

Kalliomäki, M. A., and E. Isolauri (2004), "Probiotics and down-regulation of the allergic response", *Immunology and Allergy Clinics of North America*, 24(4), pp. 739-752.

Kos, B., J. Suskovic, J. Goreta and S. Matosic (2000), "Effect of protectors on the viability of *Lactobacillus acidophilus* M92 in simulated gastrointestinal conditions", *Food Technology and Biotechnology*, 38, pp. 121-127.

Livney, Y. D. (2010), "Milk proteins as vehicles for bioactives", *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 15(1-2), pp. 73-83.

McFarland, L. v., and C. M. Surawicz (2009), "*Clostridium difficile* associated disease: diagnosis and treatment", *Evidence-Based Gastroenterology and Hepatology*, Wiley-Blackwell, pp. 335-354.

Oliveira, A.C., T. S. Moretti, C. Boschini, J. C. C. Baliero, O. Freitas and C. S. Favaro-Trindade (2007), "Stability of microencapsulated B lactis (Bl 01) and L acidophilus (LAC 4) by complex coacervation followed by spray drying", *Journal of Microencapsulation*, 24, pp. 685-693.

Rodrigues, D., S. Sousa, T. Rocha-Santos, J. P. Silva, J. M. Sousa Lobo, P. Costa *et al.* (2011), "Influence of L-cysteine, oxygen and relative humidity upon survival throughout storage of probiotic bacteria in whey protein-based microcapsules", *International Dairy Journal*, 21(11), pp. 869-876.

Rodriguez-Huezo, M. E., R. Duran-Lugo, L. A. Prado-Barragan, F. Cruz-Sosa, C. Lobato-Calleros, J. Alvarez-Ramirez and E. J. Vernon-Carter (2007), "Pre-selection of protective colloids for enhanced viability of Bifidobacterium bifidum following spray-drying and storage, and evaluation of aguamiel as thermoprotective prebiotic", *Food Research International*, 40, pp. 1299-1306.

Ross, R. P., C. Desmond, G. F. Fitzgerald and C. Stanton (2005), "Overcoming the technological hurdles in the development of probiotic foods", *Journal of Applied Microbiology,* 98(6), pp. 1410-1417.

Rowland, I. (1999), "Probiotics and benefits to human health-the evidence in favour", *Environmental Microbiology,* 1(5), pp. 375-376.

Sanders, M.E. (2008), "Products with probiotics", disponible en www.usprobiotics.org.

Semyonov, D., O. Ramon, Z. Kaplun, L. Levin-Brener, N. Gurevich and E. Shimoni (2010), "Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying", *Food Research International,* 43 (1), pp. 193-202.

Silva, J., R. Freixo, P. Gibbs and P. Teixeira (2011), "Spray-drying for the production of dried cultures", *International Journal of Dairy Technology,* 64(3), pp. 321-335.

Weichselbaum, E. (2009), "Probiotics and health: a review of the evidence", *Nutrition Bulletin,* 34(4), pp. 340-373.

Infusiones utilizadas en México para el control de la obesidad y sus complicaciones

Claudia Ivette Gamboa Gómez, Minerva Ramos Gómez, Guadalupe Flavia Loarca Piña, Sandra Olimpia Mendoza Díaz, Rosalía Reynoso Camacho

Resumen

En países como México, la alta prevalencia de obesidad y sus complicaciones está directamente relacionada con el consumo de alimentos y bebidas con alto contenido energético, entre los cuales se encuentran las bebidas, principalmente las refrescantes. Se han establecido recomendaciones para satisfacer la mayor cantidad posible de las necesidades diarias de líquidos a través del agua y otras bebidas con bajo contenido energético, como las infusiones, cuyo consumo ha aumentado en los últimos años debido a su aporte importante de agua, pero principalmente, por el efecto positivo a la salud, relacionado con sus fitoquímicos y micronutrientes. Dichos beneficios han permitido incluir a este tipo de productos dentro de las bebidas funcionales, las cuales contienen componentes nutrientes o no nutrientes, con efecto sobre una o varias funciones del organismo, adicional al de su valor nutricional. La actividad biológica de las infusiones se asocian principalmente a la acción antioxidante de sus componentes, como los polifenoles, los cuales pueden actuar como atrapadores de especies reactivas de oxígeno, protegiendo la estructura y función de algunas biomoléculas y ejerciendo importantes efectos inhibitorios de la iniciación de la aterogénesis, derivada de la oxidación de las LDL, además de tener efectos hipocolesterolémicos y vasodilatadores. Se ha comprobado que el consumo de ciertas infusiones puede movilizar las grasas del tejido adiposo, estimulando la termogénesis; así mismo, algunas de estas infusiones son capaces de disminuir la

inflamación, la cual está relacionada con el problema de la obesidad y sus complicaciones. El propósito de este capítulo es discutir el conocimiento actual sobre las bebidas consideras funcionales, como las infusiones de toronja (*Citrus paradisi*), flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), hierbabuena (*Mentha piperita*) y alcachofa (*Cynara scolymus*), las cuales son utilizadas en México para el control de la obesidad y sus complicaciones.

Palabras claves: obesidad, infusiones, antioxidante.

Introducción

Obesidad

La obesidad es una enfermedad crónica multifactorial, caracterizada principalmente por un almacenamiento en exceso de tejido adiposo, establecida principalmente por un desequilibrio entre la ingesta de calorías y el gasto energético. Este exceso de energía se almacena en los adipocitos que aumentan en tamaño y/o en número, lo que predispone a riesgo de alteraciones metabólicas y fisiológicas (Pickup, 2004). En la obesidad se producen alteraciones en órganos como el hígado, músculo esquelético y tejido adiposo, generando hiperlipidemia, resistencia a la insulina, hipertensión e hígado graso. Estas alteraciones conforman al síndrome metabólico y se asocian con el desarrollo de enfermedades crónico degenerativas como enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 (York y Bouchard, 2000).

Bebidas

En países como México, se ha determinado que el 21% de las calorías que consumen los adolescentes y los adultos provienen de las bebidas, particularmente las bebidas carbonatadas no alcohólicas, bebidas azucaradas, jugos, leche entera y alcohol. Estas calorías que aportan los líquidos se suman a las calorías provenientes de los alimentos de la dieta y contribuyen al consumo excesivo de energía, que está relacionado con el sobrepeso y la obesidad que conllevan a enfermedades crónicas degenerativas. En base a lo anterior se han establecido recomendaciones para el consumo de bebidas, las cuales son lineamientos para satisfacer la mayor cantidad posible de las necesidades diarias de líquidos a través del agua y otras bebidas (Rivera *et al.*, 2008). Una de las bebidas ampliamente utilizadas por la población son las infusiones, cuyo consu-

mo ha aumentado en los últimos años, debido a su aporte importante de agua y al posible efecto benéfico que se les atribuye. Una infusión es una bebida obtenida de las hojas secas, partes de las flores o de los frutos, las cuales se vierten en agua en ebullición. El té es la infusión más conocida y se prepara con hojas secas del arbusto *Camellia sinensis* o *Camellia viridis*.

Infusiones

Los efectos de las infusiones se asocian principalmente a la acción antioxidante de sus componentes, los cuales pueden actuar como atrapadores de especies reactivas de oxígeno, protegiendo la estructura de los ácidos nucleicos, de las proteínas y de los lípidos (Lin *et al.*, 2005). Los polifenoles contenidos en las diversas infusiones ejercen importantes efectos inhibitorios en la iniciación de la aterogénesis, como consecuencia de la oxidación de las LDL, además de tener efectos hipocolesterolémicos y vasodilatadores (Santangelo *et al.*, 2007). También se ha comprobado que el consumo de ciertas infusiones moviliza las grasas del tejido adiposo, estimulando la termogénesis (Wolfram, 2005).

El té verde es la infusión más estudiada hasta el momento y presenta importantes beneficios a la salud, ya que disminuye el riesgo de enfermedades como obesidad, diabetes y cardiovasculares (Peters *et al.*, 2001; Kris-Etherton y Keen, 2002). Estudios realizados tanto *in vitro* como *in vivo* con té verde han demostrado que las catequinas provenientes del té, mayoritariamente la epigalocatequina galato (EGCG), disminuyen la diferenciación y proliferación en adipocitos, lipogénesis, grasa corporal, peso corporal, absorción de lípidos, triglicéridos en plasma, ácidos grasos libres, colesterol, glucosa, insulina y leptina, aumentando la beta-oxidación y la termogénesis (Monterio *et al.*, 2008). Así mismo, estudios epidemiológicos reportan una reducción en la grasa y peso corporal, y un aumento en la oxidación de lípidos y termogénesis (Wolfram, 2005). Lo que sugiere que el té verde afecta directamente el tejido adiposo, el hígado, el intestino y el músculo esquelético.

A pesar de los beneficios del té verde, la población mexicana presenta un bajo consumo de esta bebida, ya que un alto porcentaje de la población tiene una mayor preferencia de infusiones de hierbas, flores o frutos locales, las cuales en algunos reportes se ha demostrado que son importantes fuentes de compuestos bioactivos llegando a tener efectos terapéuticos en enfermedades como la obesidad y sus complicaciones. Entre las infusiones consumidas por la población se encuentran la hierbabuena (*Mentha piperita*), la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), la toronja (*Citrus paradisi*) y la alcachofa (*Cynara scolymus*).

Hierbabuena (*Mentha piperita*)

La hierbabuena es una hierba nativa de Europa, naturalizada en el norte de Estados Unidos y Canadá, y cultivada en diversas partes del mundo. La *Mentha piperita* L. es una planta aromática, perteneciente a la familia de las Lamiáceas, crece particularmente en tierras húmedas; sus hojas son lisas, de color verde intenso y alargadas con un extremo acentuado. Las flores son de un color rosa a lila y crecen en los extremos de los vástagos. Normalmente se le cultiva comercialmente en las zonas templadas y florece como respuesta a un fotoperiodo largo.

Las hojas tienen usos culinarios, como condimento, tanto en seco como en fresco, y el aceite esencial extraído de las hojas tiene gran importancia económica en industria por sus múltiples usos como saborizante, fragancia y en la industria farmacéutica (Alí *et al.*, 2002).

De manera tradicional, la infusión de hierbabuena (*Mentha spicata*) ha sido empleada principalmente en procesos digestivos (McKay y Blumberg, 2006).

Estudios *in vitro* realizados en extractos de hojas de *Menta piperita* han comprobado un efecto antitumoral (Ohara y Matsuhisa, 2002); actividad anti-alergénica (Inoue *et al.*, 2002); antiviral y antibacteriana (Azuma *et al.*, 2003), y antifúngica (Edris y Farrag, 2003). La hierbabuena también se ha usado en el tratamiento de problemas intestinales (Foster, 1996), y ha demostrado que promueve el incremento del flujo de la bilis desde la vesícula biliar (Trabace, 1992).

En un estudio sub crónico, en ratas alimentadas con una dieta adicionada con aceite de soya hidrogenado (9%) y con infusión de hojas de *Mentha piperita* al 1%, mejoró el perfil lipídico de los animales, disminuyendo los niveles de triglicéridos y colesterol en suero (Barbaho *et al.*, 2009).

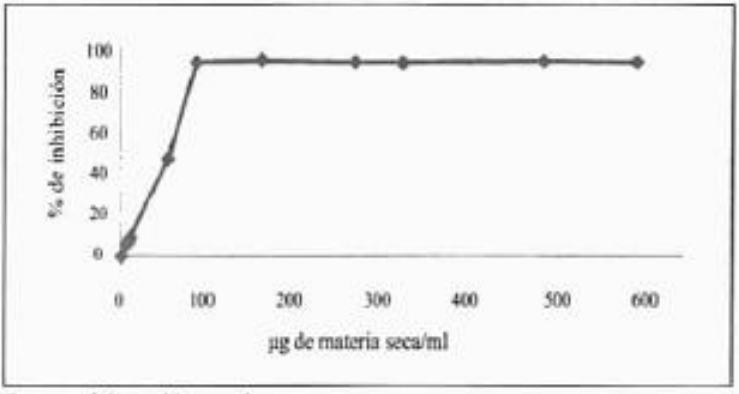
Así mismo, en otro estudio sub crónico, la infusión de hojas de *Mentha piperita* al 1% mejoró el perfil lipídico de ratas alimentadas con una dieta adicionada con aceite de soya hidrogenado (9%), disminuyendo los niveles de triglicéridos y colesterol en suero (Barbaho *et al.*, 2009). Este estudio demostró que *Mentha pipperita* disminuye el incremento del peso corporal incluso con un incremento en la ingesta de alimento, mecanismo que no ha sido claramente definido.

Algunos de los beneficios atribuidos a la hierbabuena se basan principalmente en el efecto antioxidante de esta planta, ya que la mayoría de las enfermedades crónico degenerativas como la obesidad están estrechamente ligadas al estrés oxidativo (Wu *et al.*, 2009). Dorman *et al.* (2003), reportan que la infusión de hierbabuena presenta una actividad antioxidante *in vitro* inhibiendo la peroxidación de fosfolípidos, la capacidad de quelar metales y de estabilizar

radicales libres como el radical 1,1,-difenil-2-picrilhidrazilo, mejor conocido como DPPH (por sus siglas en inglés). En la figura 1 se presenta el porcentaje de inhibición del radical DPPH a diferentes concentraciones de infusión de hierbabuena. En esta figura se puede observar que la infusión de hierbabuena inhibe alrededor del 97% del radical DPPH a una concentración de 100 µg de materia seca/mL.

En estudios realizados en humanos, Gobel *et al.* (1995), reportaron que el consumo de tres a cuatro tazas de infusión de hierbabuena al día entre comidas ayuda a disminuir problemas gastrointestinales.

Figura 1. Porcentaje de inhibición de radical DPPH por la infusión de hierbabuena (*Mentha pipperita*) a diferentes concentraciones



Fuente: elaboración propia.

Los componentes químicos de la hierbabuena varían según la madurez de la planta, la región geográfica en la cual fue sembrada y las condiciones del procesamiento (Ruiz del Castillo *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2003). Duband *et al.* (1992) reportaron que alrededor del 75% del contenido de compuestos fenólicos presentes en las hojas de hierbabuena son extraídos en las infusiones. El contenido total de polifenoles en las hojas de la hierbabuena es de aproximadamente 19-23 y el 12% son flavonoides totales. Dentro de este grupo de polifenoles se ha identificado la eriocitrina, el ácido rosmarínico, la luteolina 7-O-rutinósido, la hesperidina y cantidades pequeñas de 5,6-hidroxi-7,8,32,42-tetrametoxiflavona, pebrellina, gardenina B y apigenina (Arcias *et al.*, 2001; Zheng y Wang, 2001).

Flor de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.)

La flor de jamaica pertenece a la familia de las malváceas, y su origen se ubica en los países tropicales de Asia, particularmente India y Malasia, de donde se dispersó hacia algunos países africanos con climas tropicales y subtropicales, así como a Centro y Sudamérica. En México, la flor de Jamaica fue introducida por los españoles durante la colonización (SAGARPA-ASERCA, 1999). Actualmente, los principales países productores de flor de Jamaica son China, India y Sudán; México ocupa el séptimo lugar de esta lista, siendo el estado de Guerrero el principal productor (INEGI, 2005).

Hibiscus sabdariffa L. es una planta herbácea anual, sus flores son de color rojo en la base y más pálido en los extremos, contienen un cáliz carnoso y generalmente de un color rojo más intenso. Los cálices son lo más destacable de la planta y se recogen en el momento en que alcanzan un tono rojo fuerte (Sáyago y Goñi, 2009).

En México, los cálices son secados al sol y se utilizan para preparar una bebida tipo infusión, usada de manera tradicional por la población para el tratamiento de la obesidad (Aquino y León, 2005).

Los efectos relacionados con salud, que se han demostrado en experimentos realizados con el extracto acuoso de los cálices, son numerosos. Uno de los más conocidos es el efecto hipotensor, atribuido a su acción vaso-relajante (Odigie *et al.*, 2003; Herrera-Arellano *et al.*, 2004). A la flor de jamaica se le atribuyen también efectos diuréticos, estimulación de la peristalsis intestinal, reducción de los niveles de colesterol; acción astringente, digestiva y emoliente (Tsai *et al.*, 2002).

Estudios *in vitro* demostraron que la flor de jamaica tiene una actividad antioxidante, inhibiendo hasta en un 92% el radical DPPH (Galicia-Flores *et al.*, 2007).

En un estudio realizado por Alarcón *et al.* (2007), en ratones obesos inducidos con glutamato monosódico, se reporta que dos dosis diarias de un extracto acuoso de *Hibiscus sabdariffa* (60 mg/kg) por 60 días inhibe la ganancia de peso corporal, comparado con un control obeso sin tratamiento.

El mecanismo por el cual *Hibiscus sabdariffa* L. provoca la reducción en la ganancia de peso no se ha establecido. Aunque los mecanismos posibles por los cuales la flor de jamaica tiene su efecto incluyen: los efectos hipoglicemiantes, las reducciones en los niveles de colesterol en plasma, inhibición de la lipasa gástrica y pancreática, la estimulación de la termogénesis, la inhibición de la formación de gotas de lípidos en adipocitos sin afectar la función del tejido adiposo, la inhibición de la sintasa de ácidos grasos y la inhibición de la diferenciación de los adipocitos (Kim *et al.*, 2003).

Chen *et al.* (2003), reportaron que un extracto de flor de jamaica al 1% administrado por 10 semanas, disminuyó el desarrollo de ateroesclerosis en conejos alimentados con una dieta alta en colesterol (1.3%) y manteca de puerco (3 por ciento). Así mismo, los autores concluyeron que el mecanismo relacionado con este efecto pudiera deberse a la inhibición de la oxidación de la lipoproteína de baja densidad (LDL).

En un estudio realizado con 65 pacientes hipertensos de entre 30 y 70 años de edad, Herrera-Arellano *et al.* (2004), reportaron una disminución de la presión sanguínea, atribuido al efecto producido por del consumo de 240 mL al día de infusión de flor de Jamaica al 1% durante seis semanas. Por su parte, Mozaffari-Khosravi *et al.* (2009), reportaron que este mismo efecto benéfico sobre la presión sanguínea se ve reflejado en pacientes con diabetes mellitus tipo dos, cuyo consumo de dos tazas diarias de 240 mL de infusión de flor de jamaica al 1.4% reduce la presión arterial en pacientes hipertensos diabéticos.

La composición química de la flor de jamaica es 13 a 30% de ácidos orgánicos (ácidos cítrico, málico y tartárico). Además, la flor contiene polisacáridos heterogéneos, mucílagos y pectinas constituidos por los ácidos urónicos en forma de sal y compuestos bioactivos como los polifenoles, donde la mayoría son las antocianinas como delfinidina-glucósido, sambubiósido y cianinidina-3-sambubiósido, así como algunos flavonoides como gosipetina, hibiscetina y sus respectivos glucósidos; ácido protocatequico y eugenol (Castañeda, 2002; Ali-Bradeldin *et al.*, 2005).

Toronja (Citrus paradisi)

La toronja o pomelo, como es conocido en Sudamérica, pertenece a la familia de las Rutáceas (Rutaceae). *Citrus paradisi* es un híbrido que surgió de manera natural al mezclarse las especies *Citrus máxima* y *Citrus sinensis* en las plantaciones del Caribe (Fujioka *et al.*, 2006).

De acuerdo con un reporte del Sistema-Producto Cítricos, a nivel mundial México mantiene el tercer lugar en la producción de este cítrico junto con la naranja.

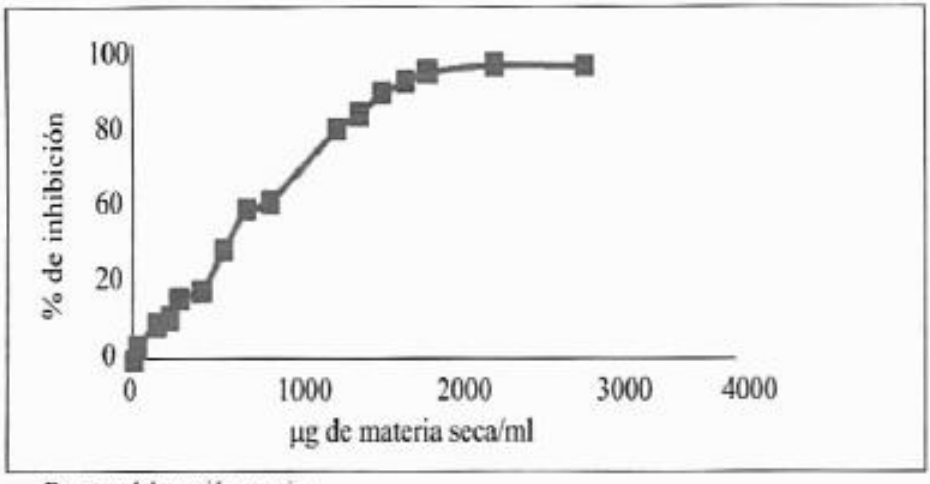
El fruto es globoso recubierto de una cáscara gruesa y carnosa. La toronja crece en climas subtropicales y su uso es principalmente comestible de forma fresca, tanto el fruto como su jugo; sin embargo, tanto la pulpa como la cáscara también se utilizan como infusiones (Fujioka *et al.*, 2006).

La toronja (*Citrus paradisi*) se ha utilizado como coadyuvante en la reducción de peso y se le atribuyen efectos importantes al disminuir los triglicéridos sanguíneos (Fujioka *et al.*, 2006; Owira y Ojewole, 2009; Haze *et al.*, 2010).

Estudios *in vitro* han demostrado que la toronja posee propiedades antioxidantes. De los compuestos con actividad biológica, la naringina y la hespiridina son los principales flavonoides encontrados en *Citrus paradasi* (Del Río y Ortuño, 1994; Ortuño *et al.*, 1995). Estos compuestos han demostrado tener un efecto biológico; particularmente la naringina, la cual muestra una capacidad antioxidante inhibiendo la oxidación lipídica (Francis *et al.*, 1989; Chen *et al.*, 1990). Mientras que, Li *et al.*, (2006), estudiaron diferentes partes de la toronja, como las semillas y la piel, reportando que son fuentes importantes de compuestos fenólicos.

En la figura 2 se muestra el porcentaje de inhibición del radical mejor conocido como ABTS (por sus siglas en inglés), por la infusión de toronja a diferentes concentraciones. En esta figura se puede observar que el porcentaje máximo de inhibición al radical ABTS alcanzado por la infusión de toronja fue alrededor del 90% con una concentración de 2 mg de materia seca/mL.

Figura 2. Porcentaje de inhibición de radical ABTS por infusión de toronja *(Citrus paradisi)*



Fuente: elaboración propia.

En estudios clínicos, se ha demostrado que la hesperidina, la cual es uno de los componentes principales de la toronja, incrementó la resistencia capilar e induciendo propiedades analgésicas y antiinflamatorias (Emim *et al.*, 1994).

Oboh y Ademosun (2011), reportaron que un extracto acetónico al 80% de cáscara de toronja inhibe *in vitro* la actividad de las enzimas a-amilasa y la enzima

convertidora de angiotensina II, la cual es un potente vasoconstrictor y se ha identificado como el mayor factor involucrado en hipertensión.

Un estudio realizado con hepatocitos de ratas demostró que un extracto rico en naringenina obtenida a partir de la toronja induce la trascripción del receptor de LDL (Wilcox *et al.*, 2001; Borradoile *et al.*, 2003), así como de otros genes involucrados en el metabolismo de lípidos, como el factor de trascripción de receptores activados por proliferadores de peroxisomas (PPAR's), entre otros (Goldwasser *et al.*, 2010).

En un ensayo clínico realizado con 108 pacientes, en un intervalo de índice de masa corporal alrededor de 30 a 40 kg/m^2, los cuales se sometieron a un consumo de jugo de toronja (207 mL) tres veces al día antes de cada comida durante 12 semanas, se observó una disminución en el peso corporal de los pacientes que consumieron el jugo de la toronja, así como una disminución en la insulina pospandrial, lo cual siguiere una mejora en la resistencia a la insulina (Fujioka *et al.*, 2006).

Ogura *et al.* (2011) reportaron que un consumo de toronja 15 minutos antes del desayuno tiene un efecto positivo sobre el metabolismo de la glucosa y de los lípidos, estudio que realizaron en veinte voluntarios sanos a los cuales se les administró el tratamiento con toronja durante 5 días y observaron una mejoría en la asimilación de la glucosa y una disminución en triglicéridos séricos.

Uno de los posibles mecanismo que se ha propuesto para el efecto antiobesigénico de la toronja es la regulación positiva de los genes los genes responsables de la oxidación de los ácidos grasos, así como de la supresión de aquellos involucrados en la lipogénesis, además de disminuir la secreción de la bilis, lo que reduce a su vez la absorción de las grasas. Se ha demostrado que la toronja reduce la actividad de 3-hidroxi-3-metil-glutaril-CoA reductasa (HMG-CoA), enzima reguladora de la síntesis de colesterol (Jung *et al.*, 2003; Goldwasser *et al.*, 2010; Haze *et al.*, 2010;).

Adicional a los compuestos fenólicos como la narigina, la naringenina y la hesperidina, se han identificado componentes de la toronja como el ácido ascórbico, el ácido málico, el ácido oxálico, el ácido cítrico, entre otros (Fujioka *et al.*, 2006; Owira y Ojewole, 2009; Haze *et al.*, 2010).

Alcachofa (Cynara scolymus)

La alcachofa (*Cynara scolymus*) es una herbácea perenne nativa de Europa, el norte de África y las islas Canarias y es una planta cultivada como alimento en climas templados y pertenece al género Cynara dentro de la familia Asteraceae. Se nombra como alcachofa, tanto la parte de la planta entera, como la cabeza floral comestible (Rottenberg y Zohary, 1996).

Alcachofa es una de las plantas medicinales más antiguas del mundo que se utiliza de manera tradicional (Jimenez *et al.*, 2003). Se le atribuyen efectos sobre la salud, especialmente un efecto hepatoprotector (Gebhardt, 1997), anticancerígeno (Clifford, 2000); así como, un efecto sobre la disminución en los niveles de colesterol circulante (Englisch *et al.*, 2000).

En estudios *in vitro*, la alcachofa ha demostrado tener una capacidad antioxidante, que se atribuye a compuestos fenólicos como el ácido cafeico y sus derivados; el ácido clorogénico (Tomás-Barberán *et al.*, 2000).

Ghada y Tamer (2009), reportaron que en ratas hiperlipidémicas inducidas con una dieta alta en colesterol (2%) durante seis semanas y tratadas con extracto metanólico de alcachofa al 70%, presentaron una disminución significativa en los niveles de colesterol, LDL y triglicéridos en suero, comparados con los niveles en las ratas del grupo control (Ghada y Tamer, 2009).

Otro de los compuestos activos de la alcachofa y que se considera de los más importantes, es la cinarina (Gebhardt, 1997). Cervellati *et al.* (2002) y Taylor (2002) reportaron que la cinarina moviliza los depósitos de grasa en el hígado ayudando a su eliminación.

En el cuadro 1 se muestra la concentración de triglicéridos en tejido adiposo visceral abdominal de ratas sanas y obesas inducidas con dieta alta en grasa saturada (20.08 %) y tratadas con infusión de alcachofa al 1 por ciento. Estos resultados muestran una disminución en el almacenamiento de triglicéridos en las ratas obesas tratadas con la infusión de alcachofa en comparación con el control obeso, lo que podría indicar un efecto antiobesigénico de esta infusión.

Se ha reportado que la alcachofa previene la formación y el desarrollo de la placa ateroesclerótica, lo que se le atribuye al efecto antioxidante de sus componentes, los cuales reducen la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Brown, 1998). Estudios realizados con cultivos primarios de hepatocitos de ratas comprobaron que el extracto acuoso de alcachofa produce un bloqueo en la actividad de la enzima hidroximetilglutaril-CoA-reductasa (HMGCOA-reductasa), que afecta de manera directa al primer paso en la biosíntesis del colesterol hepático (Gebnardt, 1988).

Englisch *et al.* (2000) reportaron una reducción de colesterol y triglicéridos en pacientes hiperhicolesterolémicos, los cuales se sometieron a un consumo de un extracto de alcachofa durante 43 días, observándose una disminución en la concentración del colesterol y de los triglicéridos séricos. Estos resultados son atribuidos a la inhibición enzimática de la HMGCOA-reductasa y a las acciones colagoga-colerréticas del extracto, la cual se refiere a la eliminación del colesterol por excreción biliar e incremento de su empleo en la síntesis de ácidos biliares.

Cuadro 1. Concentración de triglicéridos en tejido adiposo visceral abdominal de ratas tratadas con infusión de alcachofa

	Triglicéridos en tejido adiposo (mg/g)
Sanas	151.18 ± 50.69[b]
Obesas	259.14 ± 34.99[a]
Infusión Alcachofa 1%	144.20 ± 35.92[b]

Fuente: elaboración propia. Los valores representan la media ± D. E. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p<0.05$), evaluado por la prueba de Tukey.

Aunado a los compuestos ya mencionados, se han identificado otros compuestos en la alcachofa como: luteolina, apigenina, quercetina, rutina, ácido isoclogénico, luteolina-4'-glucosido y luteolina-7-gentiobiosido, y en menor concentración hesperidina y algunos terpenos. También se informado que la alcachofa contiene antocianinas en un intervalo que oscila entre 8.4 y 1705.4 mg/kg de material seco, donde la antocianina más importante es la cianidina (Shimoda *et al.*, 2003,Schütz, 2004).

Conclusiones

La hierbabuena (*Mentha piperita*), la flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.), la toronja (*Citrus paradisi*) y la alcachofa (*Cynara scolymus*) poseen compuestos bioactivos como los polifenoles, los cuales se pueden extraer en las infusiones. Estos compuestos, por sus características y propiedades reportadas, pueden actuar como coadyuvantes en el tratamiento y prevención de la obesidad, así como sus complicaciones, inhibiendo alteraciones metabólicas y retrasando de esta manera enfermedades crónicas degenerativas como la diabetes mellitus tipo 2, enfermedades coronarias, entre otras.

Por lo anterior, las infusiones de los materiales mencionados en este capítulo se consideran una fuente importante y económica de fitoquímicos, incluyéndose de esta manera como bebidas nutracéuticas, las cuales proporcionan un beneficio a la salud.

Agradecimientos

Agradecemos al apoyo recibido del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Querétaro (QRO-2008-CO2-10090) y al fondo para el fortalecimiento de la investigación UAQ-2012.

Sobre los autores

Claudia Ivette Gamboa Gómez,[1] Minerva Ramos Gómez,[1] Guadalupe Flavia Loarca Piña,[1] Sandra Olimpia Mendoza Díaz,[1] Rosalía Reynoso Camacho.[1]*
[1]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Facultad de Química, UAQ. Cerro de las Campanas S/N, C.P. 76160, Querétaro, Qro., México, correo electrónico *rrcamacho@yahoo.com.mx

Referencias

Alarcon, F., A. Zamilpa, D. Perez, J. C. Almaza, E. Romero, E. A. Campos, L. I. Vazquez, R. Roman (2007), "Effect of *Hibiscus sabdariffa* on obesity in MSG mice", *Journal of Ethnophamarcology,* 114, pp. 66-71.

Ali, M. S., M. Saleem, W. Ahmad, M. Parvez, R. A. Yamdagni (2002), "Chlorinated monoterpene ketone, acylated *ā*-sitosterol glycosides and a flavanone glycoside from *Mentha longifolia* (Lamiaceae)", *Phytochemistry,*59, pp. 889-895.

Ali-Bradeldin, H., N. Al-Wabel, B. Gerald (2005), "Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa L.*", *Phytotherapy Research,* 19, pp. 369-375.

Aquino, Y. D., A. León (2005), "Flor de Jamaica orgánica de México (*Hibiscus sabdariffa* L.)", *Revista Electrónica Latinoamericana en Desarrollo Sustentable,* disponible en http://vinculando.org/mercado/flor jamaica.html; consultado el mayo 17.

Areias, F. M., P. Valentao, P. B. Andrade, F. Ferreres, R. M. Seabra (2001), "Phenolic fingerprint of peppermint leaves", *Food Chemistry,* 73, pp. 307-311.

Azuma, K., H. Ito, K. Ippoushi, H. Higashio (2003), "In vitro antibacterial activity of extracts from four Labiatae herbs against Helicobacter pylori and Streptococcus mutan", *Bulletin of the National Institute of Vegetable and Tea Science*, 2, pp. 83-91.

Barbalho, S.M., A.P. Machado, E. Prado de Oliveira, E. Paiva-Filho, K. Aparecida, N. Coelho, R. Maeda, v. Sasaki, L. Silva, M. Oshiiwa (2009), "*Mentha pipperita* effects on Wistar rats plasma lipids", *Brazilian Archives of Biology and Techology*, 52 (5), pp. 1137-1143.

Borradaile, N.M., L. Dreu, M.W. Huff (2003), "Inhibition of Net HepG2 Cell Apolipoprotein B Secretion by the Citrus Flavonoid Naringenin Involves Activation of Phosphatidylinositol 3-Kinase, Independent of Insulin Receptor Substrate-1 Phosphorylation", *Diabetes*, 52, pp. 2554-2561.

Brown, J. E., C. A. Rice-Evans (1998), "Luteolin-rich artichoke extract protects low density lipoprotein from oxidation *in vitro*", *Free Radical Research*, 29, pp. 247-55.

Castañeda, W. (2002), "Caracterización de 10 introducciones de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en Pocora Limón Costa Rica", tesis para obtener el grado de Ingeniero en Agronomía, pp. 29-53.

Cervellati, R., C. Benzulli, M. C. Guerra, E. Speroni (2002), "Evaluation of antioxidant activity of some natural polyphenolic compounds using the Briggs-Rauscher", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, pp. 7504-7509.

Chen, Y., Z. J. Zheng, Y. Jia (1990), "Flavonoids as superoxide scavengers and antioxidants", *Free Radical Biology and Medicine*, 9, pp. 19-21.

Chen, C. C., J. D. Hsu, S. F. Wang (2003), "*Hibiscus sabdariffa* extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, pp. 5472-5477.

Clifford, M. (2000), "Chlorogenic acids and other cinnamatessnature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, pp. 1033-1043.

Del Río, J. A., A. C. Ortuño (1994), "*Paradisi* Macf. (Grapefruit): *in vitro* culture and the bioproduction of sesquiterpenes nootkatone, valencene and other secondary metabolites, Y.P.S. Bajaj", *Medicinal and aromatic plants VIII; Biotechnology in agriculture and forestry, Springer-Verlag*, 8, pp. 123-138.

Duband, F., A.P. Carnat, A. Carnat, C. Petitjean-Freytet, G. Clair, J. L. Lamaison (1992), "Aromatic and polyphenolic composition of infused peppermint, *Mentha piperita L.*", *Annales Pharmaceutiques*, 50, pp. 146-155.

Dorman, H. J., M. Kosar, K. Kahlos, Y. Holm, R. Hiltunen (2003), "Antioxidant Properties and Composition of Aqueous Extracts from *Mentha Species*, Hybrids, Varietie, and Cultivars", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, pp. 4563-4569.

Edris, A. E., E. S. Farrag (2003), "Antifungal activity of peppermint and sweet basil essential oils and their major aroma constituents on some plant pathogenic fungi from the vapor phase", *Nahrun*,47, pp. 117-121.

Emim, J.A.S., A. B. Oliveira, J. A. Lapa ( ), "Pharmacological evaluation of the anti-inflammatory activity of a *Citrus* bioflavonoid, hesperidin, and the isoflavonoids, duartin, and claussequinone, in rats and mice", *Journal of Pharmacology*, 46, pp. 118-122.

Englisch, W., C. Beckers, M. Unkauf, M. Ruepp, V. Zinserling (2000), "Efficacy of Artichoke Dry Extract in Patients with Hyperlipoproteinemia", *Arzneimittelforschung*, 50, pp. 260-265.

Foster, S. (1996), "Herbs for your health", *Loveland, CO: Interweave Press*, pp. 72-73.

Francis, A. R., T. K. Shetty (1989), "Bhattacharya, R.K, Modulating effect of plant flavonoids on the mutagenicity of *N*-methyl-*N*-nitrosoguanidine", *Carcinogenesis*, 10, pp. 1953-1955.

Fujioka, K., F. Greenway, J. Sheard, Y. Ying (2006), "The effect of grapefruit on weight and resistance: relationship to the metabolic syndrome", *Journal of Medicine of Food*, 9, pp. 49-54.

Galicia- Flores, L. A., Y. Salinas-Moreno, B. M. Espinoza-García, C. Sánchez-Feria (2007), "Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.)", *Revista Chapingo serie Horticultura*, 14, pp. 121-129.

Gebhardt, R. (1996), "New findings on the effects of artichoke leaf extract [Neue Erkenntnisse zur Wirkung von Artischockenblaetterextrakt]", *Zeitschrift für Allgemeinmedizin*, 72, pp. 20-3.

Gebhardt, R. (1997), "Antioxidative and protective properties of extracts from leaves of the artichoke (*Cynara scolymus L.*) against hydroperoxide-induced oxidative stress in cultured rat hepatocytes", *Toxicology Applied. Pharmacology*, 144, pp. 279-286.

Ghada, Z.A., M. M. Tamer (2009), "Efect of cynara scolymus L. (Artichoke) extract on lipid profile of hyperlipidemic male rats", *The Egyptian of hospital medicine*, 37, pp. 733-741.

Goldwasser, J., P.Y. Cohen, E. Yang *et al.* (2010), *Transcriptional regulation of human and rat hepatic lipid metabolism by the grapefruit flavonoid naringenin: role of PPARá, PPARã and LXRá, PLoS One*, 58, p. 2399.

Gobel, H., G. Schmidt, M. Dwoshak *et al.*, (1995), "Essential plant oils and headache mechanisms", *Phytomedicine*, 2, pp. 93-102.

Haze, S., K. Sakai, Y. Gozu M. Moriyama (2010), "Grapefruit oil attenuates adipogenesis in cultured subcutaneous adipocytes", *Planta Medicinal Journal*, 76, pp. 950-955.

Herrera-Arellano, A., S. Flores-Romero, M. A. Chávez-Soto, J. Tortoriello (2004), "Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial", *Phytomedicine*, 11, pp. 375-382.

Inoue, T., Y. Sugimoto, H. Masuda, C. Kamei (2002), "Antiallergic effect of flavonoid glycosides obtained from *Mentha piperita L.*", *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 25, pp. 256-259.

Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) (2005), Anuario estadístico del estado de Guerrero, México.

Jimenez-Escrig, A., L. O. Dragsted, B. Daneshvar, R. Pulido, F. Saura-Calixto ( ), "In vitro antioxidant activities of edible artichoke (*Cynara scolymus* L.) and effect on biomarkers of antioxidants in rats", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 51, pp. 5540-5545.

Jung, U.J., H.J. Kim, J. S. Lee, M. K. Lee, H. O. Kim *et al.* (2003), "Naringin supplementation lowers plasma lipids and enhances erythrocyte antioxidant enzyme activities in hypercholesterolemic subjects", *Clinical Nutrition*, 22, pp. 561-568.

Kim, S. Y., H. J. Kim, M. K. Lee, S. M. Jeon, G. M. Do *et al.* (2003), "Naringin timedependently lowers hepatic cholesterol biosynthesis and plasma cholesterol in rats fed high-fat and high-cholesterol diet", *Journal of Medicinal Food*, 9, pp. 582-586.

Kris-Etherton, P. M., C. L. Keen (2002), "Evidence that the antioxidant flavonoids in tea and cocoa are beneficial for cardiovascular health", *Current Opinion Lipidology*, 13, pp. 41-49.

Li, B.B., B. Smith, M. Hossain (2006), "Extraction of phenolics from citrus peels: I. Solvent ext method", *Separation and Purification Technology*, 48, pp. 182-188.

Lin, J., S. Lin-Shiau (2005), "Mechanisms of hypolipidemic and anti-obesity effects of tea and tea polyphenols", *Molecular Nutrition and Food Research*, 50, pp. 211-217.

McKay, D.L., J. B. Blumberg (2006), "A review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita L.*)", *Phytotherapy Research Journal*, 20, pp. 519-530.

Monteiro, R., M. Assunção, J. A. Andrade, D. Neves, C. Calhau, I. Azevedo (2008), "Chronic green tea consumption decreases body mass, induces aromatase expression and changes proliferation and apoptosis in adult male rat adipose tissue", *Journal of Nutrition*, 138, pp. 2156-2163.

Mozaffi-Khosravi, H., B. A. Jalali-Khanabadi, M. Afkhami-Ardekani, F. Fatehi, M. Noori-Shadkam (2009), "The effects of sour tea (*Hibiscus sabdariffa*) on hypertension in patients with type II diabetes", *Journal of Human Hypertension*, 23, pp. 48-54.

Oboh, G., A. O. Ademosun (2011), "Phenolic extracts from grapefruit peels (*Citrus paradisis*) inhibit key enzymes linked with type 2 diabetes and hypertension", *Journal of Food Biochemistry*, 35, pp. 1703-1709.

Odigie, I. P., R. R. Ettarh, S. A. Adigun (2003), "Chronic administration of aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* attenuates hypertension and reverses cardiac hypertrophy in 2K-1 C hypertensive rats", *Journal of Ethnopharmacology*, 86, pp. 181-185.

Ortuño, A., D. García-Puig, M. D. Fuster, M. L. Pérez, F. Sabater, I. Porras (1995), "Flavanone and Nootkatone levels in different varieties of grapefruits and pummel", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, pp. 1-5.

Ohara, A., T. Matsuhisa (2002), "Anti-tumor promoting activities of edible plants against okadaic acid", *Food Science and Technology Research*, 8, pp. 158-161.

Peters, U., C. Poole, L. Arab (2001), "Does tea affect cardiovascular disease a meta analysis", *American Journal of Epidemiology*, 154, pp. 495-503.

Pickup, J. (2004), "Inflammation and activated innate immunity in the pathogenesis of Type 2 Diabetes", *Diabetes Care*, 27, pp. 813-823.

Rottenberg, A., D. Zohary (1996), "The wild ancestry of the cultivated artichoke", *Genetics Research*, 43, pp. 53-58.

Rivera, J.A., O. Muñoz-Hernández, M. Rosas-Peralta, C. A. Aguilar-Salinas, B. M. Popkin, W. C. Willet (2008), "Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana", *Salud Publica de México*, 50, pp. 173-195.

Ruiz del Castillo, M. L., G. Santa-Maria, M. Herraiz, G. P. Blanch (2003), "A comparative study of the ability of different techniques to extract menthol from *Mentha piperita*", *Journal of Chromatography Sciences*, 41, pp. 385-389.

SAGARPA-ASERCA ( ), "Proveedor de plantas medicinales al mundo", *Claridades Agropecuarias*, 73, pp. 13-21.

Santangelo, C., R. Vari, B. Scazzocchio, R. Di Benedetto, C. Filesi, R. Masella (2007), "Polyphenols, intracelular signalling and inflammation", *Ann Institute Super Sanitá*, 43, pp. 394-405.

Sáyago-Ayerdi, S.G, A. Brenes, A. Viveros, I. Goñi (2009), "Antioxidative effect of dietary grape pomace concentrate on lipid oxidation of chilled and long-term frozen stored chicken patties", *Meat Science*, 83, pp. 528-533.

Shimoda, H., K. Ninomiya, N. Nishida (2003), "Anti-hyperlipidemic sesquiterpenes and new sesquiterpene glycosides from the leaves of artichoke (*Cynara scolymus L.*): structure requirement and mode of action", *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 13, pp. 223-8.

Schütz, K., D. Kammerer, R. Carle, A. Schieber (2004), "Identification and quantification of caffeoylquinic acids and flavonoids from artichoke (*Cynara scolymus*

L.) heads, juice, and pomace by HPLC-DAD-ESI/MS (n)", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, pp. 4090-4096.

Taylor, L. (2002), "Herbal secrets of the rainforest", *2 and Ed. Published and copyrighted by Sage press, Inc.* p. 306.

Toma´s-Barbera´n, F. A., F. Ferreres, M. I. Gil (2000), "Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing. In *BioactiVe Natural Products (Part D)*; Rahman, A., Elsevier Science: Amsterdam", *The Netherlands*, pp. 739-795.

Trabace, L. (1992). "Choleretic activity of some typical components of essential oil", *Planta Medica*, 58, pp. 50-51.

Tsai, P.J., J. McIntosch, P. Pearce (2002), "Camdem, B; Jordan, B.R; Anthocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract", *Food Research International*, 35, pp. 351-356.

Wilcox, L. J., N. M. Borradaile, L. Dreu, M. W. Huff (2001), "Secretion of hepatocyte apoB is inhibited by the flavonoids, naringenin and hesperetin, via reduced activity and expression of ACAT2 and MTP", *Journal of Lipid Research*. 42, pp. 725-734.

Wu, B., K. Fukuo, K. Suzuki, G. Yoshino, T. Kazumi (2009), "Relationships of systemic oxidative stress to body fat distribution, adipokines and inflammatory markers in healthy middle-aged women", *Endocrine Journal*, 56, pp. 773-782.

Xu, P., W. Jia, L. Bi, X. Liu, Y. Zhao (2003), "Studies on components and quality of essential oil from *Mentha piperita L.*", *Chemistry and Industry of Forest Products*, China, 23, pp. 43-45.

York, D., C. Bouchard (2000), "How obesity develops: insights from the new biology", *Endocrine*, 13, pp. 143-54.

Zheng, W., S. Y. Wang, (2001), "Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs", *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, pp. 5165-5170.

Fitoestrógenos dietarios y sus benef cios potenciales en enfermedades crónicas

María de Lourdes Gutiérrez Coronado, Ana Isabel Valenzuela Quintanar, María del Refugio Robles Burgueño, Susana Alejandra Palma Durán, Graciela Caire Juvera, Melissa María Campa Siqueiros, Karina María Chávez Suárez

Resumen

Los fitoestrógenos (FE) son compuestos difenólicos biológicamente activos, de origen vegetal, que estructuralmente mimetizan la acción del 17ß-estradiol. El estudio de los FE ha sido impulsado por su efecto potencial para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, al modular procesos biológicos que pueden incidir en la salud, a través de la unión a receptores hormonales o mediante la regulación enzimática. Estudios epidemiológicos indican que una dieta rica en FE se asocia con una reducción del riesgo de cáncer hormono-dependiente, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis. El interés que han recibido los FE en la salud ha llevado a la necesidad de desarrollar técnicas cada vez más rápidas, sensibles y específicas para su cuantificación en los alimentos. En esta revisión se analizan diferentes aspectos de los FE, con énfasis en el impacto que ejercen en la prevención de algunos síntomas de la menopausia y enfermedades crónicas como las cardiovasculares, la osteoporosis y el cáncer. Se muestra la estructura de los FE, su metabolismo, vías de absorción y sus funciones bioquímicas. Se describen los alimentos aportadores de FE en la dieta sonorense y la importancia de su análisis para el desarrollo de las tablas de composición de alimentos.

Palabras claves: fitoestrógenos, enfermedades crónicas, alimentos aportadores.

Fitoestrógenos: clasif cación y alimentos aportadores

Los fitoestrógenos son compuestos difenólicos biológicamente activos, de origen vegetal, que estructuralmente mimetizan la acción del 17ß-estradiol. Su actividad puede producirse a través de la unión a receptores hormonales, o bien, a través de la regulación enzimática. De esta forma, intervienen en el metabolismo y producción de hormonas sexuales, proliferación de células malignas, diferenciación celular, regulación de niveles enzimáticos intracelulares y balance oxidativo. Basados en su estructura química, los fitoestrógenos se dividen en flavonoides y no flavonoides (figura 1) (Mense *et al.*, 2008; Moutsatsou, 2007).

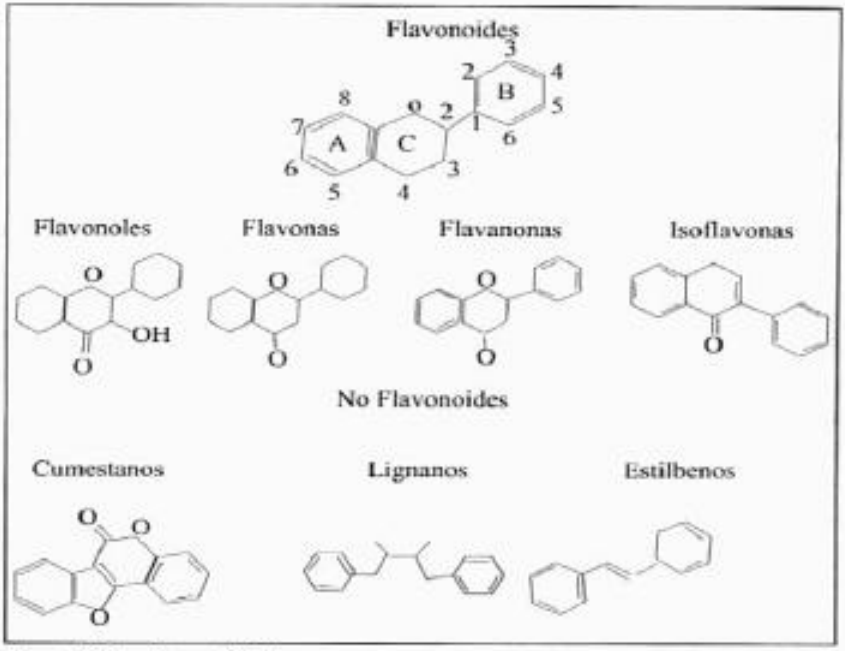
Flavonoides

Los flavonoides son el grupo más grande de polifenoles, con una estructura base de difenilpropanos (C6-C3-C6), que consta de dos anillos aromáticos (A y B) unidos a través de tres átomos de carbono (figura 1). Los flavonoides se dividen en base a las variaciones que presenta el anillo C en flavonas, flavanonas, flavonoles, catequinas, antocianidinas e isoflavonas.

Flavonoles, Flavonas y Flavanonas

Los flavonoles considerados como fitoestrógenos son quercetina y kaempferol, la flavanona naringenina y la flavona apigenina. Recientemente se incluye a esta lista a luteolina por su capacidad de inhibir actividades procancerígenas. Estos compuestos se encuentran distribuidos ampliamente en frutas, verduras, té, chocolate, cerveza y vino. Dentro del grupo de los flavonoles y flavonas, quercetina es el que se encuentra en mayor cantidad en los alimentos. A su vez, kaempferol, miricetina, apigenina y naringenina están presentes en cítricos, manzanas, cebollas, té y vino. Quercetina es el principal flavonol presente en cebolla, mientras que quercetina y kaempferol son los principales compuestos en té. En cuanto a luteolina, metabolito proveniente de diosmetina, se encuentra en hojas de olivo. Por ello, existe una gran variedad de alimentos que contienen flavonoides en la dieta. (Dixon, 2004; Ross y Kasum, 2002).

Figura 1. Clasif cación de los f toestrógenos de acuerdo a su estructura química



Fuente: Palma-Duran (2012).

El potencial de estos polifenoles como fitoestrógenos ha recibido menor atención que las isoflavonas. La importancia de estos compuestos radica en su actividad antioxidante más que en su actividad como fitoestrógenos. Esto se debe a que presentan nula o baja actividad estrogénica. No obstante, flavonoides débilmente estrogénicos se producen en plantas comestibles y en ocasiones se utilizan con fines terapéuticos. A pesar de su baja actividad, algunos son buenos inhibidores del citocromo P450 aromatasa. Éste se encuentra implicado en la conversión de los andrógenos a estrógenos y por lo tanto, en cierta forma, intervienen en los niveles estrogénicos de la mujer.

Isoflavonas

Las isoflavonas difieren de los flavonoides en presentar el anillo B unido al C3, y no al C2, del heterociclo principal (figura 1). La variación estructural dentro de las isoflavonas es muy diversa, incluyendo no sólo el número y complejidad de los sustituyentes, sino también diferentes niveles de oxidación del heterociclo (Dixon, 2004).

Las isoflavonas presentes en la dieta, se dividen generalmente en isoflavonas simples y glicósidos. Las isoflavonas constituyen el grupo principal de los flavonoides con 364 compuestos aglicados. Dentro de este grupo, las de mayor interés con relación a su actividad estrogénica son genisteína, daidzeína, gliciteína, biochanina A y formononetina (Mazur y Adlercreutz, 1998). Los glicósidos con esta actividad biológica son daidzina, genistina y glicitina (ya sea en forma glucosídica, acetilglucosídica o malonilglucosídica). Las isoflavonas presentan una distribución limitada en el reino vegetal ya que se encuentran principalmente en la subfamilia de las leguminosas, la *Papilionaceae*. En algunas investigaciones, se ha detectado su presencia en otras familias de las angioespermas, incluyendo a Compositae (lechuga), Iridaceae (azafrán), Myristicaceae (nuez moscada) y Rosaceae (manzana). Por ello, son relativamente pocas las especies que contienen isoflavonas en la dieta (Harbone *et al.*, 1999).

La principal fuente dietaria de isoflavonas es la soya. Altos niveles de genisteína y daidzeína se presentan en alimentos a base de soya, harina de soya y concentrados de soya. También se han identificado como fuentes al garbanzo, los chícharos, el frijol y otras leguminosas, así como el trébol y alfalfa; además de los granos de cereales. A su vez, la col, frutas secas, espárragos, ajo y bebidas alcohólicas proporcionan isoflavonas a la dieta. Si bien la soya es el alimento con mayor concentración de isoflavonas, la papaya y el kiwi también se consideran una fuente dietaria importante de isoflavonas.

La concentración y composición química de las isoflavonas se ve afectada por su procesamiento comercial. Por lo que, los productos altamente procesados (como la salsa de soya y el miso) pierden casi el total de las isoflavonas en su elaboración, mientras que los alimentos sin procesar mantienen inalteradas sus concentraciones. Los cambios químicos dependerán del procesamiento del alimento, presentándose alteración en el glicósido hasta pérdida del mismo. Durante el proceso de fermentación, se presenta remoción de glicosilaciones. Por ello, los alimentos no fermentados contienen mayores niveles de glucosilaciones, mientras que los alimentos de soya fermentados contienen mayores niveles de isoflavonas aglicadas (Coward *et al.*, 1998; Kurzer y Xu, 1997).

No flavonoides

Los difenoles no flavonoides considerados como fitoestrógenos pertenecen a los cumestanos, lignanos y estilbenos.

Cumestanos

Los cumestanos están relacionados genéticamente con las isoflavonas. De esta forma, el cumestrol se deriva de la daidzeína por una serie de reacciones que incluyen hidroxilación y oxidación en el C2 y la formación de un anillo entre el C4 del heterociclo y C2'del anillo B. Dentro de los cumestanos, se han identificado una gran variedad de ellos pero sólo algunos presentan actividad estrogénica. Por lo tanto, dentro de esta clase, el de mayor interés en relación a su actividad estrogénica es el cumestrol. Siendo, la principal fuente dietaria, el germen de soya y la alfalfa. También se encuentra en el garbanzo, los chícharos y el frijol (Dixon, 2004).

Lignanos

Los lignanos son un grupo de metabolitos secundarios de plantas que consisten principalmente de unidades fenilpropanoides (C6-C3) (figura 1). Son un grupo de compuestos diversos, ampliamente distribuidos en todo el reino vegetal donde funcionan como agentes de defensa. Los principales lignanos presentes en plantas son secoisolariciresinol y matairesinol. También se ha demostrado que las plantas contienen en pequeñas cantidades lariciresinol, pinoresinol, siringaresinol y 7-hidroximatairesinol, entre otros. Lo anterior sugiere que el consumo de estos compuestos puede ser más alto y diverso a lo estimado. En la actualidad, se han identificado cerca de 500 estructuras diferentes de lignanos en plantas. Los lignanos están presentes en las raíces, tallos, hojas, granos y frutos, encontrándose la mayor cantidad en la capa externa de los granos. Las fuentes dietarias más importantes de estos compuestos son las semillas de lino y soya, cereales integrales (trigo, centeno y avena), leguminosas, hortalizas, nueces y frutas (principalmente las moras). A su vez, se incluye el consumo de bebidas como el café, té y vino. Además, las dietas ricas en fibra son fuente de estos compuestos especialmente en países occidentales (Saarinen *et al.*, 2007).

Estilbenos

El resveratrol (3, 5, 4'-trihidroxiestilbeno) es el único estilbeno considerado dentro de los fitoestrógenos. Su estructura consiste en la unión de dos anillos fenólicos por un enlace doble estireno. El doble enlace es responsable de la presencia de los isómeros *cis* y *trans*, pero el isómero *trans* es el más estable desde el punto de vista estérico. Si bien los dos isómeros presentan actividad estrogénica, es el isómero *trans* el más estudiado probablemente por encontrarse en mayor concentración en los alimentos y por presentar mayor actividad anticancerígena.

El resveratrol pertenece al grupo de las fitoalexinas, las cuales se producen en las plantas bajo estrés microbiano o por radiación ultravioleta. A pesar de que los sustratos, 4-coumaroil-CoA y malonil-CoA, necesarios para la biosíntesis de este estilbeno están presentes en todas las plantas, no todas contienen la enzima resveratrol sintasa necesaria para su síntesis. Sin embargo, se han identificado más de 70 especies de plantas que contienen este estilbeno. Así, el resveratrol se encuentra en la dieta en alimentos como el vino, las moras, arándanos, uvas y el cacahuate. Su concentración en los alimentos dependerá del clima y la presión fúngica ya que al ser un fungicida su síntesis es inducida por la infección de diversos microorganismos (Labinsky *et al.*, 2006).

Los fitoestrógenos también se encuentran en alimentos de origen animal. Un estudio realizado en el Reino Unido encontró fitoestrógenos en la leche, los productos lácteos, el huevo, la carne, el pescado y los mariscos (Kuhnle *et al.*, 2008). Mientras que en la carne, el pescado y los mariscos, todos los fitoestrógenos son prácticamente derivados de plantas, una mayor proporción de los fitoestrógenos encontrados en el huevo y los productos lácteos son derivados del metabolismo gastrointestinal de los precursores derivados de plantas (Ward y Kuhnle, 2010).

Metabolismo, absorción y excreción de f toestrógenos

Para poder establecer el papel de los fitoestrógenos en la salud humana es importante esclarecer su metabolismo. La información recabada al momento se centra en las isoflavonas daidzeína y genisteína y, en menor medida, en los lignanos enterodiol y enterolactona. Existe poca o nula información relacionada con otros flavonoides como los prenilados o los cumestanos, por lo que a continuación sólo se mencionará el metabolismo de las principales isoflavonas y lignanos (Woods y Hughes, 2003).

El metabolismo de las isoflavonas y los lignanos no se ha elucidado completamente en el ser humano, debido a diversos factores como la actividad microbiana

intestinal, la presencia sinérgica de otros componentes de la dieta y las variaciones entre individuos. La mayoría de los fitoestrógenos presentes en los alimentos existen como glicósidos, cuando se consumen, son sometidos a transformaciones metabólicas por enzimas tisulares o bacterianas, dando como resultado la formación de compuestos similares a hormonas con actividad estrogénica débil.

Las bacterias que participan en esta hidrólisis son los lactobacilos, los bacteroides, las bifidobacterias y sus enzimas ß-glucosidasas. Además, la enzima floricina lactasa, localizada en el borde del cepillo intestinal, puede hidrolizar los glucósidos de isoflavonas. Los glucósidos de lignanos se hidrolizan por acción de ß-glucosidasas bacterianas e intestinales. Sus productos, secoisolariciresinol y matairesinol, son absorbidos o pueden ser metabolizados después a los enterolignanos, enterodiol y enterolactona, por acción bacteriana intestinal.

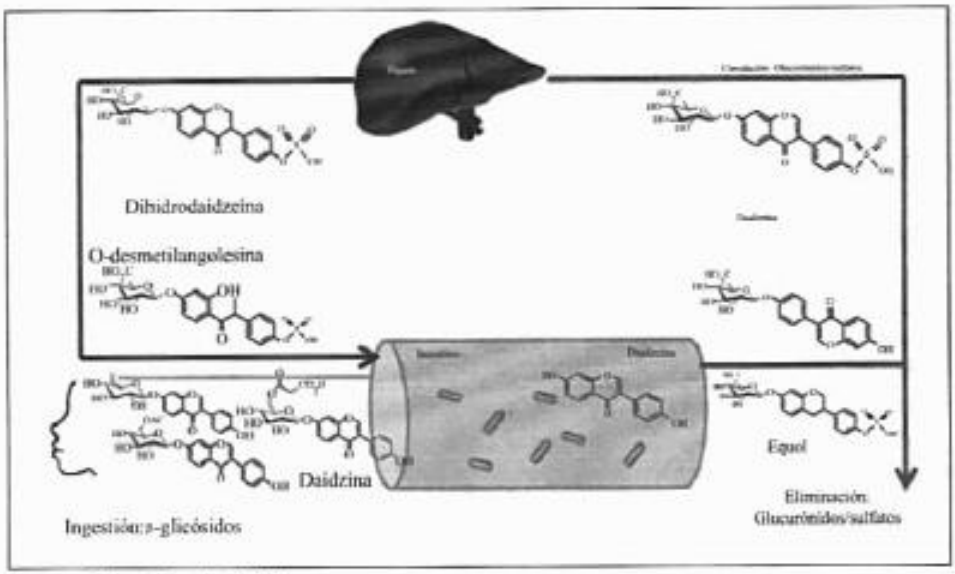
En el metabolismo se incluyen reacciones de deshidroxilación y desmetilación por acción bacteriana, presumiblemente, de *Peptostreptococcus* sp. y *Eubacterium* sp. Posteriormente, el enterodiol puede oxidarse a enterolactona. Esta reacción de oxidación está asociada a un grupo de bacterias, como *Atopobium, P. productus y Clostridium coccoides.* Así, el metabolismo de los fitoestrógenos requiere de una serie de reacciones de desconjugación para absorberse a través de las monocapas de las células epiteliales del intestino delgado. Por lo que, la biodisponibilidad de estos componentes de la dieta depende de diversos factores, como la tasa de captación de forma libre y conjugada, hidrólisis de los glicósidos, metabolismo posterior (formación de compuestos glucurónidos en el hígado, circulación enterohepática), y tasa de excreción en heces y orina.

Después de la absorción, en el intestino delgado, las isoflavonas y los lignanos se incorporan a la circulación enterohepática y se conjugan con ácido glucurónico y sulfato, por acción de las enzimas hepáticas fase II (UDP-glucuronosiltransferasas y sulfotransferasas). Se sabe que en esta etapa, el ácido glucurónico es la fracción primaria debido a los perfiles conjugados de isoflavonas y lignanos encontrados en la orina de humanos. Sin embargo, la excreción de las isoflavonas y lignanos conjugados en la bilis se somete nuevamente a circulación enterohepática y pueden desconjugarse por ß-glucuronidasas bacterianas (Kurzer y Xu, 1997). De esta forma, los fitoestrógenos presentes en circulación estarán glucuronidados, sulfatados o sulfoglucuronidados. Y la reacción de desconjugación promueve la reabsorción de las isoflavonas y los lignanos y su posterior metabolización hasta equol y enterolactona.

En el ser humano, los fitoestrógenos aparecen en el plasma a un ritmo rápido y a un mayor nivel después de su administración oral en forma libre que conjugados. Así por ejemplo, daidzeína, pero no sus glicósidos, es fácilmente transportada a través de las células intestinales (figura 2). Se ha sugerido que su hidrólisis inicia en

la saliva y en el estómago, pero existen desacuerdos al respecto. Por su parte, las ß-glucosidasas en el hígado y en los enterocitos del intestino delgado son capaces de hidrolizar las isoflavonas glicosiladas. Así mismo, las ß-glucosidasas de bacterias como lactobacilos, bacteroides y bifidobacterias, juegan un papel en la hidrólisis (Woods y Hughes, 2003). Una vez hidrolizados, los fitoestrógenos pueden ser absorbidos, o bien, pueden ser metabolizados por la flora bacteriana.

Figura 2. Representación esquemática del metabolismo de daidzeína



Fuente: Palma-Durán (2012).

Antes de ser absorbida en el intestino, daidzina es hidrolizada a daidzeína por acción de enzimas bacterianas y tisulares. Para pasar a circulación, daidzeína es glucuronidada y/o sulfatada por acción de UDP-glucuronosil transferasas o sulfatasas presentes en el hígado o en el intestino. Estos conjugados pueden ser excretados de nuevo al intestino vía circulación enterohepática donde son deconjugados por enzimas bacterianas. De esta forma, pueden ser reabsorbidos, transformados y/o excretados (Palma-Duran, 2012).

Si bien las isoflavonas presentan actividad estrogénica, su metabolito equol; es significativamente más estrogénico. Por lo tanto, es en gran medida responsable de los efectos fisiológicos del consumo de isoflavonas. Sin embargo, la habilidad para

producir equol no es la misma en todos los individuos. Su conversión se ve afectada por factores como la microflora del intestino, consumo de carbohidratos, fibra y antibióticos principalmente. A pesar de ello, equol puede ser ingerido a partir de alimentos como la leche, carne y mariscos (Mazur y Adlercreutz, 1998).

Por su parte, el metabolismo de los lignanos es bastante complejo. Una vez ingeridos se convierten en fitoestrógenos activos por la acción de la microflora en el colon proximal. Así, secoisolariciresinol se convierte a enterodiol a través de reacciones que implican hidrólisis, deshidroxilación y desmetilación. Posteriormente el enterodiol es metabolizado a enterolactona por oxidación. Mientras que matairesinol se metaboliza a enterolactona a través de deshidroxilación y desmetilación. A su vez, pinoresinol y lariciresinol son metabolizados a enterolactona. De esta forma, los lignanos encontrados en sangre y orina son enterodiol y enterolactona, aunque también pueden presentarse lignanos como lariciresinol e isolariciresinol (Kurzer y Xu, 1997).

Los fitoestrógenos conjugados y sus metabolitos, pueden ser excretados de nuevo al intestino por circulación enterohepática. Una vez ahí, las enzimas ß-glucuronidasas y arilsulfatasas bacterianas pueden liberar a los fitoestrógenos y dejarlos disponibles para su reabsorción. La actividad de ciertas bacterias puede seguir metabolizando y degradando a los fitoestrógenos, previniendo su reabsorción. Finalmente, los fitoestrógenos son eliminados por la bilis o vía urinaria, presentándose bajas recuperaciones, resultado de la extensa degradación bacteriana, produciéndose compuestos tan simples como *p*-etilfenol (Woods y Hughes, 2003).

Efecto de los f toestrógenos de la dieta en la salud humana

Los estrógenos promueven la proliferación y el crecimiento de células de tejidos específicos en el cuerpo como las glándulas mamarias, útero, vagina, ovarios, testículos, epidídimo y próstata. Los estrógenos a su vez intervienen en el mantenimiento de diferentes sistemas como el óseo, nervioso y cardiovascular. La función del estrógeno en el organismo se realiza por su afinidad y especificidad de unión a proteínas intracelulares denominadas receptores de estrógenos a y ß (REa y REß). Una vez unido el estrógeno al receptor de estrógenos (RE) se produce una serie de señales que conllevan a la modulación de la transcripción de genes. Los fitoestrógenos, por su similitud estructural con el 17ß-estradiol, presentan actividad estrogénica débil (10^3-10^4 veces menor que el estrógeno). Estos compiten con el estrógeno por la unión al RE, modulando la transcripción de genes. La capacidad de unión al RE dependerá de la presencia del anillo aromático, grupos hidroxilo y el carácter hidrófobo de la estructura (Kuiper *et al.*, 1998; Usui, 2006).

Existe una similitud estructural entre el estradiol y los fitoestrógenos. Un cambio en la estructura repercute en la actividad estrogénica. Así por ejemplo, la metilación o glicosilación disminuye la capacidad de unión al RE. Por ello, formononetina y biochanina A son menos estrogénicos que daidzeína y genisteína. En cambio, la isoprenilación incrementa la unión al RE. La capacidad de unión relativa de los fitoestrógenos puede describirse como sigue: estradiol≥cumestrol>genisteína= equol >daidzeína>gliciteína> kaempferol>naringenina>resveratrol>biochaninaA= enterolactona= formononetina. Por lo tanto, la estructura química de los fitoestrógenos determina la afinidad, selectividad y eficiencia de unión al RE (Kuiper *et al.*, 1998; Woods y Hughes, 2003).

La unión del fitoestrógeno al RE es equivalente al formado por el estradiol, por lo que induce actividad transcripcional. Los fitoestrógenos presentan mayor afinidad por el REß que por el RE*a*. El RE-ß se expresa en ovarios, útero, cerebro, testículos, próstata, pulmones, sistema cardiovascular y óseo. Por lo que, la acción agonista en RE-ß y la baja activación del RE*a*, tienen un efecto benéfico en la menopausia, osteoporosis, protección cardiovascular, metabolismo de lípidos, cáncer de próstata y mama.

Los fitoestrógenos también ejercen sus efectos biológicos a través de mecanismos no estrogénicos. Por esta vía modulan la inhibición de enzimas como la tirosina cinasa, ADN topoisomerasa I y II, y la cinasa ribosomal S6, las cuales están involucradas en mecanismos de señalización, diferenciación y proliferación celular. Además, presentan actividad antioxidante inhibiendo la formación de peróxido de hidrógeno, iones superóxido, y aumentando la actividad de enzimas antioxidantes (Kuiper, *et al.*, 1998; Kurzer y Xu, 1997).

Es a través de estos efectos estrógenicos y no estrogénicos que se han estudiado a los fitoestrógenos en diferentes padecimientos. Con base en estos estudios epidemiológicos y clínicos, se ha considerado que los fitoestrógenos pueden presentar un efecto benéfico en la salud.

Fitoestrógenos y menopausia

En la menopausia, el uso de la terapia hormonal de reemplazo ofrece un efecto protector contra enfermedades cardiovasculares, mejora la función cognitiva y alivia la sintomatología neurovegetativa. Sin embargo, existe poca confiabilidad en su uso debido a datos epidemiológicos y clínicos que indican un aumento en el desarrollo de cáncer mamario. Para ello, el uso de fitoestrógenos ofrece un alivio potencial en la sintomatología de la menopausia como los bochornos y las sudoraciones nocturnas (Patisaul y Jefferson, 2010), por proveer de estrógenos exógenos (Kurzer y Xu, 1997).

A pesar del posible efecto positivo de los fitoestrógenos en la menopausia, estudios realizados en relación a los efectos de las isoflavonas en la reducción de los bochornos en mujeres post-menopáusicas son controversiales. Mientras que algunos autores no reportan efecto del consumo de harina de soya, otros mencionan una reducción de bochornos significativa al consumir diariamente proteína de soya conteniendo 76 mg o 100 mg de isoflavonas (Han *et al.*, 2002).

Pese a esta información, se ha observado que las mujeres productoras de equol presentan la menor severidad en la sintomatología neurovegetativa de la menopausia. Lo anterior remarca el hecho de que las mujeres continúen recomendando el consumo de alimentos ricos en fitoestrógenos para minimizar los sofocos. La evidencia, al momento, es escasa para poder afirmar que los fitoestrógenos reducen los bochornos, sobre todo lo diverso de los diseños de los estudios realizados hacen difícil comparar dichos efectos.

Fitoestrógenos y riesgo cardiovascular

Las enfermedades cardiovasculares (Ecv) se encuentran dentro de las principales causas de muerte en los países occidentales. Las personas con obesidad central, hipertensión, bajos niveles de colesterol unido a las lipoproteínas de alta densidad, dislipidemia e hiperglucemia, se encuentran en alto riesgo de padecer una Ecv. Sin embargo, se ha observado que un alto consumo de fitoestrógenos puede reducir este riesgo.

Los estrógenos brindan protección cardiovascular al inhibir mediadores pro-inflamatorios, estimular la producción de prostaciclinas (PGI_2; previenen la formación y agregación plaquetaria) y de prostaglandina (aumenta la permeabilidad del tejido para el paso de antiagregantes plaquetarios) al activar la ciclooxigenasa 2 (COX-2). De la misma forma, los fitoestrógenos presentan efectos sobre el sistema cardiovascular, incluso los que presentan baja actividad como biochanina A (Paoletti *et al.*, 2009). Así, se ha observado que biochanina A presenta efectos benéficos al regular la expresión hepática del mRNA de apoA-I a través de la unión al RE (Chan *et al.*, 2007; Kuiper *et al.*, 1998).

Los flavonoides presentan actividades anti-inflamatorias a través de la producción de PGI_2 e inhibición de enzimas como lipoxigenasas y cicloxigenasas. Se ha reportado que los estrógenos ejercen efectos favorables sobre las lipoproteínas, los factores de coagulación y sobre el perfil de lípidos, además de tener efecto protector sobre las paredes arteriales, como la producción de moléculas vasoactivas, tales como óxido nítrico y prostaglandinas. Se ha propuesto que los fitoestrógenos actúan como agonistas estrogénicos, pudiendo producir efectos similares.

Los fitoestrógenos a su vez, protegen contra la peroxidación lipídica a través de su actividad antioxidante. Estudios *in vitro* demuestran que genisteína, daidzeína, sus derivados glicosilados, metoxilados y metabolitos, son capaces de inhibir la oxidación de las LDL (Arora *et al.*, 1998; Wilson *et al.*, 2002). De hecho los metabolitos equol y *O*–desmetilangolesina presentan mayor actividad antioxidante. Es por su actividad antioxidante, que las isoflavonas pueden proteger de la oxidación al colesterol LDL, ejerciendo así un efecto preventivo ante la aterosclerosis (de Kleijn *et al.*, 2001). Sin embargo, el efecto benéfico de los fitoestrógenos en la modificación de los niveles del colesterol sérico aún no ha sido demostrado en ensayos clínicos (Arora *et al.*, 1998).

Fitoestrógenos y osteoporosis

Los estrógenos ayudan a mantener la densidad mineral del hueso, y se ha hipotetizado que los fitoestrógenos pueden conferir efectos similares (Patisaul y Jefferson, 2010). La deficiencia de estrógenos en mujeres postmenopáusicas puede llevar a desgaste óseo, debido a un aumento en la reabsorción ósea y por disminución en la formación de los huesos (Dixon, 2004). Por lo que los fitoestrógenos podrían reducir el riesgo de osteoporosis. Los mecanismos para estos efectos incluyen la estimulación en la proliferación de osteoblastos, protección de estas células del daño oxidativo y aumento en la apoptosis de células progenitoras de los osteoclastos (Weaver y Cheong, 2005).

La genisteína, a bajas concentraciones (0.1 µM), presenta efectos a través de la unión al REß, mientras que a altas concentraciones inhibe a tirosina cinasa (enzima involucrada en la actividad de los osteoclastos). De la misma forma, se ha sugerido que la genisteína podría modular la producción de óxido nítrico lo que resultaría en la modulación de la formación del hueso y por lo tanto, la disminución de la pérdida de material óseo. Incluso se ha observado que la genisteína (a 1 nM) protege a los osteoblastos MC3T3-E1 contra el daño oxidativo en mayor medida que las vitaminas E y C.

Si bien los fitoestrógenos no presentan el mismo mecanismo de acción, se ha observado que son capaces de ejercer sus efectos a través de diferentes vías. Tal es el caso de daidzeína, la cual es incapaz de inhibir a tirosina cinasa. A pesar de ello, daidzeína presenta actividad (a 1 nM) al reducir la diferenciación de osteoclastos en respuesta a la vitamina D. Además, puede inducir la apoptosis de células progenitoras de osteoclastos a través de la activación de caspasas 8 y 3, fragmentación nuclear y formación de cuerpos apoptóticos. Estos efectos los logra por su unión al RE, ya que al inhibir la actividad del receptor a través de ICI 182,780,

daidzeína es incapaz de activar a las caspasas, permitiendo la formación de los osteoclastos (Rassi *et al.*, 2002).

Por otro lado, los flavonoides son capaces de inhibir la proliferación, diferenciación y mineralización de los osteoblastos. La proliferación de los osteoblastos se ve inhibida cuando las células son expuestas a quercetina (a 10 μM) y una vez que éstos han dejado de proliferar, la genisteína reduce la actividad de fosfatasa alcalina, la expresión de MRNA de osteocalcina, los depósitos de Ca^{2+} y la formación de nódulos mineralizados, los cuales son marcadores de la diferenciación de osteoblastos (Rassi *et al.*, 2002).

A pesar de los mecanismos de acción propuestos, el consumo de fitoestrógenos provenientes de la soya presenta mecanismos independientes a sus efectos estrogénicos. En primer lugar, los alimentos con soya son fuente de calcio. En segundo lugar, una dieta rica en proteínas de soya, puede prevenir la pérdida urinaria de calcio comparado con una dieta rica en proteína animal. Por lo que el efecto protector de los fitoestrógenos en la osteoporosis aún no está bien establecido.

Fitoestrogenos y cáncer de mama

El cáncer de mama es una de las enfermedades crónicas que afecta a más de 1.3 millones de mujeres en el mundo. En México, este tipo de cáncer representa un desafío en materia de salud pública, ya que en el 2006 se desplazó para ocupar el primer lugar como causa de muerte por tumores malignos en la mujer (Palacio-Mejía *et al.*, 2009). Las tasas de mortalidad por cáncer de mama en México, varían entre 3.5 y 13.4 por 100,000 habitantes, siendo mayor la mortalidad en los estados del norte del país, cuyo patrón dietético se caracteriza por un alto consumo de grasa de tipo animal y alcohol, aunado a un bajo consumo de frutas y verduras (Galvan-Portillo *et al.*, 2007).

Muchos estudios han evidenciado que poblaciones asiáticas, con un consumo mayor de soya, están en menor riesgo de cáncer mamario que las americanas y europeas. Este efecto protector puede deberse a uno o más componentes dietarios, entre los que se encuentran los fitoestrógenos. También han afirmado que cuando los pobladores de países asiáticos migran a países occidentales y adoptan la dieta característica de esta población, aumenta en ellos el riesgo de cáncer de mama (Dai *et al.*, 2001).

En la actualidad, existe controversia sobre los efectos protectores de los fitoestrógenos. Está bien establecido que una mayor exposición a estrógenos (menarquia temprana, corto periodo de lactancia o nuliparidad) aumenta el riesgo de cáncer de mama, y debido a que los fitoestrógenos se unen al receptor de estrógenos, se ha hipotetizado,

que aumentan el riesgo y la recurrencia de cáncer de mama (Patisaul y Jefferson, 2010). Pero también se ha hipotetizado un posible efecto protector de los fitoestrógenos porque reemplazan a los estrógenos en dichos receptores. Otras investigaciones han postulado que los fitoestrógenos tienen diferentes efectos en la proliferación celular, dependiendo de la concentración en que se encuentren, estimulando el crecimiento a bajas dosis e inhibiendolo a altas dosis (>10 uM) (Mense *et al.*, 2008). Esto podría explicar las bajas tasas de incidencia de cáncer de mama reportadas para Asia, en donde el consumo de fitoestrógenos es elevado (Adlercreutz, 2002).

A nivel enzimático, los fitoestrógenos pueden ejercer un efecto protector en el inicio y progresión del cáncer mamario. Estos compuestos influyen en el metabolismo de procarcinógenos mediante la modulación de la expresión de la enzima citocromo P450 responsable de la activación de carcinogénesis. Al mismo tiempo, los fitoestrógenos inhiben la actividad de ornitina descarboxilasa, enzima clave en la síntesis de poliaminas asociadas a la proliferación celular. Adicionalmente tienen efecto en la estimulación del DNA para su reparación, limitando la formación de células malignas.

Las isoflavonas y los lignanos son inhibidores de la aromatasa, que es una enzima clave en la conversión de andrógenos a estrógenos. Esta enzima se sobreexpresa en 60% más en los casos de carcinomas mamarios. También se ha observado que inhiben la angiogénesis y la metástasis, además de inducir la apoptosis de las células tumorales, reduciendo el crecimiento de tumores (Scalbert *et al.*, 2005).

Algunas investigaciones realizadas en mujeres pre y postmenopáusicas demostraron que las isoflavonas aumentan la metabolización de los estrógenos a C-2-hidroxiestrona, reduciendo la concentración de C-16-hidroxiestron. En estudios realizados en mujeres postmenopáusicas, con cáncer de mama, se ha encontrado una baja relación C-2 hidroxiestrona/C-16 hidroxiestrona. Esto es importante porque un aumento del cociente C-2/C-16 conlleva a una reducción del riesgo de cáncer mediado por estrógenos (Cóppola *et al.*, 2005).

Análisis de f toestrógenos y tablas de composición de alimentos

Los fitoestrógenos modulan muchos procesos biológicamente relevantes aunque en algunos casos la información al respecto es todavía cuestionable. La incertidumbre proviene de la falta de información sobre el contenido de fitoestrógenos en los alimentos consumidos, principalmente por su dificultad para cuantificarlos. Esta escasez de datos ha limitado los estudios epidemiológicos para evaluar la relación entre

los niveles ingeridos de fitoestrógenos y el riesgo de desarrollar una enfermedad (Grace *et al.*, 2004).

Además de la importancia que tiene la utilización de métodos dietarios para la estimación de la ingestión de fitoestrógenos en una región específica, como el recordatorio de 24 h y la frecuencia del consumo de alimentos, también cobra valor el contar con tablas de composición de alimentos completas. Esto resulta ser una de las principales limitaciones en estudios epidemiológicos donde el consumo de fitoestrógenos puede ser subestimado o sobreestimado. Muchas de las bases de datos utilizadas son una compilación de valores encontrados en la literatura y están creadas con un limitado número de alimentos.

Dado que en México no existe información del contenido de fitoestrógenos en los alimentos que se consumen en el país, los estudiosos del tema no tienen acceso al contenido de fitoestrógenos en esos alimentos y se ven obligados a consultar tablas de composición elaboradas en otros países. De ahí la importancia del establecimiento de bases de datos que incluyan la composición de fitoestrógenos en alimentos consumidos en el país. La metodología de elección por su selectividad, sensibilidad y rapidez en el análisis cuantitativo de fitoestrógenos es la cromatografía líquida de alta presión acoplada a espectroscopia de masas (HPLC-MS), donde la preparación de las muestras se simplifica y no se requiere derivatizar, como es el caso de la cromatografía de gases (Knust *et al.*, 2006).

Alimentos aportadores de isoflavonas, lignanos y cumestrol en la dieta sonorense

La dieta de la población sonorense se caracteriza por un consumo habitual de productos de origen animal y sus derivados, café, refrescos embotellados y bajos consumos de frutas y vegetales (González, 2008). Los principales alimentos aportadores de isoflavonas, lignanos y cumestrol en la dieta sonorense se muestran en el cuadro 1. Los alimentos fueron seleccionados a partir de la información dietaria de 100 recordatorios de 24 horas aplicados a igual número de mujeres y enlistados según el orden de importancia, que se obtuvo multiplicando el aporte de fitoestrógenos del alimento por la frecuencia de consumo del mismo.

Dentro de los principales alimentos aportadores de isoflavonas destacan los productos derivados de la soya y los alimentos que son fortificados con ésta, como el jamón y los productos de panificación. El principal alimento aportador de lignanos en la dieta fue el pan multigrano, debido a que los lignanos se encuentran en la cás-

cara de los granos. Destacaron como principales alimentos aportadores de cumestrol en la dieta, las bebidas (café y la cerveza), el frijol y los vegetales como el brócoli y el tomate. Dentro de los alimentos aportadores de fitoestrógenos en la dieta están el jamón de pavo, el jugo de soya saborizado, el pastel comercial, la papa cocida, la naranja, el pepino, el repollo, el frijol y el tomate cocido. Esta información permitió el análisis de 16 fitoestrógenos por HPLC-MS en alimentos característicos de la dieta sonorense e incorporar estos datos en las tablas de composición de alimentos (Campa-Siqueiros, 2012).

Cuadro 1. Principales alimentos aportadores de isoflavonas, lignanos y cumestrol en la dieta de mujeres sonorenses

Isoflavonas	*Lignanos*	*Cumestrol*
Alimento	Alimento	Alimento
Polvo para preparar una bebida de soya	Pan multigrano	Café
Leche de soya	Pera	Frijol nacido
Jamón de pavo	Repollo	Leche
Jugo de soya saborizado	Té sabor limón	Frijol
Pan blanco	Pepino	Cereal de caja
Café	Cerveza	Brócoli cocido
Pan integral	Cacahuates	Carne molida
Dona comercial	Naranja	Yogurt de frutas
Pastel comercial	Papa cocida	Cerveza
Pan virginia	Café	Tomate cocido

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El interés en los fitoestrógenos ha sido impulsado por su efecto potencial para reducir el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas. Algunos estudios epidemiológicos indican que una dieta rica en fitoestrógenos se asocia con una reducción del

riesgo de cáncer dependiente de hormonas como el de mama, enfermedades cardiovasculares y osteoporosis. En este sentido, incluir en la dieta el consumo de fitoestrógenos, podría representar una vía para disminuir el riesgo de padecer diversas enfermedades crónicas.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero brindado para la realización de este estudio. Proyecto # CB-2008-106028.

Sobre los autores

María de Lourdes Gutiérrez Coronado,* Ana Isabel Valenzuela Quintanar, María del Refugio Robles Burgueño, Susana Alejandra Palma Durán, Graciela Caire Juvera, Melissa María Campa Siqueiros, Karina María Chávez Suárez. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a la Victoria Km. 0.6. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel: 662 289 24 00 ext 292. *Autor para correspondencia; lulu@ciad.mx

Referencias

Adlercreutz, H. (2002), "Phyto-oestrogens and cancer [review]", *Lancet Oncology*, 3, pp. 364-373.

Arora, A., M. G. Nair and G. M. Strasburg (1998), "Antioxidant activities of isoflavones and their biological metabolites in a liposomal system", *Archives of biochemistry and biophysics*, 356(2), pp. 133-141.

Campa-Siqueiros, M. M. (2012), "Estimación del consumo de fitoestrógenos a través de frecuencia de consumo de alimentos y recordatorio de 24 horas en mujeres sanas del noroeste de México", CIAD, A. C.

Cóppola, F., J. Nader and R. Aguirre (2005), "Metabolismo de los estrógenos endógenos y cáncer de mama", *Revista Médica del Uruguay*, 21(1), pp. 15-22.

Coward, L., M. Smith, M. Kirk and S. Barnes (1998), "Chemical modification of isoflavones in soyfoods during cooking and processing", *The American Journal of Clinical Nutrition 68*, pp. 1486S-1491S.

Chan, M. Y., G. Wai Man, Z. Chen, J. Wang and L. K. Leung (2007), "Oestrogen receptor is required for biochanin A-induced apolipoprotein A-1 mRNA expression in HepG2 cells", *British Journal of Nutrition*, 98(03), pp. 534-539.

Dai, Q., X. Shu, F. Jin, J. Potter, L. Kushi, J. Teas *et al.* (2001), "Population-based case–control study of soyfood intake and breast cancer risk in Shanghai", *British Journal of Cancer*, 85(3), pp. 372.

de Kleijn, M. J. J., Y. T. van der Schouw, P. W. F. Wilson, H. Adlercreutz, W. Mazur, D. E. Grobbee *et al.* (2001), "Intake of dietary phytoestrogens is low in postmenopausal women in the United States: The Framingham Study", *Journal of Nutrition*, 131(6), pp. 1826-1832.

Dixon, R. A. (2004), "Phytoestrogens", *Annual Review of Plant Biology*, 55, pp. 225-261.

Galvan-Portillo, M. V., M. S. Wolff, L. E. Torres-Sánchez, M. López-Cervantes and L. López-Carrillo (2007), "Assessing phytochemical intake in a group of Mexican women", *Salud Pública de México*, 49(2), pp. 126-131.

González, S. (2008), "Cambios en el patrón de consumo de alimentos y su relación con el riesgo de enfermedades crónicas en la población sonorense", Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Hermosillo.

Grace, P. B., J. I. Taylor, Y. L. Low, R. N. Luben, A. A. Mulligan, N. P. Botting *et al.* (2004), "Phytoestrogen concentrations in serum and spot urine as biomarkers for dietary phytoestrogen intake and their relation to breast cancer risk in European prospective Investigation of Cancer and Nutrition-Norfolk", *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*, 13(5), pp. 698-708.

Han, K. K., J. M. Soares Jr, M. A. Haidar, G. R. de Lima and E. C. Baracat (2002), "Benefits of soy isoflavone therapeutic regimen on menopausal symptoms", *Obstetrics and Gynecology*, 99(3), p. 389.

Harborne, J. B., H. Baxter and G. P. Moss (eds.) (1999), *Phytochemical Dictionary A Handbook of Active Compounds from Plants*, (2 ed.), Taylor & Francis.

Knust, U., W. E. Hull, B. Spiegelhalder, H. Bartsch, T. Strowitzki and R. W. Owen (2006), "Analysis of enterolignan glucuronides in serum and urine by HPLC-ESI-MS", *Food and Chemical Toxicology*, 44(7), pp. 1038-1049.

Kuhnle, G. G. C., C. Delcaqulla, S. M. Aspinall, S. A. Runswick, A. A. Mulligan and S. A. Bingham (2008), "Phytoestrogen Content of Foods of Animal Origin: Dairy Products, Eggs, Meat, Fish, and Seafood", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(21), pp. 10099-10104.

Kuiper, G., J. G. Lemmen, B. Carlsson, J. C. Corton, S. H. Safe, P. T. van der Saag *et al.*, (1998), "Interaction of estrogenic chemicals and phytoestrogens with estrogen receptor beta", *Endocrinology*, 139(10), pp. 4252-4263.

Kurzer, M. S., and X. Xu (1997), "Dietary Phytoestrogens", *Annual Review of Nutrition 17*, pp. 353-381.

Labinskyy, N., A. Csiszar, G. Veress, G. Stef, P. Pacher, G. Oroszi *et al.* (2006), "Vascular dysfunction in aging: Potential effects of resveratrol, an anti-inflammatory phytoestrogen", *Current Medicinal Chemistry*, 13(9), pp. 989-996.

Mazur, W., and H. Adlercreutz (1998), "Naturally occurring oestrogens in food", *Pure and Applied Chemistry*, 70(9), pp. 1759-1776.

Mense, S. M., T. K. Hei, R. K. Ganju and H. K. Bhat (2008), "Phytoestrogens and Breast Cancer Prevention: Possible Mechanisms of Action. [review]", *Environmental Health Perspectives*, 116(4), pp. 426-433.

Moutsatsou, P. (2007), "The spectrum of phytoestrogens in nature: our knowledge is expanding. [review]", *Hormones*, 6(3), pp. 173-193.

Palacio-Mejía, L. S., E. Lazcano-Ponce, B. Allen-Leigh and M. Hernández-Ávila (2009), "Diferencias regionales en la mortalidad por cáncer de mama y cérvix en México entre 1979 y 2006", *Salud Pública de Mexico*, 51(^ s2).

Palma-Duran, S. A. (2012), *Niveles séricos de fitoestrógenos determinados por* HPLC-*DAD-ESI*-MS *como biomarcadores de su consumo dietario reciente en mujeres sonorenses*, CIAD, A. C.

Patisaul, H. B., and W. Jefferson (2010), "The pros and cons of phytoestrogens", *Frontiers in Neuroendocrinology*, 31(4), pp. 400-419.

Rassi, C. M., M. Lieberherr, G. Chaumaz, A. Pointillart and G. Cournot (2002), "Down Regulation of Osteoclast Differentiation by Daidzein via Caspase 3", *Journal of Bone and Mineral Research*, 17(4), pp. 630-638.

Ross, J. A., and C. M. Kasum (2002), "Dietary flavonoids: Bioavailability, metabolic effects, and safety", *Annual Review of Nutrition*, 22, pp. 19-34.

Saarinen, N. M., A. Warri, M. Airio, A. Smeds and S. Makela (2007), "Role of dietary lignans in the reduction of breast cancer risk", *Molecular Nutrition & Food Research*, 51(7), pp. 857-866.

Scalbert, A., C. Manach, C. Morand, C. Remesy and L. Jimenez (2005), "Dietary polyphenols and the prevention of diseases", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), pp. 287-306.

Usui, T. (2006), "Pharmaceutical prospects of phytoestrogens", *Endocrine Journal*, 53(1), pp. 7-20

Ward, H. A., and G. G. C. Kuhnle (2010), "Phytoestrogen consumption and association with breast, prostate and colorectal cancer in EPIC Norfolk", *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 501(1), pp. 170-175.

Weaver, C. M., and J. M. K. Cheong (2005), "Soy isoflavones and bone health: The relationship is still unclear", *Journal of Nutrition*, 135(5), pp. 1243-1247.

Wilson, T., H. March, W. J. Banz, Y. Hou, S. Adler, C. Y. Meyers *et al.* (2002), "Antioxidant effects of phyto-and synthetic-estrogens on cupric ion-induced oxidation of human low-density lipoproteins *in vitro*", *Life sciences*, 70(19), pp. 2287-2297.
Woods, H., and I. Hughes (2003), *Phytoestrogens and health*, Food Standards Agency.

Estudio de los componentes activos de la zarzamora (*Rubus spp.*) y su implicación en la salud

Araceli Castañeda Ovando, Elizabeth Contreras López, Judith Jaimez Ordaz, Javier Añorve Morga, Juan Ramírez Godínez, Luis Guillermo González Olivares

Resumen

La zarzamora (*Rubus spp.*) es una fruta que presenta contenidos altos en compuestos fenólicos, entre los que destacan, las antocianinas, los derivados del kaempferol y de la quercitina, además de los taninos hidrolizables (galo y elagi taninos). Estos compuestos contribuyen a que la fruta presente altas actividad antioxidante, en comparación con otras frutas y vegetales, y actividades biológicas de importancia. Entre las actividades biológicas que se han estudiado de la zarzamora, se han encontrado que sus extractos presentan alta actividad anticarcinogénica, sobre todo en células de cáncer de colon, de mama y de leucemia; además, se han hecho estudios tanto *in vitro* como *in vivo* para evaluar sus efectos antiinflamatorio, antihipercolesteriante y antiviral, encontrándose resultados muy prometedores, sobre todo como antiviral, en el cual se busca, incluso, que a partir de los extractos, se puedan tener tratamientos médicos contra el herpes simple tipo 1. Por lo anterior, en este capítulo se resumen los más recientes avances en la investigación de los componentes bioactivos de la zarzamora, enfatizando sobre todo en los compuestos fenólicos (flavonoles y antocianinas).

Palabras clave: zarzamora, antioxidante, bioactivo.

Introducción

La zarzamora (*Rubus spp.)* es un fruto que pesa entre 3 y 12 g, dependiendo de la variedad (Strik, 2007); en principio es de color rojo que se torna negro al madurar, con sabor dulce y aromático; es una planta arbustiva espinosa, cada fruto está compuesto de numerosos frutos dispuestos alrededor de un núcleo fibroso, existen incontables variedades de este fruto, aunque la zarzamora común cultivada que está a la venta es generalmente dulce.

Las diferentes especies de zarzamora son cultivadas en muchas partes del mundo, presentando mayor producción aquellas con inviernos apacibles y largos, y veranos moderados; en México la producción ha crecido en la última década, sobre todo en los estados de Michoacán y Jalisco (Finn, 2007).

Las zarzamoras son consumidas frescas; sin embargo, pueden ser procesadas y vendidas como productos congelados, jugos, purés o concentrados (Strik *et al.,* 2008). Además, en la industria se utilizan para la producción de suplementos dietéticos, helados, mermeladas o licores (Kafkas *et al.,* 2006).

El interés por la zarzamora es debido a que presenta alto contenido en antocianinas, flavonoles y taninos hidrolizables (galo y elagi taninos), los cuales favorecen su alta capacidad antioxidante (Cho *et al.,* 2004). Las cualidades farmacológicas de las zarzamoras se conocen desde el siglo XVI en Europa, donde eran usadas para el tratamiento de infecciones de labios y ojos (Dai *et al.,* 2007).

Dado que los extractos de zarzamora presentan beneficios a la salud, en los últimos quince años se han reportado infinidad de estudios relacionados con las actividades farmacológicas de esta fruta, entre las que destacan los efectos anticancerígenos, antiinflamatorios y antivirales; de los cuales se han responsabilizado principalmente a los compuestos de tipo fenólico, entre ellos a las antocianinas.

Composición química

La composición química de la zarzamora varía dependiendo de las condiciones de cultivo, el clima y la maduración (Talcott, 2007). Sin embargo, de forma general, se puede considerar una fruta rica en carbohidratos y compuestos bioactivos de origen fenólico, tales como las antocianinas.

Nutrimentos

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), a través de su base de datos de nutrientes para estándares de referencia, ha publicado el análisis proximal de la zarzamora, el cual se presenta en la cuadro 1; de acuerdo con esta información, se puede observar que entre los principales nutrimentos, independientemente del agua, se encuentran los carbohidratos, que junto con la fibra dietética total, ocupan casi el 10 por ciento.

Cuadro 1. Análisis proximal de la zarzamora

Componente	*Contenido por cada 100 g de fruta ± desviación estándar*
Agua (g)	88.155±0.776
Energía (k.J)	181
Proteína (g)	1.395±0.059
Lípidos totales (grasas) (g)	0.495±0.041
Cenizas (g)	0.375±0.021
Carbohidratos (por diferencia) (g).	9.61
Fibra dietética total (g)	5.34±1.131

Fuente: USDA (2012).

Se ha observado que la calidad y propiedades organolépticas de las zarzamoras son dependientes de su contenido y composición de azúcares y ácidos orgánicos (Talcott, 2007). De acuerdo a la USDA, los principales azúcares en la zarzamora son la glucosa y la fructosa (cuadro 2), en prácticamente una relación 1:1, la sacarosa tan sólo presenta un contenido de apenas 0.074 g por cada 100 g de fruta fresca, es decir, casi 33 veces menos que la fructosa. Los niveles de glucosa, fructosa, azúcares totales y sólidos solubles totales incrementan notablemente cuando la fruta durante su maduración cambia de un color rojo a un púrpura azulado oscuro (Acosta-Montoya *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Contenido de azúcares de la zarzamora

Componente	*Contenido por cada 100 g de fruta ± desviación estándar*
Azúcares totales (g)	4.884±0.685
Sacarosa (g)	0.074
Glucosa (dextrosa) (g)	2.314±0.296
Fructosa (g)	2.404±0.369
Lactosa (g)	0.004
Maltosa (g)	0.074
Galactosa (g)	0.034±0.027
Almidón (g)	0.002

Fuente: USDA (2012).

En cuanto a los ácidos orgánicos, las zarzamoras contienen principalmente málico, detectándose además ascórbico (Fan-Chiang y Wrolstad, 2010), cítrico (Hassimotto *et al.*, 2008) y en concentraciones traza shikimico, fumárico y succínico (Fan-Chiang y Wrolstad, 2010); éstos últimos son importantes para estabilizar las antocianinas y el ácido ascórbico y aumentar la vida media de las zarzamoras frescas y procesadas (Talcott, 2007).

El balance en la proporción de ácidos orgánicos y fenoles en la zarzamora es un parámetro de evaluación de la calidad de la fruta, ya que a valores de pH bajos se considera un indicador de baja calidad (Talcott, 2007). Otro índice de calidad importante es la relación de sólidos totales y acidez titulable total (TSS/TA), mostrando valores mayores los frutos de mejor calidad (Hassimotto *et al.*, 2008); debido a que en la etapa de madurez (cambio de color de púrpura a púrpura azulado oscuro) hay un incremento considerable en azúcares y una disminución en ácidos orgánicos (Acosta-Montoya *et al.*, 2010).

Las frutas frescas de zarzamora además de contener los compuestos antes mencionados, son ricas en minerales, provitamina A, vitamina B y calcio; también contienen compuestos bioactivos, tales como el ácido elágico y las antocianinas (Antunes *et al.*, 2003).

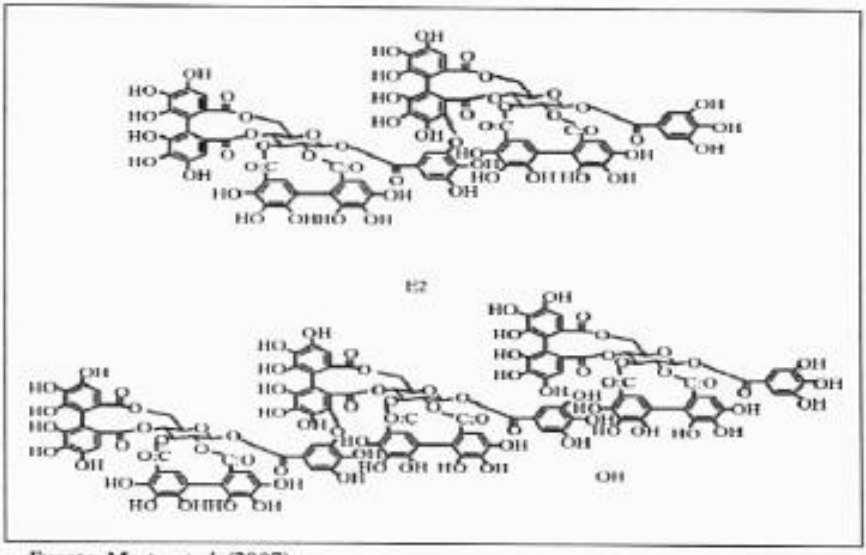
Compuestos bioactivos

La zarzamora es una fruta reconocida por ser una fuente rica en polifenoles, los cuales son compuestos de interés debido a su actividad antioxidante como secuestradores de radicales y su posible papel benéfico en la salud humana, tales como reducción del riesgo de cáncer, de enfermedades cardiovasculares y otras patologías (Hollman *et al.*, 1996; Wang y Lin, 2000; Sellappan *et al.*, 2002; Wada y Ou, 2002).

Los compuestos fenólicos incluyen diversas clases, tales como los ácidos hidroxibenzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoides. Los compuestos fenólicos más importantes en la zarzamora son taninos hidrolizables (galo y elagi taninos), antocianinas, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles, flavan-3-oles, y proantocianinas en menor concentración (Häkkinen *et al.*, 1999; Siriwoharn and Wrolstad, 2004).

Los elagitaninos que se han identificado en la zarzamora son la lambertianina C, un trimero de la casuarictina/potentilina y la sanguiina H-6 (figura 1). Estos compuestos se han logrado detectar con el análisis por HPLC-MS (Mertz *et al.*, 2007).

Figura 1. Estructuras de elagitaninos detectados en extractos de zarzamora. E1: lambertianina y E2: sanguiina H-6

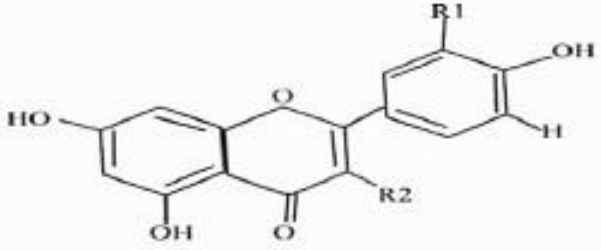


Fuente: Mertz *et al.* (2007).

Los flavonoles que se han caracterizado en la zarzamora son: quercitina-3-galactósido, quercitina-3-xilósido, quercitina-3-xilosilglucorónido y quercitina-3-glucosilxilósido (Stintzing *et al.*, 2002; Wada and Ou, 2002; Cho, *et al.*, 2004). Además se han identificado el kaempferol-3-glucorónido, el kaempferol-3-glucósido, el kaempferol-3-galactósido y el kaempferol-3-xilosilglucorónido (Henning, 1981). Las estructuras de estos compuestos se muestran en la cuadro 3.

Las zarzamoras contienen una concentración mayor de compuestos fenólicos (1137-2310 mg g^{-1} en base seca) en comparación con otras frutas rojas, como la frambuesa o la grosella roja (de Ancos *et al.*, 2000; Deighton *et al.*, 2000; Wang y Lin, 2000; Pantelidis *et al.*, 2007).

Cuadro 3. Flavonoles encontrados en la zarzamora. Sacáridos: galactosa (gal); xilosa (xil); ácido glucorónico (glu); glucosa (glc)



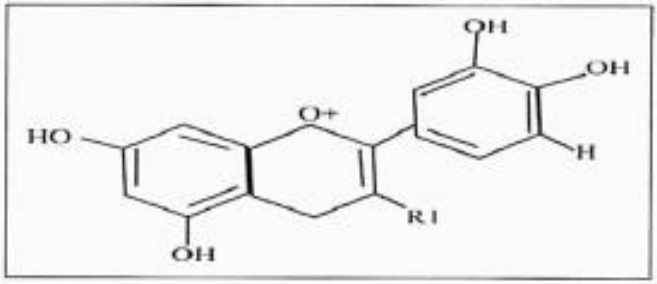
Estructura general de los flavonoles		
Flavonol	Patrón de sustitución	
	R_1	R_2
Quercitina	OH	OH
Quercitina-3-galactósido	OH	gal
Quercitina-3-xilósido	OH	xil
Quercitina-3-xilosilglucoronido	OH	xil-glu
Quercitina-3-glucosilxilósido	OH	glc-glu
Kaempferol	H	OH
Kaempferol-3-glucósido	H	glc
Kaempferol-3-xilosilglucorónido	H	xil-glu

Fuente: elaboración propia.

Las antocianinas de la zarzamora (cuadro 4) han sido caracterizadas en diversas investigaciones, encontrándose que todas ellas son derivadas de la cianidina (Stintzing *et al.*, 2002; Fan-Chiang y Wrolstad, 2005); entre las que destacan la cianidina-3-glucósido (como mayoritaria), la cianidina-3-rutinósido, la cianidina-3-xilósido, la cianidina-3-malonilglucósido y la cianidina-3-dioxalilglucósido (Cho, *et al.*, 2004). El contenido de antocianinas en zarzamora se ha hallado en el intervalo de 104–198 mg100 g^{-1} de fruta fresca (Wang y Lin, 2000; Pantelidis *et al.*, 2007).

Otro compuesto bioactivo que se ha encontrado en las zarzamoras es el ácido ascórbico, el cual se ha cuantificado entre 14.3-17.5 mg/100g^{-1} de fruta fresca (Pantelidis *et al.*, 2007).

Cuadro 4. Antocianinas encontradas en la zarzamora. Ácidos: malónico (mal); dioxálico (dioxa). Sacáridos: rutinosa (rut); xilosa (xil); glucosa (glc)



Estructura general de los derivados de la cianidina	
Antocianina	Patrón de sustitución
	R_1
Cianidina (aglicón)	OH
Cianidina-3-glucósido	glc
Cianidina-3-rutinósido	rut
Cianidina-3-xilósido	xil
Cianidina-3-malonilglucósido	mal-glc
Cianidina-3-dioxalilglucósido	dioxa-glc

Fuente: elaboración propia.

Actividad farmacológica

Los numerosos efectos benéficos atribuidos a los productos fenólicos han generado un aumento en el interés por encontrar especies botánicas con alto contenido en compuestos fenólicos y actividad biológica relevante (Stoner y Mukhtar, 1995); sobre todo, han incrementado su interés debido a sus propiedades antioxidantes que en los últimos años se han conocido (Manach *et al.*, 2004). De hecho, varios extractos antociánicos de plantas y frutos han demostrado que reducen el estrés oxidativo asociado con enfermedades inflamatorias y cáncer (Nichenametla *et al.*, 2006; Prior y Wu, 2006).

Entre las fuentes ricas en compuestos fenólicos con propiedades bioactivas se encuentran las frutas rojas (Pool-Zobel *et al.*, 1999; Smith *et al.*, 2000), entre las que destaca la zarzamora, la cual es una fuente rica en compuestos fenólicos, polifenoles y flavonoides,

Se ha encontrado que la zarzamora posee una alta actividad antioxidante, aunque el grado de actividad y clasificación relativa varía con el modelo utilizado (Heinonen *et al.*, 1998); ya que se puede medir en función de la actividad de atrapamiento del superóxido, por la capacidad de absorbancia de los radicales oxígeno (ORAC) o bien por el poder antioxidante para reducir el ion férrico (FRAP).

Algunos autores han determinado que la actividad antioxidante depende sobre todo del genotipo de la fruta y del clima en el que se cultiva (Reyes-Carmona, Yousef, Martínez-Peniche and Lila, 2005); expresada como ORAC, se han encontrado valores de actividad antioxidante en el intervalo de 330-560 µmol TE/g de zarzamora (µmol de equivalentes de Trolox/gramo de zarzamora); mientras que expresada como FRAP, desde 158 a 285 µmol CE/g (µmol de equivalentes de catequina/ gramo de zarzamora).

También se han hecho estudios en extractos de zarzamora metánolico, con acetona y con acetato de etilo (Céspedes *et al.*, 2008); encontrándose que el extracto metanólico y el acetónico presentan 4 veces mayor capacidad antioxidante en función a ORAC; mientras que expresada en FRAP, el mayor es el metanólico, presentando 1.4 veces mayor que el acetónico y 1.9 veces mayor que el de acetato de etilo. Estos resultados demuestran que los compuestos que presentan mayor actividad antioxidante son polares, pudiendo ser las responsables las antocianinas contenidas en la zarzamora.

Independientemente del modelo que se utilice para determinar la actividad antioxidante, la zarzamora presente valores altos en comparación con otras frutas y vegetales (Cao *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 1996) e incluso con la frambuesa (Prior *et al.*, 1998).

Debido a la importancia que tienen los compuestos fenólicos en la zarzamora, sobre todo por su actividad antioxidante, es fundamente abordar las diferentes acti-

vidades farmacológicas que se han estudiado de esta fruta, en las que destaca la de antiinflamatoria y antiproliferativa (Dai *et al.*, 2007; Dai y Mumper, 2010). Prestando especial interés a las antocianinas, debido a que poseen una potente actividad antioxidante (Rice-Evans *et al.*, 1995; Seeram y Nair, 2002).

Los extractos de zarzamora han tenido actividades biológicas en estudios *in vitro*, incluyendo protección contra la disfunción endotelial y fallas cardiovasculares (Serraino *et al.*, 2003), atenuando el daño causado por shocks endotóxicos inducidos por LPS en ratas (Sautebin *et al.*, 2004) y exhibiendo efectos citotóxicos en células cancerosas de próstata (Seeram *et al.*, 2006) y pulmón (Feng *et al.*, 2004); además, se ha demostrado que estos extractos inhiben las células de cáncer de colon HT-29 (Dai *et al.*, 2007).

Aunque los mecanismos detrás de las bioactividades de las antocianinas y los compuestos fenólicos envuelven muchas etapas, el aspecto más importante de sus actividades puede ser su habilidad para actuar tanto como antioxidantes o prooxidantes en algunos ambientes biológicos (Dai *et al.*, 2009).

Las propiedades antiinflamatorias y quimiopreventivas de los compuestos fenólicos se relacionan generalmente con sus propiedades antioxidantes; de hecho, se han realizado estudios en los cuales demuestran que la cianidina-3-glucósido extraída de la zarzamora protege las células humanas procedentes de cáncer de colon (células Caco-2), de la apoptosis inducida por radicales peroxilo (Elisia y Kitts, 2008).

Por otra parte, los compuestos fenólicos pueden estar sujetos a ciclos redox, generando especies reactivas de oxígeno (Ros) y radicales libres sobre condiciones definidas (Galati y O'Brien, 2004). Notablemente, la acción de prooxidación de los compuestos fenólicos puede ser un mecanismo importante para sus propiedades anticancerígenas y de inducción de apoptosis (Hadi *et al.*, 2007). Por ejemplo, la cianidina-3-rutinósido mostró que induce la acumulación de peróxidos, los cuales están involucrados en la inducción de apoptosis en células HL-60 (Feng, *et al.*, 2007).

Se ha demostrado que los extractos antociánicos derivados de la zarzamora son citotóxicos al cáncer de mama (MCF-7) y a las células con leucemia (HL-60), con diferentes grados de potencia entre el extracto obtenido de la zarzamora en polvo y la zarzamora en puré (Dai *et al.*, 2009).

En función a los valores de la concentración efectiva media (EC50), el extracto antociánico derivado del puré de zarzamora es 4 veces más potente en células HL-60 que el extracto antociánico derivado de la zarzamora en polvo. Además, las células HL-60 muestran mayor sensibilidad a los extractos antociánicos de la zarzamora que las células MCF-7 y HT-29, ya que la EC50 del los extractos antociánicos derivados del puré de zarzamora son 5.7 y 3.3 veces menos sensibles para las células MCF-7 y HT-29, respectivamente (Dai *et al.*, 2009).

Asimismo, se ha llegado a identificar que los extractos de antocianinas derivados de la zarzamora y ricos en cianidina-3-glucósido son supresores potentes de la actividad *in vitro* de la topoisomerasa, y provocando la protección del ADN. Además, los extractos de zarzamora suprimen la formación del complejo de ADN con topoisomerasa en células HT-29 (Esselen *et al.,* 2011).

Igualmente, se ha estudiado, por estudios *in vivo* en hámsters, el efecto que tiene una dieta con néctar de zarzamora en la hipercolestemia y la peroxidación lipídica (Ferreira de Araujo Ribeiro *et al.,* 2011), mostrando que esta alimentación puede proporcionar beneficios significativos en individuos con hopircolesterolemia ya que reduce los niveles de triglicéridos, el colesterol total y el colesterol-LDL (lipoproteínas de baja densidad).

Además, Ferreira *et al.* (2011) demostraron mediante estudios *in vivo*, que el potencial antioxidante del néctar de zarzamora hace posible que se reduzcan las reacciones de iniciación de la peroxidación lipídica en la sagre, el cerebro y el intestino delgado.

Otra actividad farmacológica que han presentado los extractos de zarzamora es la de agente antiviral, investigaciones recientes han sugerido que inhiben la replicación viral y las actividades virucidales rápidas. Aunque aún no se han aislado e identificado las moléculas bioactivas anti-HSV (Virus de Herpes Simple tipo 1), el extracto es un buen candidato para convertirse en un tratamiento efectivo ya sea tópico y/o agente profiláctico para infecciones de herpes bucal (Danaher *et al.,* 2011).

Conclusiones

Los resultados que han generado las numerosas investigaciones acerca de las actividades biológicas de los extractos de zarzamora, hacen que aumente el interés por esta fruta, debido a que es una buena fuente de compuestos que tienen efectos benéficos sobre la salud. Desafortunadamente en nuestro país, sólo pocos estados producen esta fruta, entre los que destacan Michoacán, Jalisco,Puebla, Hidalgo y Guanajuato, figurando a nivel mundial los dos primeros. Sin embargo, dadas las propiedades que se han estudiado de la zarzamora, éstas podrían explotarse, incluso, para generar otros productos alimenticios con potencial nutracéutico.

Agradecimientos

A.C.O., E.C. y J.A. agradecen al SNI por el estímulo económico recibido y al apoyo financiero de PROMEP (Proyecto PROMEP/103.5/10/4407).

Sobre los autores

Araceli Castañeda Ovando,[1]* Elizabeth Contreras López,[1] Judith Jaimez Ordaz,[1] Javier Añorve Morga,[1] Juan Ramírez Godinez,[1] Luis Guillermo González Olivares.[1] [1]Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Área Académica de Química. Laboratorio de Fisicoquímica de Alimentos 2. Carr. Pachuca-Tulancingo, km. 4.5, C.P. 42184. Tel: +52 (771) 7172000 Ext. 2512. Mineral de la Reforma, Hidalgo, México,*autor para correo electrónico ovandoa@uaeh.edu.mx

Referencias

Acosta-Montoya, O., F. Vaillant, S. Cozzano, C. Mertz, A. Perez and M. Castro (2010), "Phenolic content and antioxidant capacity of tropical highland blackberry (Rubus adenotrichus Schltdl.) during three edible maturity stages", *Food Chemistry*, 119, pp. 1497-1501.

Antunes, L., J. Duarte Filho and C. Souza (2003), "Conservação pós-colheita de frutos de amoreira-preta", *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(3), pp. 413-419.

Cao, G., E. Sofic and R. L. Prior (1996), "Antioxidant capacity of tea and common vegetables", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, pp. 3426-3431.

Céspedes, C., M., N. El-Hafidi Pavon and J. Alarcón (2008), "Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry Aristotelia chilensis (Elaeocarpaceae), Maqui", Food Chemistry, 107, pp. 820-829.

Cho, M., L. Howard, R. Prior and J. Clark (2004), "Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, pp. 1771-1782.

Dai, J., and R. Mumper (2010), "Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties", *Molecules*, 15, pp. 7313-7352.

Dai, J., A. Gupte, L. Gates and R. Mumper (2009), "A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction

methods, stability, anticancer properties and mechanisms", Food and Chemical Toxicology, 47, pp. 837-847.

Dai, J., J. Patel and R. Mumper (2007), "Characterization of blackberry extract and its antiproliferative and anti-inflammatory properties", *Journal of Medical Food*, 10, pp. 258-265.

Danaher, R., C. Wang, J. Dai, R. Mumper and C. Miller (2011), "Antiviral effects of blackberry extract against herpes simplex virus type 1", *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology & Endodontics*, 112, pp. e31-e35.

de Ancos, B., E. Gonzalez and M. Cano (2000), "Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, pp. 4565-4570.

Deighton, N., R. Brennan, C. Finn and H. Davies (2000), "Antioxidant properties of domesticated and wild Rubus species", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, pp. 1307-1313.

Elisia, I., and D. Kitts (2008), "Anthocyanins inhibit peroxyl radical-induced apoptosis in Caco-2 cells", *Molecular and Cellular Biochemistry*, 312, pp. 139-145.

Esselen, M., U. Boettler, N. Nicole Teller, S. Bächler, M. Hutter, C. Rüfer *et al.*, (2011), "Anthocyanin-rich blackberry extract suppresses the DNA-damaging properties of topoisomerase I and II poisons in colon carcinoma cells", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, pp. 6966-6973.

Fan-Chiang, H., and R. Wrolstad (2010), "Sugar and nonvolatile acid composition of blackberries", *Journal of AOAC International*, 93, pp. 956-965.

Fan-Chiang, H.-J., and R. Wrolstad (2005), "Anthocyanin pigment composition of blackberries", *Journal of Food Science*, 70, pp. 198-202.

Feng, R., L. Bowman, Y. Lu, S. Leonard, X. Shi, B. Jiang *et al.*, (2004), "Blackberry extracts inhibit activating protein activation and cell transformation by perturbing the mitogenic signaling pathway", *Nutrition and Cancer*, 50, pp. 80-89.

Feng, R., H. Ni, S. Wang, I. Tourkova, M. Shurin, H. Harada *et al.*, (2007), "Cyanidin-3-rutinoside, a natural polyphenol antioxidant, selectively kills leukemic cells by induction of oxidative stress", *Journal of Biological Chemistry*, 282, pp. 13468-13476.

Ferreira de Araujo Ribeiro, P., v. da Silva Santos, A. Rodrigues Machado, C. Gevehr Fernandes, J. Silva and R. da Silva Rodrigues (2011), "Benefits of blackberry nectar (Rubus spp.) relative to hypercholesterolemia and lipid peroxidation", *Nutrición Hospitalaria*, 26(5), pp. 984-990.

Finn, C. (2007), "Blackberries" en J. Hancock, *Temperate Fruit Crop Breeding: Germplasm to Genomics*, Oregon, Springer, pp. 83-114.

Galati, G., and P. O'Brien (2004), "Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: significance for their chemopreventive and anticancer properties", *Free Radical Biology and Medicine*, 37, pp. 287-303.

Hadi, S., S. Bhat, A. Azmi, S. Hanif, U. Shamim and M. Ullah (2007), "Oxidative breakage of cellular DNA by plant polyphenols: a putative mechanism for anticancer properties", *Seminars in Cancer Biology*, 17, pp. 370-376.

Häkkinen, S., S. Kärenlampi, M. Heinonen, H. Mykkänen and A.Törrönen (1999), "Content of the flavonols quercetin, myricetin, and kaempferol in 25 edible berries", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, pp. 2274-2279.

Hassimotto, N., R. da Mota, B. Cordenunsi and F. Lajolo (2008), "Physico-chemical characterization and bioactive compounds of blackberry fruits (Rubus sp.) grown in Brazil", *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), pp. 702-708.

Heinonen, I., A. Meyer and E. Frankel (1998), "Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, pp. 4107-4112.

Henning, W. (1981), "Phenolics of fruit. XIV. Flavonol glycosides of strawberries (Fragaria×ananassa Duch.), raspberries (Rubus idaeus L.) and blackberries (Rubus fruticosus L.)", *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 173, pp. 180-187.

Hollman, P., M. Hertog and M. Katan (1996), "Analysis and health effects of flavonoids", *Food Chemistry*, 57, pp. 43-46.

Kafkas, E., M. Kosar, N. Türemis and K. H. Baser (2006), "Analysis of sugars, organic acids and vitamin C contents of blackberry genotypes from Turkey", *Food Chemistry*, 97, pp. 732-736.

Manach, C., A. Scalbert, C. Morand, C. Remesy and L. Jimenez (2004), "Polyphenols: food sources and bioavailability", *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, pp. 727-747.

Mertz, C., v. Cheynier, Z. Günata and P. Brat (2007), "Analysis of Phenolic Compounds in Two Blackberry Species (Rubus glaucus and Rubus adenotrichus) by High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection and Electrospray Ion Trap Mass Spectrometry", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, pp. 8616-8624.

Nichenametla, S., T. Taruscio, D. Barney and J. Exon (2006), "A review of the effects and mechanisms of polyphenolics in cancer", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, pp. 161-183.

Pantelidis, G., M. Vasilakakis, G. Manganaris and G. Diamantidis (2007), "Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries,

blackberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries", *Food Chemistry*, 102 , pp. 777-783.

Pool-Zobel, B., A. Bub, N. Schröder and G. Rechkemmer (1999), Anthocyanins are potent antioxidants in model systems but do not reduce endogenous oxidative DNA damage in human colon cells", *European Journal of Nutrition*, 38, pp. 227-234.

Prior, R., and X. Wu (2006), "Anthocyanins: structural characteristics that result in unique metabolic patterns and biological activities", *Free Radical Research*, 40, pp. 1014-1028.

Prior, R., G. Cao, A. Martin, E. Sofic, J. McEwen, C. O'Brien *et al.*, (1998), "Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of Vaccinium species", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, pp. 701-705.

Reyes-Carmona, J., G. Yousef, R. Martínez-Peniche and M. Lila (2005), "Antioxidant capacity of fruit extracts of blackberry (Rubus sp.) produced in different climatic regions", *Journal of Food Science*, 70(7), pp. S497-S503.

Rice-Evans, C., N. Miller, P. Bolwell, P. Bramley and J. Pridham (1995), "The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids", *Free Radical Research*, 22, pp. 375-383.

Sautebin, L., A. Rossi, I. Serraino, P. Dugo, R. Di Paola, L. Mondello *et al.*, (2004), "Effect of anthocyanins contained in a blackberry extract on the circulatory failure and multiple organ dysfunction caused by endotoxin in the rat", *Planta Medica*, 70, pp. 745-752.

Seeram, N., and M. Nair (2002), "Inhibition of lipid peroxidation and structure activity-related studies of the dietary constituents anthocyanins, anthocyanidins, and catechins", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 5308-5312.

Seeram, N., L. Adams, Y. Zhang, R. Lee, D. Sand, H. Scheuller *et al.*, (2006), "Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells *in vitro*", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp. 9329-9339.

Sellappan, S., C. Akoh and G. Krewer (2002), "Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 2432-2438.

Serraino, I., L. Dugo, P. Dugo, L. Mondello, E. Mazzon, G. Dugo *et al.*, (2003), "Protective effects of cyanidin-3-O-glucoside from blackberry extract against peroxynitrite-induced endothelial dysfunction and vascular failure", *Life Sciences*, 73, pp. 1097-1114.

Siriwoharn, T., and R. Wrolstad (2004), "Characterisation of phenolics in Marion and Evergreen blackberries", *Journal of Food Science*, 69, pp. 233-240.

Smith, M., K. Marley, D. Seigler, K. Singletary, and B. Meline (2000), "Bioactive properties of wild blueberry fruits", *Journal of Food Sciences*, 65, pp. 352-356.

Stintzing, F., A. Stintzing, R. Carle and R. Wrolstad (2002), "A novel zwitterionic anthocyanin from Evergreen blackberry (Rubus laciniatus Willd.)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 396-399.

Stoner, G., and H. Mukhtar (1995), "Polyphenols as cancer chemopreventive agents", *Journal of Cellular Biochemistry*, 22, pp. 169-180.

Strik, B. (2007), "Berry crops: worldwide area and production systems", *Berry Fruit Value Added Products for Health Promotion*, Boca Raton, Florida, CRC. ed. 1st. vol. 1, pp. 3-49.

Strik, B. C., J. R. Clark, C. E. Finn and M. P. Banados (2008), *Worldwide production of blackberries*, Acta Horticulturae, 777, pp. 209-217.

Talcott, S. (2007), "Chemical components of berry fruits" en Y. Zhao, *Berry Fruit Value Added Products for Health Promotion*, ed. 1st. vol. 1, Boca Raton, FL, CRC, pp. 51-67.

USDA (2012), "National Nutrient Database for Standard Reference. Obtenido de National Nutrient Database for Standard Reference", disponible en http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/; consultado el 2 de Abril

Wada, L., and B. Ou (2002), "Antioxidant activity and phenolic content of Oregon caneberries", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 3495-3500.

Wang, H., G. Cao and R. Prior (1996), "Total antioxidant capacity of fruits", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, pp. 701-705.

Wang, S. Y., and H.-S. Lin (2000), "Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry and strawberry varies with cultivar and developmental stage", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, pp. 140-146.

Propiedades funcionales del higo (*Ficus carica*) variedad, misión, cultivado en ciudad Lerdo, Durango

Miguel Aguilera Ortiz, María del Carmen Reza Vargas, Patricia Ramírez Baca, María Guadalupe Candelas Cadillo, Jorge Armando Meza Velázquez, Juan Ramón Esparza Rivera

Resumen

Las frutas y vegetales son alimentos bajos en calorías, grasas y sodio, y buenas fuentes de fibra, folato, potasio, vitamina A y vitamina C. Además de sus aportes nutrimentales, numerosas evidencias procedentes de la medicina alternativa y la herbolaria, de estudios epidemiológicos, de experimentos con dietas controladas en humanos y animales de laboratorio y con cultivo de células, han mostrado que existe una fuerte asociación entre el consumo aumentado de este tipo de alimentos y la disminución del riesgo de adquirir diversos tipos de cáncer, trastornos cardiovasculares, diabetes, algunas enfermedades neurológicas y otras alteraciones de la salud. Con estos antecedentes, el fruto del higo producido en nuestra región, tiene gran interés entre los productores y consumidores. Los higos (*Ficus carica*) son quizás la más vieja de todas las especies de frutas cultivadas y cosechadas en numerosas áreas del mundo con climas subtropicales. El fruto del higo ha sido un componente típico en la dieta mediterránea promotora de la salud por milenios. El higo es un fruto delicioso perteneciente a la familia Morácea, siendo la higuera uno de los primeros árboles frutales cultivados. Hoy en día, el higo es un cultivo importante en el mundo entero para consumo fresco y seco. Los higos secos contienen una de las más altas concentraciones de polifenoles entre varias frutas tales como albaricoques, arándanos, dátiles, pasas, ciruelas pasas y bebidas consumidas

comúnmente. Además, los higos y las ciruelas secas tienen la mejor puntuación nutricional entre las frutas secas. El objetivo de esta revisión es ofrecer un panorama actualizado de las propiedades funcionales del fruto del higo, cultivado en ciudad Lerdo, Durango.

Palabras clave: frutas, higo, propiedades funcionales.

Introducción

Hoy en día, nos encontramos inmersos en un cambio en el concepto de alimento y en nuestra forma de alimentarnos. De hecho, además de las propiedades nutritivas y sensoriales de los alimentos, se está reconociendo el papel que pueden tener actuando como agentes protectores de la salud, debido a sus propiedades funcionales (Arvanitoyannis y Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Por lo tanto, no sólo se recomienda la ingesta de nutrientes como lípidos, azúcares, proteínas y compuestos minerales, sino que cada vez es más evidente que los alimentos también contienen un gran número de compuestos con acción protectora de la salud. En este sentido, recientes estudios epidemiológicos han indicado que un alto consumo de frutas y hortalizas está relacionado con una reducción en el riesgo de varias enfermedades crónicas, tales como enfermedades coronarias y algunos tipos de cáncer (Schieber *et al.*, 2001). Esto se atribuye a que estos alimentos proporcionan una mezcla óptima de antioxidantes naturales (polifenoles, tocoferoles, carotenoides y vitamina C), fibras y otros compuestos bioactivos (Tomás-Barberán y Espín, 2001; Kaur y Kapoor, 2001). En relación a lo anterior, se ha generado un término para describir a los alimentos con ciertas propiedades funcionales. Los alimentos funcionales han sido definidos como "alimentos que, poseen la presencia de compuestos bioactivos fisiológicamente, proveen un beneficio a la salud incluyendo una nutrición básica" (ILSI, 1999). Todos los alimentos son funcionales en cierta medida. Sin embargo, algunos alimentos están siendo examinados intensivamente por beneficios fisiológicos adicionales; tales alimentos pueden reducir enfermedades crónico-degenerativas o de otra manera, optimizar la salud. Un término a menudo erróneamente usado indistintamente con alimentos funcionales es "nutracéuticos", acuñado para referir cercanamente algún componente bioactivo que ofrece beneficios a la salud. Sin embargo, un alimento es una mezcla compleja de sustancias bioactivas biológicamente y su efecto total sobre la salud no solamente relaciona el balance de estos componentes dentro del alimento por sí mismo, pero también como ellos interactúan con o complementan componentes de otros alimentos y como el consumo de una dieta total interactúa

a) con otros factores de riesgo no-dietarios para la salud y b) con perfiles genéticos y biológicos de cada individuo (Codoñer-Franch y Valls-Bellés, 2010). El higo pertenece a la Familia *Moraceae*, al género *Ficus* y a la especie *carica*. El higo es el fruto de la higuera, árbol que se cree proviene de los países de Oriente, cultivándose en toda la zona mediterránea desde tiempos muy remotos (Juver, 2002). El higo es un producto muy adecuado para ser enlatado, deshidratado, presentado como pasta y preparado como producto congelado o en compotas (Urbanext, 2003). En la Comarca Lagunera se cultiva el higo (*Ficus carica*) variedad *misión* en los ejidos del Municipio de ciudad Lerdo, Ejido Álvaro Obregón, Nazas, Durango, entre otros. Hasta hoy el higo no ha sido explotado lo suficiente puesto que en su mayoría es consumido fresco. A pesar de que es una buena fuente de fibra, potasio, proteínas, minerales como el hierro, fósforo, magnesio, cobre y zinc, vitaminas como la riboflavina y vitamina B_6. Es una excelente fuente de energía. El higo no es consumido mucho debido a que es un producto altamente perecedero.

La alimentación a nivel mundial

La dieta y la nutrición son muy importantes para promover y mantener la buena salud a lo largo de la vida. Está bien establecida su función como factores determinantes de enfermedades no transmisibles crónicas, y eso los convierte en componentes fundamentales de las actividades de prevención (OMS, 2002). Las enfermedades crónicas son en gran medida enfermedades prevenibles. Si bien, pueden ser necesarias más investigaciones básicas sobre algunos aspectos de los mecanismos que relacionan la dieta y la salud, los datos científicos actualmente disponibles proporcionan una base suficientemente sólida y verosímil para justificar la adopción de medidas en este momento (Choi *et al.*, 2001). Los hábitos alimentarios y el nivel de actividad física modernos son comportamientos de riesgo que se difunden por los países y pasan de una población a otra como una enfermedad infecciosa, con incidencia en los perfiles de morbilidad a nivel mundial. Desde hace muchos años se sabe que la dieta tiene una importancia crucial como factor de riesgo de enfermedades crónicas. Es evidente que desde mediados del siglo XX, el mundo ha sufrido grandes cambios que han repercutido enormemente en el régimen alimentario, primero en las regiones industriales y, más recientemente, en los países en desarrollo. Las dietas tradicionales, basadas en gran parte en los alimentos de origen vegetal, han sido reemplazadas rápidamente por dietas con un alto contenido de grasa, muy energéticas y constituidas principalmente por alimentos de origen animal. Los criterios generales para un diálogo con la industria alimentaria se resumen en lo siguiente: menos grasas saturadas; más frutas y verduras; etiquetado

eficiente de los alimentos; e incentivos para la comercialización y producción de alimentos más saludables (OMS, 2003).

Consumo de frutas

El consumo de frutas y verduras es fundamental para garantizar una dieta diversificada y nutritiva. Sin embargo, el consumo de frutas y hortalizas sigue siendo bajo en muchas regiones del mundo en desarrollo, como confirman los resultados de las encuestas sobre alimentación. Actualmente, sólo una reducida minoría de la población mundial consume las grandes cantidades medias recomendadas de frutas y verduras. Las frutas y verduras contribuyen a la salud cardiovascular gracias a la diversidad de fitonutrientes, el potasio y la fibra que contienen. Se recomienda el consumo diario de frutas y verduras frescas (incluidas bayas, hortalizas de hoja verde y crucíferas y leguminosas), en cantidades adecuadas (400-500 g diarios), para reducir el riesgo de cardiopatía coronaria, accidente cerebrovascular e hipertensión (OMS, 2003). El consumo de frutas y hortalizas a nivel nacional es muy variable, pues depende de múltiples factores; algunos de ellos son: hábitos de consumo, educación, actividad laboral, edad, facilidad de adquisición, y por supuesto, el costo del producto. Las frutas y verduras que más se consumen en México, independientemente del estrato socioeconómico, son: jitomate, cebolla, ajo, papa, limón, zanahoria; en menor proporción se consumen algunas frutas como plátano, naranja, manzana, papaya, melón, sandía, piña y en ciertas épocas del año mango, uva y fresas. La mayor parte del consumo de frutas se hace por sus propiedades sensoriales, aunque un sector cada vez más importante de la población lo hace por sus propiedades sensoriales y también como fuente de varios fitoquímicos. El consumo de frutas y verduras, en parte debido a la crisis económica en que se encuentra el país, ha disminuido en 30%, lo que no resulta conveniente desde el punto de vista de la salud, porque, en cambio ha aumentado el consumo de alimentos que en general sólo proporcionan energía, lo que ha contribuido a que aumente la proporción de personas con sobrepeso y con obesidad, lo cual favorece la aparición de las llamadas enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes y la hipertensión (Mendoza y Calvo, 2010).

Componentes funcionales de las frutas y hortalizas

En general, los componentes funcionales de las frutas y hortalizas se pueden clasificar en varias categorías: fibra dietaria, antioxidantes, compuestos organosulfurados y ácidos grasos poliinsaturados (Mancera, 2010).

a) La fibra dietaria proviene de las paredes celulares y laminas medias de los tejidos que conforman las frutas y hortalizas, por lo que participan en su composición celulosa, hemicelulosas, lignina y compuestos pécticos mayoritariamente. La fibra dietaria no se absorbe, pues el organismo carece de las enzimas para hidrolizar estos polímeros y tampoco exhibe una gran capacidad antioxidante. Sin embargo, los estudios *in vitro* han mostrado que sus componentes pueden atrapar carcinógenos y otras sustancias reactivas tales como ácidos biliares, por lo que su efecto benéfico se ejerce directamente en el intestino en donde no solo elimina sustancias nocivas, sino también modifica el microambiente del colon (flora bacteriana, composición de ácidos biliares y pH). Además, algunas clases de fibra dietaria se fermentan por acción de la microflora del colon produciéndose ácidos grasos de cadena corta como el butírico que ha mostrado un efecto preventivo de las neoplasias (formación de tumores por crecimiento y propagación de células malignas). La fibra dietaria por lo tanto, reduce los riesgos de cáncer de colon. También, previene la diverticulosis (formación de pequeñas vesículas en el intestino) y puede ayudar a controlar la diabetes y los niveles altos de colesterol y glucosa en la sangre (Pelayo, 2003).

b) Las frutas y hortalizas como fuente de *antioxidantes* naturales. Recientemente, se ha podido atribuir el efecto de una dieta rica en frutas y hortalizas al alto poder de acción contra los radicales libres o capacidad antioxidante que éstas exhiben. En efecto, los antioxidantes naturales como las vitaminas C y E, compuestos fenólicos (que incluyen los flavonoides), carotenoides y antocianinas poseen la capacidad de contrarrestar el efecto en el organismo de los radicales libres, resultantes de las reacciones oxidativas que acompañan el metabolismo y que pueden inducir cáncer, enfermedades cardiovasculares o inmunodeficiencias, cataratas oculares, aterosclerosis, diabetes, artritis, envejecimiento y disfunciones cerebrales. Los alimentos y más específicamente las frutas y hortalizas, han asumido una nueva función, en la medida en que proveen beneficios fisiológicos adicionales como prevenir y proteger contra enfermedades, principalmente por su acción contra las reacciones oxidativas

a través de los compuestos antioxidantes que poseen, además de contener una gran cantidad de fibra, que ayuda a eliminar, a través de la digestión, sustancias que pueden ser nocivas y a reducir los niveles de colesterol. Es por esto que una de las declaraciones del Jefe del servicio de Programas de Nutrición de la FAO, William D. Clay fue: "Consumir abundante fruta y hortaliza en el marco de una dieta diversificada contribuirá a satisfacer las necesidades de nutrición" (FAO, 2003), siendo una buena opción para suplir estas necesidades, el consumo regular de pulpas de frutas y hortalizas.

c) Compuestos organosulfurados. Los miembros del género Allium, incluyendo ajo (*A. sativum* L.), cebolla (*A. cepa* L.) y cebollines (*A. schoenoprasum*) contienen compuestos órgano sulfurados responsables del olor y gusto característicos de estas hortalizas. Estos compuestos son activos en la fase 1 (limitando la activación de carcinógenos) o en la fase 2 (estimulando la actividad de enzimas detoxificantes de carcinógenos) del proceso de carcinogénesis (Wargovich, 2000). En pruebas con seres humanos, estos compuestos han demostrado acción antimicrobiana en contra de levaduras y algunas bacterias, y en experimentos con roedores su capacidad para inhibir tumores cervicales y mamarios, reducir el nivel de lípidos en el torrente sanguíneo y la formación de aductos en el ADN (Mancera, 2010).

d) Finalmente, los ácidos grasos poliinsaturados están presentes en numerosos aceites de origen vegetal. Dentro de las frutas, las nueces contienen algunos de estos compuestos. Se ha reportado por ejemplo, que el ácido *a*-linolénico, abundante en nuez pecanera (*Carya illinoensis* W.) o de cáscara de papel, reduce la presión sanguínea de los hipertensos, los niveles de triglicéridos y colesterol en sangre, y retarda el crecimiento de tumores (Turgut, 2001).

Las frutas constituyen una comodidad alimenticia comercialmente importante y nutricionalmente indispensable. Ellas son cuerpos de semillas comestibles o receptáculos desarrollados de un ovario fertilizado maduro. Estas son órganos altamente especializados en plantas superiores, ofreciendo una gran variedad de cualidades estéticas con sus delicados aromas complejos, sabor agradable, colores exóticos, suculentas, sabor y textura. Ellas juegan un papel vital en la nutrición humana, por suministrar los factores de crecimiento necesarios esenciales para el mantenimiento normal de la salud. Nutricionalmente, ellas son conocidas por sus altos contenidos calóricos, fibra dietética, minerales, vitaminas (complejo B, C y K, en algunos casos), ß-caroteno (provitamina A) y fenólicos (antioxidantes). Las frutas están ampliamente distribuidas en la naturaleza y dependiendo sobre su distribución, ellas están clasificadas en tropicales, subtropicales y templadas (cuadro 1).

Cuadro 1. Clasif cación de frutas basadas en su distribución

Temperatura	*Subtropical*	*Tropical*
Manzana	Aguacate	Anona
Chabacano	Lima	Plátano
Cereza	Litchi	Guayaba
Uvas	Mandarina	Jaca
Kiwi	Oliva	Mango
Durazno	Naranja	Papaya
Pera	Fruta pasión	Piña
Ciruela	Caqui	Zapote
Fresa	Granada	
Melón		

Fuente: Prasanna *et al.* (2010).

Las frutas son cosechadas en su completa madurez. Ellas son autosuficientes con su propia maquinaria catalítica para mantener una vida independiente, aun cuando estén separadas de la planta madre. Basadas en su modelo respiratorio y biosíntesis de etileno durante la maduración, las frutas cosechadas pueden ser clasificadas posteriormente como climatéricas y no climatéricas (cuadro 2).

Cuadro 2. Clasif cación de las frutas

Frutas climatéricas	*Frutas no climatéricas*
Manzana	Cereza
Chabacano	Pepino
Plátano	Uva
Guayaba	Pomelo
Kiwi	Limón
Mango	Lima
Papaya	Litchi
Fruta pasión	Mandarina
Durazno	Melón
Pera	Naranja
Caqui	Piña
Ciruela	Granada
Zapote	Frambuesa
Tomate	Fresa

Fuente: Prasanna *et al.* (2010).

Antioxidantes en frutas y vegetales

Un antioxidante es un compuesto que inhibe o retrasa la oxidación de un sustrato aún si en el compuesto está presente una concentración significativamente más baja que el sustrato oxidado y puede ser reciclado en las células o irreversiblemente dañado (Halliwell y Gutteridge, 2007). Las propiedades antioxidantes de los pigmentos resultan de su alta reactividad como donadores de hidrógenos o electrones y de la capacidad de los radicales derivados de los polifenoles para estabilizar y deslocalizar los electrones no apareados y de su capacidad para quelar la transición del ión metálico (Rice-Evans *et al.*, 1997). Estos pigmentos son reportados por poseer muchos beneficios terapéuticos incluyendo propiedades vasoprotectivas y antiflamatorias, anticancerígenas, propiedades quimoprotectivas y antineoplásticas, revertir los déficits relacionados con la edad (Joseph *et al.*, 1999) y útil en el control del estrés oxidativo durante los embarazos complicados por retardación en el crecimiento intrauterino (Pawlowicz *et al.*, 2000). También ha sido sugerido que las antocianinas tienen la capacidad para estabilizar los complejos de la triple hélice de DNA (Mas *et al.*, 2000) y también pueden proteger el cloroplasto en contra de las altas intensidades de luz (Pietrini *et al.*, 2002).

Otros antioxidantes presentes en el organismo, como son las vitaminas E y C, los carotenoides y los compuestos fenólicos, son aportados en la dieta por lo que sus concentraciones en el cuerpo humano estarán relacionadas con el consumo de frutas y verduras (Shahidi y Nazck, 1995). Diversos estudios epidemiológicos han mostrado que dietas ricas en alimentos vegetales reducen de forma significativa las tasas de mortalidad por enfermedades degenerativas relacionadas con el estrés oxidativo (Ames *et al.*, 1993; Hertog *et al.*, 1997a, b). Este efecto protector se ha atribuido al hecho de que estos alimentos proporcionan al organismo una mezcla óptima de componentes bioactivos, como los compuestos fenólicos y otros antioxidantes naturales (Steinmetz y Potter, 1991a, b; Ames *et al.*, 1993; Cao *et al.*, 1997). La importancia de las propiedades antioxidantes de los alimentos en el mantenimiento de la salud y en la protección frente a enfermedades degenerativas ha despertado el interés de los científicos, fabricantes y consumidores (García *et al.*, 2002).

El higo

El higo (*Ficus carica* L.) es uno de los árboles, al igual que el olivo y el almendro, tradicionales por su rusticidad y su fácil multiplicación, siendo un frutal muy apropiado para el cultivo extensivo. Siempre ha sido considerado como árbol que no requiere cuidado alguno una vez plantado y arraigado, limitándose el hombre a

recoger de él los frutos cuando maduran, unos para consumo en fresco, otros para conservar en seco o para preparar a partir de ellos, determinados tipos de postres muy utilizados en nuestro medio.

Características botánicas

El higo pertenece a la familia de las moráceas; son arbustos de madera blanda, de hojas grandes, verdes y brillantes por el haz y grises y ásperas por el envés. Sus flores unisexuadas están distribuidas por la superficie interna de un receptáculo lobuloso abierto en un extremo, éste, tras la fecundación, se hincha y se vuelve carnoso, formando una masa rica en materias azucaradas. El fruto es blando, de gusto dulce, su interior de color encarnado y blanco, alojándose aquí las semillas. Aparece cubierto exteriormente por una piel verdosa, negra o morada, según las diversas variedades.

Variedades cultivadas

1. Higueras breveras o brevales. Éstas son las más apreciadas. En estos árboles, algunos higos cada año no llegan a madurar en junio-julio y se conservan durante el invierno para hacerlo en el verano siguiente. Las brevas tienen un alto valor comercial por su tamaño, superior al de los higos, por su aspecto atractivo y por las fechas en que maduran, con fácil comercialización en fresco. Estos frutos se forman sobre madera vieja, del año anterior en donde pasan el invierno como pequeños botones, situándose 2, 3 o 4 por ramo, pudiendo llegar hasta 7. Estas higueras dan una segunda cosecha, la de higos, a partir de agosto. Estos frutos se forman sobre al brotar del mismo año. Los higos son del mismo color que las brevas pero de tamaño más pequeño, de sabor más dulce pero con menor aroma.
2. Higueras comunes. Son las que dan sólo higos, normalmente desde junio hasta octubre. Entre las principales variedades tenemos: la verdal, la blanca y la pellejo duro.

Recolección

El calor y el sol colorean las brevas y los higos; el rocío matutino, las agrieta, las abre, dándoles el aspecto típico y atractivo del fruto maduro. Las lluvias suelen estropear muchos frutos cuando se producen en época de recolección. Deben recolectarse las brevas y los higos "en su momento" y para ello es conveniente escalonar la recolección, de tal manera que cada dos o tres días se haga una recolecta. Se realiza esta operación, normalmente por las mañanas, una vez desaparecido el rocío, para ser envasadas inmediatamente y poder, llevarlas al mercado. Para el consumo local es muy apropiada la recogida por la tarde.

Rendimiento

Como en todas las actividades agrarias, las producciones que se obtienen de las higueras dependen de una serie de factores distintos, entre otros las condiciones climáticas del año y la forma de realizar las operaciones culturales. A los tres y medio y cuatro años de la plantación entran los árboles en producción dando cada uno entre 4 y 8 kg de brevas y entre 8 y 12 kg de higos verdes; generalmente las primeras aprovechadas en su totalidad y los segundos en un 50 por ciento. Entre los 10 y 15 años entra la población en plena producción, y se mantendrá durante un largo período, 40-50 años.

Los árboles adultos dan producciones que oscilan, en años normales, entre 40 y 100 kg de brevas y 60 a 150 kg de higos verdes. Las higueras que no dan brevas producen mayor cantidad de higos, considerándose producciones normales entre 150 y 200 kg por árbol grande, no todos ellos aprovechables generalmente para el consumo humano. De producirse lluvias a mediados de agosto en adelante, se estropean los higos, se abren y se agrían.

Comercialización

En vista que es una fruta delicada, se debe tratar con sumo cuidado para no estropear su presentación. El envasado puede realizarse al momento de la recolección. En el fondo de las cajas, se colocarán hojas de higuera u hojas de caña común, para proteger a los frutos (Anónimo, 2012).

Propiedades funcionales del higo

A pesar de la tradición de la mayoría de los países consumidores de higos en fresco, resultan significativos los saltos de mayor consumo anual en los mismos, como así también del incremento en el consumo de jugos, pasas y pastas de higos. Tales incrementos son el resultado de las cada vez más conocidas propiedades funcionales de este fruto en los países desarrollados; entendiéndose como tal a aquellos alimentos que por la virtud de poseer componentes fisiológicamente activos, proveen beneficios más allá de la nutrición básica y pueden prevenir enfermedades o promover salud. Se puede decir que los higos son los frutos nutracéuticos por excelencia. Estas cualidades, demostradas científicamente en los últimos años en eminentes centros de medicina en el mundo, van desde las más antiguamente conocidas, tales como sus efectos antiinflamatorios, expectorantes y laxantes, hasta las propiedades recientemente confirmadas como eficaz agente anticancerígeno. Estos atributos tienen su mayor expresión en los higos maduros consumidos en fresco, en los jugos, en las pasas y en las pastas; de allí la creciente demanda por estos productos en los países mencionados.

Los higos son una excelente fuente de fibras, minerales y polifenoles. Tienen bajo contenido en sodio y no poseen grasas ni colesterol. Entre las frutas más consumidas, los higos tienen el más alto contenido total de minerales. Una porción comestible, tres pasas de Esmirna o cuatro a cinco higos negros comunes, contiene el 20% de las necesidades diarias de fibra. Más del 28% de estas fibras son del tipo solubles, las cuales ayudan al control del azúcar en la sangre y bajan el colesterol al ligarlo a ellas en el tracto digestivo. Estudios recientes han demostrado que estas fibras favorecen la pérdida de peso y por lo tanto comienzan a ser utilizadas en el tratamiento de la obesidad. En Estados Unidos, los higos tanto fruta como snack son considerados ideales para las dietas en niños con tendencia a la obesidad, por ser una fuente excelente de fibras y naturalmente dulces. Estas fibras otorgan a los higos propiedades como normalizadores intestinales.

Otra cualidad importante de los higos es su muy buena acción en la prevención de infartos y otras enfermedades cardiovasculares. Además de los productos ya mencionados, desde la antigüedad son conocidos los higos al natural o en almíbar, las mermeladas, los higos abrillantados y confitados, las jaleas y arropes o jarabes de higos, que en el mercado interno no están abastecidos en su demanda, o bien son inexistentes. La elaboración de vinos licorosos, aguardientes y vinagres balsámicos son otros de los destinos que puede tener esta fruta (Prataviera, 2012). Los higos frescos son una mercancía sumamente delicada y perecedera; son muy ricos en azú-

cares, proteínas, fibras, minerales sobre todo calcio, fósforo y hierro (Sánchez, 2004). El higo es un alimento muy nutritivo y usado en productos industriales. Este es rico en vitaminas, elementos minerales, agua y grasas. Los higos son una de las fuentes vegetales más altas de calcio y fibra. De acuerdo a los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para la variedad misión, los higos secos son los más ricos en fibra, cobre, manganeso, magnesio, potasio, calcio y vitamina K, relativo a las necesidades humanas.

Ellos tienen pequeñas cantidades de muchos otros nutrientes (Joseph y Raj, 2011). Los higos tienen un efecto laxante y contienen muchos antioxidantes. Ellos son buena fuente de flavonoides y polifenoles (Vinson, 1999), y algunos compuestos bioactivos tales como arabinosa, ß-amirinas, ß-carotinas, glucósidos, ß-esteroles y xantotoxoles (Gilani *et al.*, 2008; Vaya y Mahmood, 2006; Ross y Kasum, 2002). Los higos secos producen un incremento significativo en la capacidad antioxidante del plasma (Vinson *et al.*, 2005) y también usado en varios desórdenes tales como gastrointestinal, respiratorio, inflamatorio, desórdenes cardiovasculares, enfermedades ulcerativas y cánceres (McGovern, 2002; Rubnov *et al.*, 2001; Perez *et al.*, 1999; Canal *et al.*, 2000). En la medicina tradicional las raíces son usadas en el tratamiento de leucoderma y tiña y sus frutos los cuales son dulces, tienen propiedades antipiréticas, purgativas, afrodisiácas y han mostrado ser útiles en inflamaciones y parálisis (Kirtikar y Basu, 1996; Nadkarni y Nadkarni, 1995). El *F. carica* ha sido reportado por poseer efectos antioxidantes, antivirales, antibacteriales, hipoglicémicos, cáncer supresivo, hipotrigliceridiámicos, vermífugo (Wang *et al.*, 2004; Solomon *et al.*, 2006; Jeong *et al.*, 2005).

Antocianinas

Las antocianinas, son pigmentos naturales los cuales son responsables de los colores en frutas tales como azul, morado, violeta y rojo; pertenecen a una de las principales clases de flavonoides. Ellas son el grupo más importante de pigmentos de plantas visibles además de las clorofilas y son principalmente glucósidos de derivados polihidroxi y polimetoxilados de sales de 2-fenilbenzopirilium o flavilium. Existe un estimado de más de 400 antocianinas que han sido encontradas en la naturaleza (Jin *et al.*, 2008). Las antocianinas están teniendo un crecimiento importante no sólo por ser pigmentos de plantas, sino también como colorantes alimenticios y antioxidantes (Sivasankar *et al.*, 2011).

El potencial de los constituyentes promotores de la salud de los frutos del higo fue estudiado en seis variedades comerciales de higo, difiriendo en color (negro, rojo,

amarillo y verde) fueron analizados en polifenoles totales, flavonoides totales, capacidad antioxidante y perfil de antocianinas. En las variedades misión de color negro y Brown-Turkey de color rojo, la fracción de antocianinas contribuyó el 36 y 28% de la capacidad antioxidante total, la cianidina-3-*O*-rutinósido (C3R) contribuyó con el 92% de la capacidad antioxidante total de la fracción de antocianinas. Los frutos de la variedad misión contienen los niveles más altos de polifenoles, flavonoides, y antocianinas y exhiben la más alta capacidad antioxidante (Joseph y Raj, 2011).

Conclusiones

Por sus efectos benéficos en la salud, las frutas y hortalizas han adquirido en los últimos años, y se prevé que continuarán haciéndolo en el futuro, mayor importancia como componentes de la dieta diaria. El higo con una producción anual estimada de 1'077,211 toneladas de fruto es un cultivo mundial importante. Los higos tienen una gran importancia en la nutrición debido a que es una fuente importante de carbohidratos (casi 65-70%). Ellos contienen aminoácidos esenciales y son ricos en vitaminas A, B_1, B_2 y C, y minerales. El higo es uno de los frutos más ampliamente producidos en el mundo, en la cual la cantidad de azúcares y vitaminas es cercanamente igual a los dátiles. El higo es una rica fuente de benzaldehyda, un agente anticancerígeno. Contiene enzimas y flavonoides que ayudan en el proceso digestivo, además, cantidades significativas de hierro, potasio, beta-caroteno y fibra.

Sobre los autores

Miguel Aguilera Ortíz, María del Carmen Reza Vargas, Patricia Ramírez Baca, María Guadalupe Candelas Cadillo, Jorge Armando Meza Velázquez, Juan Ramón Esparza Rivera. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Juárez del Estado de Durango.Av. Artículo 123 s/n, Fraccionamiento Filadelfia. 35010. Gómez Palacio, Durango, México, correo electrónico maguilerao@hotmail.com

Referencias

Ames B. M., M. K. Shigena and T. M. Hagen (1993), "Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA. 90, pp. 7915-7922.

Anónimo (2012), *El cultivo del higo-higuera.*

Arvanitoyannis I. S. and M. v. Houwelingen-Koukaliaroglou (2005), "Functional foods: a survey of health claims, pros and cons, and current legislation", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, pp. 385-404.

Cao G., Sofic E. and R. L. Prior (1997), "Antioxidant and prooxidant behavior of flavonoids: structure-activity relationships", *Free Radical Biology & Medicine*, 22, pp. 749-760.

Canal J. R., M. D. Torres, A. Romero and C. Pérez (2000), "A chloro-form extract obtained from a decoction of *Ficus carica* leaves improves the cholesterolaemic status of rats with streptozotocin-induced diabetes", *Acta Physiologicl Hungarica*, 87, pp. 1-6.

Choi B. CK., R. Bonita and D. v. McQueen (2001), "The need for global risk factor surveillance", *Journal of Epidemiology and Community Health*, 55, pp. 370.

Codoñer-Franch P. and v. Valls-Bellés (2010), "Citrus as functional foods", *Current Topics in Nutraceutical Research*, 8(4), pp. 173-184.

FAO (2003), *Prioridad mundial al consumo de fruta y hortalizas: muy pocas personas consumen suficientes frutas y hortalizas.*

García A. J., M. J. Periago G. M. L. Vidal and E. Cantos (2002), "Evaluación de las propiedades antioxidantes en concentrados de uva y frutas rojas", *Anales de Veterinaria*, 18, pp. 103-114.

Gilani A. H., M. H. Mehmood K. H. Janbaz A. U. Khan and S. A. Saeed (2008), "Ethnopharmacological studies on antispasmodic and antiplatelet activities of *Ficus carica*", *Journal of Ethnopharmacology*, 119, pp. 1-5.

Halliwell B. and Gutteridge (2007), *Free radicals in biology and medicine*, Fourth ed., Oxford University Press.

Hertog M. G. L., P. M. Sweetnam, A. M. Fehily, P. C. Elwood and D. Kromhout (1997a), "Antioxidant flavonols and ischaemic heart disease in a Welsh population of men. The Caerphilly study", *American Journal of Clinical Nutrition*, 65, pp. 1489-1494.

Hertog M. G. L., G. Van Poppel and D. Verhoeven (1997b), "Potentially anticarcinogenic secondary metabolites from fruit and vegetables" en F. Tomás-Barberán A., Robins R. J., *Phytochemistry of fruit and vegetables*, eds., Clarendon Press. Oxford, pp. 313-329.

ILSI. (1999), "Safety assessment and potencial health benefits of food components based on selected scientific criteria", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 39(3), pp. 203-206.

Jeong M. R., J. D. Cha and Y. E. Lee (2005), "Antibacterial activity of Korean fig (*Ficus carica* L.) against food poisoning bacteria", *Korean Journal of Food Cookery Science*, 21, pp. 84-93.

Jin M. K., S. C. Lian, K. G. Ngoh, F. C. Tet and R. Brouillard (2008), "Analysis and biological activities of anthocyanins", *Phytochemistry*, 64, pp. 923-933.

Joseph J. A., B. Shukitt-Hale, N. A. Denisova, D. Bielinski, A. Martin, J. J. McEwen and P. C. Bickford (1999), "Reversals of age-related declines in neuronal signal transduction cognitive, and motor behavioral deficits with blueberry, spinach or strawberry dietry supplementation", *The Journal of Neurosciences*, pp. 8114-8121.

Joseph B. and J. S. Raj (2011), "Pharmacognostic and phytochemical propertiesw of *Ficus carica* Linn-An overview", *International Journal of Pharm Tech Research*, 3(1), pp. 8-12.

Juver (2002), "Información Nutricional de las Frutas", disponible en www.juver.com.

Kaur C. and H. C. Kapoor (2001), "Antioxidants in fruits and vegetables-the millennium's health", *International Journal of Food Science and Technology*, 36, pp. 703-725.

Kirtikar K. R. and B. D. Basu (1996), "Indian medicinal plants", *International Book Distributors India*, 2(3).

Mancera A. J. A. (2010), "Diseño de una pulpa funcional de frutas y hortalizas con propiedades antioxidantes y probióticas", tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Mas T., J. Susperregui, B. Berké C. Chéze, S. Morcau, A. Nuhrich and J. Vercauteren (2000), "DNA triplex stabilization property of natural anthocyanins", *Phytochemistry*, 53, pp. 679-687.

McGovern T. W. (2002), "The fig-*Ficus carica* L", *Cutis*, 69, pp. 339-40.

Mendoza E. and C. Calvo (2010), *Bromatología: composición y propiedades de los alimentos*, McGraw Hill, México, D. F. p. 197.

Nadkarni K. M. and A. K. Nadkarni (1995), Indian material medica, Popular Prakashan, India. 1.

OMS (2002), "Informe sobre la salud en el mundo 2002: reducir los riesgos y promover una vida sana".

OMS (2003), "Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas", *Serie de Informes Tëcnicos*, p. 916.

Pawlowicz P. and G. Stachowiak (2000), "Administration of natural anthocyanins derived from choke-berry retardation of idiopathic and preclamptic origin. Influence on metabolism of plasma oxidized lipoproteins: the role of autoantibodies to ixidize low density lipoproteins", *Ginekologia Polska*, 71, pp. 848-853.

Pelayo C. (2003), "Las frutas y hortalizas como alimentos funcionales. Departamento de biotecnología", Universidad Autónoma Metropolitana, México, disponible en http:77www.izt.uam.mx/contactos/n47ne/frutas.pdf; consultado el 01 junio de 2010.

Perez C., J. R. Canal, J. E. Campillo, A. Romero and M. D. Torres (1999), "Hypotriglyceridaemic activity of *Ficus carica* leaves in experimental hypertriglyceridaemic rats", *Phytotherapy Research*, 13, pp. 188-91.

Pietrini, Lanelli and Massacci (2002), "Anthocyanin accumulation in the illuminated surface of maize leaves enhances protection from photoinhibitory risk at low temperature with out further limitation to photosynthesis", *Plant, cell and environment*, 25, pp. 1251-1259.

Prasanna v., t. N. Prabha and R. N. Tharanathan (2010), "Fruit ripening phenomena-an overview", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47, pp. 1-19.

Prataviera A. G. (2012), *El cultivo de la higuera*, INTA, Catamarca.

Rice-Evans C., N. J. Miller and G. Paganga (2007), "Antioxidant properties of phenolic compounds", *Trends in Plant Science*, 2, pp. 152-159.

Ross J. A. and C. M. Kasum (2002), "Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety", *Annual Review of Nutrition*, 22, pp. 19-34.

Rubnov S., Y. Kashman, R. Rabinowitz, M. Schlesinger and R. Mechoulam (2001), "Suppressors of cancer cell proliferation from fig (*Ficus carica*) resin: isolation and structure elucidation", *Journal of Natural Products*, 64, pp. 993-996.

Sánchez M. t. (2004), *Proceso de conservación poscosecha de productos vegetales*, A. Madrid Vicente, España.

Schieber A., F. C. Stintzing and R. Carle (2001), "By-products of plant food processing as a source of functional compounds-recent development", *Trends in Food Science Technology*, 12, pp. 401-413.

Shahidi F. and M. Naczk (1995), *Food phenolics. Sources, chemistry, effects, application*, Tecnnomic Publishing CO. INC eds. Lancaster, Pennsylvania, USA.

Sivasankar v., A. Moorthi, K. D. Sarathi and P. D. Suganya (2011), "Anthocyanin, and its antioxidant properties in selected fruits", *Journal of Pharmacy Research*, 4(3), pp. 800-806.

Solomon A., S. Golubowicz, Z., Yablowicz, S. Grossman, M., Bergman, H. E. Gottlieb, A. Altman, Z. Kerem and M. A. Flaishman (2006), Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp. 7717-23.

Steinmetz K. A. and J. D. Potter (1991a), "Vegetables, fruit and cancer. I. Epidemiology", *Cancer Causes Control*, 2, pp. 325-357.

Steinmetz K. A. and J. D. Potter (1991b), Vegetables, fruit and cancer. II. Mechanisms. *Cancer Causes Control*, 2, pp. 427-442.

Tomás-Barberán F. A. and J. C. Espín (2001), "Phenolic compounds and related enzymes as determinats of quality in fruits and vegetables", *Journal of Science and Food Agricultural*, 81, pp. 853-876.

Turgut D. N. (2001), "Health benefits and processing of lipid-based nutritionals", *Food Technology*, 55(11), pp. 38-44.

Urbanext (2003), "Foods for thought", consultado en www. Urbancxt.uiuc.edu; U.S.

Vaya J. and S. Mahmood (2006), "Flavonoid content in leaf extracts of the fig (Ficus carica L.), carob (Ceratonia siliquia L). and pistachio (Pistacia lentiscus L.)", *Biofactors*, 28, pp. 169-75.

Vinson J. A. (1999), *Functional food properties of figs. Cereal Foods World*, 44(2), pp. 82-87.

Vinson J. A., L. Zubik, P. Bose, N. Samman and J. Proch (2005), "Dried fruits: excellent *in vitro* and in vivo antioxidants", *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1), pp. 44-50.

Wang G., H. Wang, Y. Song, C. Jia, Z. Wang and H. Xu (2004), *Studies on anti-HSV effect of Ficus carica leaves*, Zhong Yao Cai., 27, pp. 54-60.

Wargovich M. J. (2000), "Anticancer properties of fruits and vegetables", *Horticulture Science*, 35, pp. 573-575.

El maíz azul (*Zea mays*) cultivado en la Comarca Lagunera como fuente de biocolorantes

Miguel Aguilera Ortiz, María del Carmen Reza Vargas, y Patricia Ramírez Baca

Resumen

Los maíces pigmentados son aquellos denominados de color rojo y azul. Pero las características más acentuadas del maíz azul son el atractivo color del grano, su sabor diferente y un mayor valor comercial, cualidades por las que ha permeado en los mercados con mucho éxito. El maíz azul es una variedad pigmentada de *Zea mays* L. Su mazorca es a menudo descuidada en la producción. Sin embargo, se descubrió que la mazorca es rica en antocianinas, tales como cianidina-3-glucósido, pelargonidina-3-glucósido y peonidina-3-glucósido. Las antocianinas son compuestos cromóforos solubles en agua y poseen propiedades químicas relacionadas con la reducción de colesterol y triglicéridos del torrente sanguíneo humano, por lo que se recomienda su ingesta para reducir afecciones cardiacas. Obviamente, las mazorcas de maíz azul pueden ser usadas como una fuente de biocolorantes, no sólo por impartir colores brillantes, sino por su funcionalidad en la salud; estos pueden ser usados para colorear vinos, mermeladas y jugos de frutas. Los flavonoides presentes en el maíz azul tienen además un valor funcional como antioxidantes. Reportes recientes, principalmente, se enfocan en analizar la estabilidad y estructura de estas antocianinas. México cuenta con una gran cantidad de variedades de maíz que presentan granos de colores morados, azules, rojos y

guindas. En estos últimos el pigmento se localiza tanto en el pericarpio, como en la capa de aleurona y el contenido de antocianinas en el grano llega a ser de hasta 1151 mg/kg de muestra. En los granos de color guinda, la concentración de antocianinas en el pericarpio alcanza valores de hasta 1.5%, por lo que representa una fuente importante de biocolorantes con colores rojos. El objetivo de esta revisión es ofrecer un panorama actualizado del cultivo del maíz azul en la Comarca Lagunera y de su potencial como biocolorantes de origen natural.

Palabras clave: maíz azul, antocianinas, biocolorantes.

Introducción

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social (SIAP, 2011). El maíz es un elemento cultural de la misma importancia que el lenguaje, el vestido, la música, la culinaria, las costumbres y otras manifestaciones culturales. La vigencia de las razas de maíz es universal. Las razas se manifiestan en el tiempo. Hay muchas evidencias de que las razas de maíz son más perennes que otras manifestaciones culturales. Se mantienen porque constituyen un fuerte elemento cultural. Si desaparecen las culturas, desaparecen también las razas de maíz (Cuevas *et al.*, 2008). Los maíces (*Zea mays* L.) de color han estado presentes en la mitología, rituales religiosos y en la alimentación de las culturas indígenas de México. Se sabe que entre los aztecas, los maíces de color amarillo, azul y rojo se relacionaban con el culto a "Chicomecoatl", diosa de los mandamientos (Sahagún, 1975). Los indígenas Huicholes consideran los maíces de color amarillo, rojo y negro como guardianes de la milpa (Hernández, 1985). En el pensamiento cosmológico de los mayas, los maíces de color blanco, amarillo, rojo y negro se relacionan con los rumbos cósmicos: el maíz blanco se asocia con el norte, el amarillo con el sur, el rojo con el este y el negro con el oeste (Popol Vuh, 1975). Estudios epidemiológicos efectuados en varios países evidencian que el consumo de frutas y vegetales reducen enfermedades coronarias, además de minimizar los riesgos de cáncer. Se ha descrito que algunos compuestos fenólicos de origen vegetal presentan dentro de la célula actividad antioxidante, reduciendo la concentración de radicales libres y en algunos casos, logran establecer grupos de quelación con iones metálicos. Los mecanismos involucrados de los agentes antioxidantes establecen donación de electrones o átomos de hidrógeno a los radicales libres. Los agentes antioxidantes presentes en alimentos pueden reducir

trombosis, activar macrófagos e inhibir la tendencia a la peroxidación (Block *et al.*, 1992). Entre los compuestos que han merecido dichos estudios se encuentran las antocianinas, debido a la presencia de sustituyentes –OH, los cuales son moléculas con alto poder antioxidante (Kong *et al.*, 2003). La presencia de antocianinas en las variedades pigmentadas del maíz, lo hace un producto potencial para el suministro de biocolorantes y antioxidantes naturales. Por ello el estudio de los pigmentos del maíz morado (*Zea mays*) ha despertado un interés sin precedentes. La diversidad genética del maíz se distribuye en razas. En América se han originado el 90% de todas las razas (Cuevas *et al.*, 2008). En América hay 260 razas de las que 132, aproximadamente la mitad, se encuentran en la región andina. Dos factores son la causa de esa gran diversidad: la variación en usos y la gran variación ecológica. La diversidad fenotípica del maíz en la región andina se expresa en una extraordinaria variabilidad en color, tamaño, forma, textura del grano y de la mazorca (Goodman *et al.*, 1988). México cuenta con una gran cantidad de variedades de maíz que presentan granos de colores morados, azules, rojos y guindas. En estos últimos el pigmento se localiza tanto en el pericarpio, como en la capa de aleurona y el contenido de antocianinas en el grano llega a ser de hasta 1151 mg/kg de muestra (Gomes, 1999). Debido al interés de la sustitución de los colorantes sintéticos por su posible toxicidad, se han buscado nuevas fuentes de biocolorantes naturales, como las antocianinas presentes en los maíces pigmentados. Entonces, es deseable un proceso para el desarrollo de biocolorantes a base de antocianinas estables de fuentes naturales, como en este caso en particular, del maíz azul.

El cultivo del maíz azul

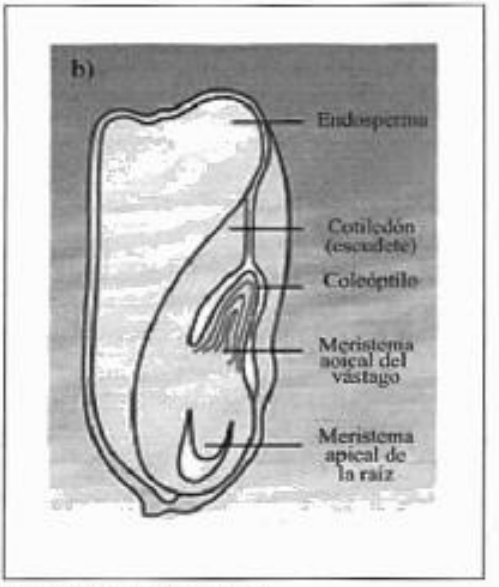
El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas y es la única especie cultivada de este género y de las más productivas. Es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética. El maíz tiene el más alto potencial para la producción de carbohidratos por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo (Salazar *et al.*, 2007). Dentro de las características agronómicas de los maíces azules, es difícil citar todas las variedades existentes de maíz (criollo, mejorado e híbrido), ya que los nombres cambian según la región del país donde se cultive. Con la introducción de los maíces híbridos y el mejoramiento del cultivo se han aumentado sensiblemente los rendimientos por unidad de producción,

además de disminuir las pérdidas por enfermedades. En el mercado existe una amplia gama de variedades mejoradas; sin embargo, esta tecnología no está al alcance de muchos agricultores, porque muchas veces no es posible conseguir una variedad específica a una zona o porque su precio es muy elevado (Bergvinson *et al.*, 2007).

Origen del maíz

Botánicamente, el grano o la semilla del maíz (*Zea mays* L.) es un fruto seco e indehiscente denominado cariópside, en el cual el embrión está adherido a todos los componentes del óvulo desarrollado (escutelo, al endospermo, capa de aleurona y pericarpio) (figura 1). El maíz probablemente se empezó a cultivar hace unos 7 mil años. Sus restos más antiguos son unas pequeñas mazorcas que datan del año 3600 a. C., encontradas en cuevas de la región árida de Tehuacán, Puebla, México. Se considera que el maíz proviene del teocintle (*Zea mays* sp. *Mexicana* L.) que crece de manera silvestre en la Mesa Central de México (Wilkes, 1977).

Figura 1. Grano de maíz y sus componentes morfológicos



Fuente: elaboración propia.

Vavilov (1951) menciona que en México se encuentra la mayor riqueza en diversidad genética de esta planta, por lo cual se le considera su centro de origen y de diversidad biológica. El maíz es el cereal básico en la alimentación de los mexicanos, por su volumen de producción ocupa el tercer lugar mundial, siendo superado por arroz y trigo. El maíz posee una gran diversidad genética, la cual se refleja en sus múltiples variantes morfológicas de la planta, mazorca y grano, su amplia adaptación a gran número de ambientes, etcétera y además, por sus diversos usos como alimento humano o animal, así como por la gran variedad de productos que se obtienen de esta especie.

Importancia del maíz

Valdés (2006), menciona que los cereales se han cultivado en varias partes del mundo desde hace miles de años y han sido fundamentales para el desarrollo de diferentes civilizaciones ya que en diversas regiones del mundo crecieron y se domesticaron especies como arroz y soya en Asia, trigo y chícharo en Europa, sorgo y mijo en África, y maíz y frijol en América; plantas que son la base de la alimentación mundial. En México el maíz consumido directamente suministra más de la mitad de las calorías y una tercera parte de las proteínas consumidas por la población, sobre todo en las zonas rurales (Delgado, 2003). Durante el 2005 el consumo *per cápita* de maíz en México fue de 330.12 g/d, lo que significa un aporte diario de 1021.9 cal, 26.3 g de proteínas y 11.3 g de grasa vegetal (FAOSTAT, 2007). El maíz representa el cultivo alimenticio más importante de México y los agricultores que cultivan variedades locales o criollas de forma tradicional contribuyen a la conservación y a la generación de su diversidad genética *in situ* (Bommer, 1991). De esta manera los productores tradicionales contribuyen al mantenimiento de las variedades locales al reproducirlas seleccionando deliberadamente las mejores semillas, aprovechando las diferentes variaciones ocurridas de manera natural (Hernández, 1972; Dobzhansky, 1982).

Regiones de cultivo de maíz azul

El maíz azul es una variedad pigmentada de *Zea mays* L., cultivado en América Latina, principalmente en Perú y Bolivia, donde se utiliza en la elaboración de bebidas "chicha morada", mazamorras y otros alimentos (Escribano-Bailón *et al.*, 2004). En los Valles Altos Centrales de México se cultivan alrededor de 1.5 millones de ha de maíz, de las cuales el 85% son siembras de temporal o secano. Aproximadamente el

35% de los productores de maíz en temporal destinan una porción de la superficie disponible a la siembra de maíz con diferente color de endospermo (azul principalmente). Se estima una cosecha anual de 300 mil ton de granos con endospermo pigmentado, siendo los principales estados productores de maíz azul: Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo (Antonio *et al.*, 2004). En la región centro oriente de Puebla, la comercialización favorable de maíz azul indujo a un crecimiento en la superficie sembrada, que llegó a ser de 2500 ha en el año 2000, lo que equivale a 3.3% del área sembrada con maíz en la región, donde se estimó que es factible obtener de manera comercial un rendimiento de 5 ton/ha con variedades criollas de maíz azul con una relación beneficio/costo de 2.24, mientras que con maíz blanco la relación es de 1.57 (SAGARPA, 2001). En el valle de Ayapango en el Estado de México, los agricultores de la región siembran maíz azul y le dedican la tercera parte de su área cultivada con maíz, lo cual se considera una proporción alta que es justificada por la demanda de alimentos elaborados con maíz azul que se establece por la afluencia de turistas de la ciudad de México a la región (Arellano *et al.*, 2003).

Propiedades del maíz azul

Los colores negros, morados y rojos que se observan en el endospermo del maíz, son causados por antocianinas, pigmentos presentes en la capa de aleurona y/o en el pericarpio (Wellhausen *et al.*, 1951; Salinas *et al.*, 1999). Precisamente la capa de aleurona del grano de maíz azul contiene a la antocianina azul, el cual le confiere su color característico (Beltrán *et al.*, 2001). Las antocianinas se derivan de la cianidina y pelargonidina y son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides (Harborne y Gavazzi, 1996). Su fórmula básica está conformada por dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbonos (Gross, 1987). Las antocianinas son compuestos cromóforos solubles en agua y poseen propiedades químicas relacionadas con la reducción de colesterol y triglicéridos del torrente sanguíneo humano, por lo que se recomienda su ingesta para reducir afecciones cardiacas. De las antocianinas del maíz azul, también se obtienen pigmentos naturales útiles, como biocolorantes de vinos, mermeladas y jugos de fruta (Maltros *et al.*, 1999). Los flavonoides presentes en el maíz azul tienen además un valor funcional como antioxidantes. El grano azul con endospermo harinoso posee mayor valor alimenticio debido a que su contenido de minerales es más alto que el de otras variedades; además, se han detectado altos contenidos de lisina en el maíz azul (2.3 mg/g de grano seco) respecto a dos variedades comerciales de maíz amarillo (1.4 mg/g) y blanco (1.6 mg/g) empleados para hacer tortillas (Dickerson, 1990). Así, los maíces azules son una fuente más

completa de proteínas que los maíces blanco y amarillo (Dickerson, 2003). Pero las características más acentuadas del maíz azul son el atractivo color del grano, su sabor diferente (Antonio *et al.*, 2004) y un mayor valor comercial, cualidades por las que ha permeado en los mercados con mucho éxito. En la planta del maíz, las antocianinas están presentes en diferentes estructuras, que abarcan desde tallo, vainas, hojas e inflorescencias; en la mazorca se pueden encontrar en las brácteas, el raquis y desde luego el grano. Las antocianinas del grano de maíz se concentran en el pericarpio, capa de aleurona o en ambas estructuras. De acuerdo a esta localización se pueden determinar los diferentes usos del grano. Cuando se presenta una cantidad elevada de antocianinas en el pericarpio y en la capa de aleurona, los maíces tienen potencial para la extracción de pigmentos; esta condición la cumplen los maíces de color guinda o rojo intenso. Si el pigmento se localiza en la capa de aleurona son adecuados para elaborar productos nixtamalizados. Los maíces con estas características son de color morado, azul o negro. Los granos con pigmento en el pericarpio no son adecuados para la nixtamalización porque con las condiciones de pH alcalino y temperatura elevada que caracterizan este proceso, las antocianinas son degradadas (Brouillard, 1982), y adquieren un color café pardo, que se hereda a la masa y productos elaborados con ella (Salinas *et al.*, 1999; Salinas *et al.*, 2003).

Importancia de las variedades criollas de maíz azul

Márquez (1988), refiere que la formación de variedades mejoradas de plantas se fundamenta en la disponibilidad y aprovechamiento de la diversidad genética, en los criterios de selección de las fuentes de germoplasma y en el conocimiento y aplicación correcta de las metodologías de mejoramiento. Los recursos fitogenéticos son todas las combinaciones de genes resultantes de la evolución de una especie (Hidalgo, 1991) y constituyen la diversidad genética disponible para el mejoramiento de los cultivos (Padilla *et al.*, 2002). Entre estos recursos están los parientes silvestres de las especies cultivadas actualmente, los cuales a pesar de que hay evidencia de su contribución en la disminución de la vulnerabilidad genética y de que son fuente importante de genes para las especies modernas, han sido lo suficientemente estudiados y aprovechados en la formación de variedades mejoradas (Tanksley y McCouch, 1997). Debido a que en México se encuentra la mayor riqueza de diversidad genética del maíz, Ortega *et al.* (1991), menciona que la conservación, estudio y uso de esta diversidad debe ser de interés científico y económico; científico porque es necesario documentar la variación morfológica y genética, y económico porque en México el cultivo de maíces nativos es predominante aún y, puesto que los recursos fitogenéti-

cos son la materia prima para la obtención de variedades altamente productivas, su empleo adecuado podría contribuir a cubrir la creciente necesidad de alimentos en el país. Hernández y Esquivel (2004), refieren a que la colecta y estudio de las maíces criollos mexicanos han sido motivados por diversas causas, entre las principales están el contar con fuentes de germoplasma para mejoramiento genético, conocer a la agricultura mexicana de autoconsumo, y a sus cultivares en diferentes regiones del país, así como realizar estudios biológicos básicos para conocer el proceso de evolución del maíz, bajo condiciones de domesticación.

Usos tradicionales del maíz azul

Desde épocas remotas el agricultor ha seleccionado los tipos de maíz de acuerdo con sus preferencias y necesidades alimentarias y con las características ambientales de su área de cultivo; de este modo, al maíz azul lo relaciona con la precocidad y lo utiliza para la elaboración de atole, tortillas y "tesgüino" (bebida alcohólica obtenida a través de fermentación del grano, de elaboración casera) (Hernández, 1981). Para preparar comida, harina y otros productos, se machaca el maíz azul con un molino. Los granos enteros esencialmente se utilizan para elaborar diversos alimentos, mientras que la harina se mezcla con agua hirviente para formar una goma fina, que se separa en una plancha caliente para hacer tortillas (Hallauer, 2001).

El atole de maíz azul se hace de masa cocida y en algunos casos se realiza con harina de grano seco. Los aztecas y mayas agregaron otros ingredientes para mejorar el sabor, el gusto y la textura del producto; cada atole tenía un nombre, según sus ingredientes. El pinole es una mezcla de maíz azul tostado y molido con canela, azúcar, miel y otros ingredientes; se consume directamente o se mezcla con agua o leche para ser bebido; para pinole también se usan granos blancos y amarillos (Dickerson, 1990). El maíz azul es usado a nivel casero como biocolorante natural para la "mazamorra morada" y la "chicha". A nivel industrial se usa para obtener biocolorante de la mazorca, debido a su contenido de antocianinas. Dicho pigmento es usado a nivel industrial como insumo para la coloración de bebidas, productos lácteos, productos de panadería, productos vegetales, conservas de pescado, grasas, aceites, mermeladas, jaleas, frutas confitadas, frutas en almíbar, jarabes de frutas, sopas, almíbar; también se usa para teñir tejidos y en la industria de cosméticos. El grano se puede aprovechar para la extracción de almidones y/o derivados o en la elaboración de alimentos balanceados para animales. El polvo de maíz azul es el producto de la molienda del maíz azul; tiene un fino tamaño de partícula que es en gramos para el tema comercial y alto contenido de antocianina.

Generalmente se envasa en bolsas de polietileno de baja densidad. La antocianina proveniente del maíz azul es un tipo de flavonoide complejo. Es un pigmento procesado y purificado que se obtiene de los granos, del polvillo y principalmente de la mazorca (Risco, 2007).

Biocolorantes alimenticios

Los consumidores predeterminan sus expectativas de sabor y gusto, por el color de los productos alimenticios. La industria alimenticia ha usado colorantes por siglos para incrementar o restaurar la apariencia de los alimentos o para garantizar uniformidad como un indicador de calidad alimenticia (Giusti y Wrolstad, 2003). Por lo tanto, el color es el principal objetivo para la industria alimenticia y el tecnólogo intentará lo más posible, retener la apariencia natural de los materiales frescos sin procesar. Sin embargo, durante el procesamiento y almacenamiento, el color de los alimentos puede ser alterado a través de la acción de la luz, temperatura, oxígeno, iones metálicos y enzimas endógenas.

En adición, el color de frutas y vegetales variarán durante las temporadas de cosecha dependiendo de sus variables intra e inter específicas y las condiciones del suelo en el sitio de cultivo y tratamientos post-cosecha (Stintzing y Carle, 2004). Actualmente, la mayoría de los consumidores son conscientes de su salud y empiezan a tomar con más cuidado lo que ellos consumen y como un resultado, los colorantes sintéticos están siendo rechazados por los consumidores. La aceptación de alternativas naturales, o derivados naturales tales, como componentes ricos en antocianinas, es promovida debido a sus incrementos en beneficio a la salud. Extensa investigación sobre los beneficios a la salud de las antocianinas ha llamado la atención para su uso en alimentos funcionales y como biocolorantes alimenticios naturales. Por ejemplo, el maíz azul ha sido usado como un colorante desde 1977 (Sugiyama Chemical Institute, 1977) y el arroz rojo es usado como colorante en pan, helado y licor (Yoshinaga, 1986).

Antocianinas

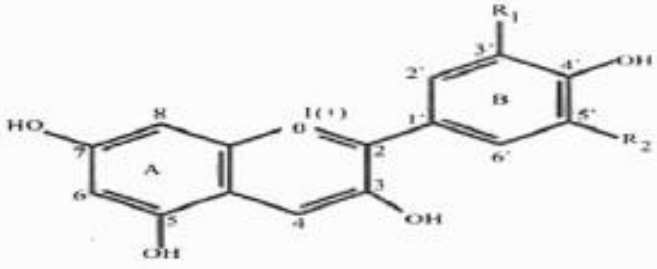
Las antocianinas representan los principales pigmentos solubles en agua visibles al ojo humano. Pertenecen al grupo de los flavonoides y su estructura básica es un núcleo de flavón, el cual consta de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos (figura 2). El nivel de hidroxilación y metilación en el anillo "B" de la

molécula determina el tipo de antocianidina, que es la aglicona de la antocianina. Aunque se han descrito 12 diferentes antocianidinas, las más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delfinidina, peonidina, petunidina y malvidina. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, en tanto que el resto lo son en flores. En las plantas las antocianidinas no se acumulan como tal, sino en su forma glucosilada; esto es, unidas a algún azúcar y en cuyo caso se denominan antocianinas. El azúcar presente en la molécula les confiere una gran solubilidad y estabilidad. Generalmente se une a la antocianidina en la posición 3 del grupo fenólico, pero puede también hacerlo en las posiciones 5 y 7.

Con base al número de azúcares presentes en su estructura, las antocianinas se clasifican en: monoglucósidos (un azúcar), diglucósidos (dos azúcares) y triglucósidos (tres azúcares). Los tipos de azúcares presentes pueden ser: monosacáridos, disacáridos o trisacáridos. Los monosacáridos más comunes son: pentosas como arabinosa y xilosa, o bien hexosas, de las cuales la D-glucosa es la más frecuente, aunque también pueden estar presentes galactosa o ramnosa. Los disacáridos más frecuentes son gentobiosa, soforosa, sambubiosa y rutinosa.

Los trisacáridos reportados pueden ser lineales como la gentotriosa, o bien ramificados como xilosilrutinosa o glucosilrutinosa (Strack y Wray, 1989). En algunos casos, los azúcares están acilados con grupos derivados del ácido acético o alguno de los cuatro ácidos cinámicos (p-cumárico, caféico, ferúlico o sinápico). Se ha observado que la presencia de estos grupos acilo en la molécula de antocianidina le confiere estabilidad ante condiciones extremas de pH y temperatura. Cuando en la molécula de antocianina se encuentran únicamente azúcares, se denominan no aciladas; si además de los azúcares están presentes uno o varios radicales acilo, se catalogan como aciladas (Salinas *et al.*, 2010).

Figura 2. Estructura y sustituyentes de las antocianinas



Aglicona	*Substitución*		*λ mas (nm)*
	R_1	R_2	espectro visible
Pelargonidina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul-rojo)
Peonidina	OCH_3	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH_3	H	508 (azul-rojo)
Malvodona	OCH_3	OCH_3	510((azul-rojo)

Fuente: Durst y Wrolstad (2001).

Antocianinas como biocolorantes alimenticios

La creciente preocupación por la toxicidad de los colorantes sintéticos usados en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos ha sido investigada por Hallagan y Lauro (1991), quienes reportaron que los colorantes rojo número 2 y número 40 se han prohibido en Austria, Japón, Noruega y Suecia, pero el rojo número 40 aún se encuentra en escrutinio en Estados Unidos. Al mismo tiempo, dichos hallazgos se relacionan con modificaciones en la hiperactividad de niños de edad escolar, lo cual puede considerarse un mal neuronal agudo (Breakey *et al.*, 2002; McCann *et al.*, 2007). Tales antecedentes son indicios suficientes para disminuir la demanda de colorantes artificiales a favor del consumo generalizado de biocolorantes naturales como las antocianinas (Huck y Wilkes, 1996; Birks, 1999; Ersus y Yurdagel, 2007; Olaya *et al.*, 2008; Wallace y Giusti, 2008).

Un buen estatus higiénico, una estabilidad alta en color, una pureza deseable con un sabor y gusto suave, son las características atractivas de una fuente de color alimenticio promisoria. También son valorados criterios adicionales tales como buena disponibilidad, bajo costo y cultivos con alto rendimiento cuyos pigmentos posean un mayor poder de pigmentación aceptable. Una de las desventajas principales de las antocianinas como biocolorantes alimenticios es su disminución en su poder de pigmentación en medios de baja acidez.

Sin embargo, investigaciones en el desarrollo de antocianinas contenidas en biocolorantes alimenticios han identificado la glucosilación y acilación para mejorar enormemente la estabilidad de las antocianinas a cambios de pH, tratamiento térmico y exposición a la luz. Algunas fuentes de biocolorantes de vegetales tales como rábano, camote morado, zanahoria negra, papa roja o col morada, han sido propuestas por

proveer un porcentaje más alto de antocianinas aciladas que las frutas, las cuales poseen un poder de pigmentación más alto de los extractos respectivos al pH del alimento (Stintzing y Carle, 2004). Por lo tanto, el uso de antocianinas aciladas con color mejorado y estabilidad al calor, luz y pH podrían seguir siendo una promesa para la incorporación de antocianinas como biocolorantes alimenticios naturales. Las fuentes más comunes de jugo de vegetales son el repollo morado, los rábanos y diferentes variedades de bayas (Wrolstad, 2004).

En la Unión Europea, Chile, Colombia, Irán, Israel, Corea del Sur, Malta, Perú, Arabia Saudita y los Emiratos árabes todos los biocolorantes derivados de las antocianinas son reconocidos como naturales (Ottersäater, 1999). Recientemente, se han hecho esfuerzos por buscar fuentes de biocolorantes naturales. Wallace y Giusti (2008), proponen la adición de bayas de *B. boliviana* enteras, deshidratadas, libres de semillas, ricas en antocianinas, para mantener las características similares a los yogur de arándano comerciales, coloreados sintéticamente con estabilidad mejorada para aplicaciones comerciales en la industria de los alimentos comparado a las betalaínas. Debido a la concentración alta inusual de antocianinas monoméricas en las bayas deshidratadas de *B. boliviana*, no fue necesaria la extracción industrial del pigmento para producir un brillo, estabilidad y color aceptable en sistemas de yogur. El color, el pigmento y la estabilidad fenólica obtenida en este estudio sugieren que estos colores de fuentes naturales pueden ser usados en todas las matrices del yogur.

Es posible producir productos lácteos atractivos, más nutricionales y saludables fortificados con compuestos fenólicos con antioxidantes de *B. boliviana*. También Menéndez (2008), propone a la flor de jamaica y de mortiño (*Vaccinium myrtillus* L.), que se pueden utilizar para extraer el biocolorante antociánico y poder utilizarlo con fines alimenticios (yogur). Rebolledo (2007), determinó el potencial de coloración en alimentos de un concentrado de jugo de cranberery (*Vaccinium macrocarpon*), obtenido por nanofiltración, donde concluye que el jugo nanofiltrado de cranberry concentrado por nanofiltración se puede utilizar como biocolorante en alimentos, teniendo en cuenta no someterlo a temperaturas mayores de 90 °C para prevenir la formación de sedimentos y la pérdida de antocianos.

De igual manera, Amr y Al-Tamimi (2007), investigaron la estabilidad de los extractos crudos de antocianinas de *Ranunculus asiaticus* y su uso como biocolorantes alimenticios, estos autores concluyen que, el extracto fue exitosamente usado en la coloración de yogur batido, bebida carbonatada fría y gelatina. Estos resultados indican que los extractos pueden ser usados como biocolorantes alimenticios especialmente en sistemas alimenticios desarrollados para almacenamiento a corto tiempo bajo condiciones ácidas y en aquellos en los cuales tienen baja actividad de agua y no reciben tratamientos térmicos rigurosos. Adicionalmente, Abdel-Aal *et al.* (2006), reportaron

que los granos de maíz coloreado tales como azul, rosa y morado tienen cantidades relativamente altas de antocianinas, especialmente el maíz morado (1277 µg/g), siendo prometedor para el desarrollo de alimentos funcionales y/o biocolorantes naturales. Esto señala que en el futuro, la producción y adición de antocianinas como biocolorantes alimenticios naturales se incrementarán rápidamente, con el desuso de los colorantes sintéticos (Horbowicz *et al.*, 2008). Las políticas regulatorias en cuanto al uso de biocolorantes derivados de las antocianinas varían de país a país (Ottersäater, 1999). Los países que tienen aprobación general para el uso de antocianinas como biocolorantes alimenticios son Chile, Colombia, Irán, Israel, Corea del Sur, Malta, Perú, Arabia Saudita y los Emiratos Árabes Unidos.

En la Unión Europea, todos los biocolorantes derivados de antocianinas son reconocidos como biocolorantes naturales bajo la clasificación de E 13. Estados Unidos es el país más restrictivo en cuanto al uso de las antocianinas como biocolorantes naturales. Allí, cuatro de los 26 colorantes que están exentos de certificación y aprobados para el uso en alimentos se derivan de la cáscara de la uva, del extracto de la uva, del jugo de vegetales y del jugo de frutas (Wrolstad, 2004). Actualmente, los rápidos avances en la tecnología de alimentos y análisis, han permitido la extracción eficiente, procesamiento e identificación de compuestos de antocianinas de varias frutas, vegetales y granos para ser incorporados rápidamente a la industria de alimentos y bebidas como biocolorantes naturales, alimentos funcionales y suplementos alimenticios (Shipp y Abdel-Aal, 2010).

Conclusiones

Los agricultores que cultivan maíz (*Zea mays* L.) en México, contribuyen a la conservación y generación de la diversidad genética *in situ* de esta importante especie. Es necesario desarrollar nuevos productos a partir de los maíces de grano azul, en los cuales se aprovechen las propiedades de las antocianinas. Dentro de estas propiedades, algunas están probadas, pero otras es necesario descubrirlas mediante estudios orientados a este propósito.

La funcionalidad de los biocolorantes derivados de antocianinas puede ser mejorada cuando son altamente purificados y de esa manera facilitar la aprobación de las normas regulatorias. Las ventajas podrían ser: mayor poder de pigmentación, reducción de malos olores, mayor uniformidad e incrementar la estabilidad. Estos pigmentos representan un potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos y para la obtención de productos con valor agregado dirigidos al consumo humano. Incrementando el uso

de biocolorantes de antocianinas aumentaría el consumo en la dieta con la posibilidad de proveer beneficios a la salud.

Sobre los autores

Miguel Aguilera Ortiz,[1] María del Carmen Reza Vargas, Patricia Ramírez Baca. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Artículo 123 s/n, Fraccionamiento Filadelfia. 35010. Gómez Palacio, Durango, México, correo electrónico maguilerao@hotmail.com

Referencias

Abdel-Aal E. S., C. Young and I. Rabalski (2006), "Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains", *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp. 4696-4704.

Amr, A. and E. Al-Tamimi (2007), "Stability of the extracts of *Ranunculus asiaticus* anthocyanins and their use as food colourants", *International Journal of Food Science and Technology*, 42, pp. 985-991.

Antonio M. M., v. L. Arellano, S. G. García, C. S. Mirada, C. J. A. Mejía and C. F. González (2004), "Variedades Criollas de Maíz Azul Raza Chalqueño. Carcaterísticas Agronómicas y Calidad de Semillas", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(1), pp. 9-15.

Arellano v. J. L., C. C. Tut, R. A. María, M. Y. Salinas and G. O. R. Taboada (2003), "Maíz azul de los valles altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 26(2), pp. 101-107.

Beltrán F. J., A. J. Bockholt and L. Rooney (2001), *Blue Corn. In: Specialty Corns*, A. R. Hallauer (ed). Iowa State University. Ames Iowa, USA. pp. 293-337.

Bergvinson D. J., A. Ramírez, D. Flores and S. García-Lara (2007), "Mejoramiento de Maíces Criollos por Integración de Alelos", *Impulso a la Producción de Maíz en el Estado de México*, México, D. F. CIMMYT, 5(2), pp. 24-26.

Birks, S. (1999), "The potential of carrots", *Food-Manufactured*, 47(4), pp. 22-23.

Block G., B. Patterson and A. Subar (1992), "Fruit vegetables and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence", *Nutrition and Cancer*, 18, pp. 1-29.

Bommer D. F. R. (1991), "The Historical development of International Collaboration in Plant Genetic Resources" en J. L. Th., L. van Hintun, Frese and P. M. Peerer (eds)., Symposium. International Board for Plant Genetic Resources, Searching

for new concepts for collaborative Genetic Resources Management: Papers of the EUCARPIA/IBPGR pp. 3-12.

Breakey, J., C. Reilly and H. Connell (2002), "The role of food additives and chemicals in behavioral, learning, activity and sleep problems in children", en Branen AL, Davison PM, Salminen S, Thorngate III JH, editors. *Food additives*. New York, Marcel Dekker Inc. pp. 87-88.

Brouillard R. (1982), "Chemical Structure of Anthocyanins", *Anthocyanins as Food Colors*. (P. Markakis) ed. Academic Press. pp. 1-38.

Cuevas M. E., A. Antezana and P. Winterhalter (2008), "Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano", *Memorias Red-Alfa Lagrotech Comunidad Europea*, Cartagena, Colombia.

Delgado G. C. (2003), "Energia, sistema alimentario moderno y salud", *El Cotoblepas*. 19, 15, disponible en http://www.nodulo.org/ec/index.htm.

Dickerson G. W. (1990), *Blue Corn Production and Marketing in New Mexico*, Co-op Ext. Serv. Guide H-226. p 294.

Dickerson G. W. (2003), *Nutritional Analysis of New Mexico Blue Corn and Dent Corn Kernels*, Co-op Ext. Serv. Guide H-233. p 1-2.

Dobzhansky T. (1982), *Genetics and the Origin of Species. The Columbia Classic in Evolution*, Columbia University Press. Series, New York, p. 364.

Durst, R. and R. E. Wrolstad (2001), "Separation and characterization of anthocyanins by HPLC", *Handbook of Food Analytical Chemistry*, New Jersey, John Wiley & Sons, pp. 33-45.

Ersus, S. and U. Yurdagel (2007), "Microencapsulation of anthocyanins pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier", *Journal Food Engeenering*, 80, pp. 805-812.

Escribano-Bailón M. T., Santos B. C. & Rivas-Gonzalo J. C. (2004). Anthocyanins in cereals. *Journal Cromatography Analysis*, 1054, 129-141.

Giusti M. M. and R. E. Wrolstad (2003), "Acylated Anthocyanins from Edible Sources and their Applications in Food Systems", *Biochemistry and Engineering Journal*, 14, pp. 217-225.

Goodman M. M., W. L. Brown, G. F. Sprague and J. W. Dudley (1988), *Corn and corn improvement*, eds Sprague G. F., Dudley J. W., American Society of Agronomy/Crop Science Society of American/Soil Science Society of American, Madison, WI, pp 33-79.

Gomes H. J. (1999), "Métodos de Control de Acidez en Yogur", tesis de Licenciatura. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo.

Gross J. (1987), *Pigments in Fruits*, Academic Press. NY. pp:59-63.

Hallagan, J. B. (1991), "The use of certified food color additives in the United States", *Cereal Food World*, 36, pp. 945-948.

Hallauer A. R. (2001), *Speciality corns*, A. R. Hallauer (ed.) Iowa State University. Ames Iowa, USA. S. edition, p. 296.

Harborne J. B. and G. Gavazzi (1996), "Effect of Pr and pr Alleles on Anthocyanins biosynthesis in *Zea Mays*", *Phytochemistry* 8, pp. 999-1001.

Hernández X. E. (1972), "Exploración etnobotánica en Maíz", *Fitotecnia Latinoamericana*, 8, pp. 46-51.

Hernández X. E. (1981), "Maize and man in the Great Southwest", *Economic Botany*, 39(4), pp. 416-430.

Hernández X. E. (1985), "Maize and man in the great Southwest", *Economic Botany*, 39(4), pp. 416-430.

Hernández C. J. M., and E. G. Esquivel (2004), "Rendimiento de Grano y Características Agronómicas en Germoplasma de Maíz de Valles Altos de México", *Revista Fitotecnia Mexicana*, pp. 27-31.

Hidalgo R. (1991), "Conservación ex situ" en R. Castillo, J. Estrella, C. Tapia (eds), *Técnicas para el Manejo y Uso de los Recursos Genéticos Vegetales*, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador, pp:71-87.

Horbowicz M., R. Kosson, Grzesiuk and H. Debski (2008), "Anthocyanins of Fruits and Vegetables-their Occurrence, Analysis and Role in Human Nutrition", *Vegetal Crops Research Bulletin*, 68, pp. 5-22.

Huck, P. and M. C. Wilkes (1996), "Beverage natural colors: chemistry and application", International Congress and Symposium on Natural Colorants, Puerto de Acapulco. Abstracts. México, Asociación Mexicana de Especialistas en Colorantes y Pigmentos Naturales, A. C. p. 11.

Kong J. M., L. S. Chia, N. K. Goh, T. F. Chia and R. Brouillard (2003), "Analysis and biological activities of anthocyanins", *Phytochemistry*, 64, pp. 923-933.

Lauro, G. J. (1991), "A primer on natural colors", *Journal of American Association Cereal Chemistry*, 36(11), pp. 949-953.

Maltros R. H., G. J. L. Ibave, E. P. Bustillos and G. R. I. Díaz de la (1999), "Industrialización del Maíz como Fuente de Pigmentos para la Industria alimentaria y Farmacéutica y de Cosméticos" en J. Espinoza, Del Bosque, C. J. (eds), *Memoria Segundo Taller Nacional de Especialidades de Maíz*, Saltillo Coahuila, México, 9 y 10 de septiembre, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, pp. 35-37.

McCann, D., A. Barret, A. Cooper, D. Crumpler, L. Dalen and K. Grimshaw (2007), "Food additives and hyperactive behavior in 3-year-old and 8/9-year-old children

in the community: a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial", *Lancet*, 370(9598), pp. 1560-1567.

Marquéz S. F. (1988), *Genotecnia Vegetal: Métodos Teoría Resultados*, tomo II. AGT, pp. 360-479.

Menéndez, G. W. v. (2008), "Obtención de colorante para su uso en yogur a partir de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y del mortiño (*Vaccinium myttillus* L.)", tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica del Litoral, p. 61.

Olaya, C. M., M. P. Castaño and G. A. Garzón (2008), *Effect of temperature and water activity on the satability of microencapsulated anthocyanins extracted from andes berry (Rubus glaucus) and tamarillo (Solanum betaceum)*, Observations not published.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAOSTAT (2007), "Central de Datos Estadísticos de Consumo" disponible en http://faostat.fao.org/site/345/default.aspx.

Ortega P. R., J. J. Sánchez, G. F. Castillo, H. v. González and C. J. M. Hernández (1991), "Estado actual de los estudios sobre maíces nativos de México", *Avance en el estudio de los recursos fitogenéticos de México*, Sociedad Mexicana de Citogenética, A. C. pp: 16-185.

Ottersäater, G. (1999), *Coloring of food, drugs and cosmetics*, New York, Marcel Dekker, Inc.

Padilla G. J. M., G. J. J. Sánchez, D. J. L. Ramírez, S. J. F. Casa, P. J. Ron, B. M. Chuela and S. M. Aguilar (2002), "Medias y Varianzas en Variedades Sintéticas de Maíz con Diferentes Fuentes de Germoplasma de Teocintle", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25(4), pp. 401-409.

Popol Vuh (1975), *Antiguas Historias de los Indios Quiches de Guatemala. Advertencia, versión y vocabulario de Alberto Sarabia E.*, Porrúa, Sepan cuántos núm. 36, México, p. 104.

Rebolledo, O. F. P. (2007),"Determinación del potencial de coloración en alimentos de un concentrado de jugo de cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) obtenido por nanofiltración", tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile, p. 57.

Risco M. M. (2007), *Conociendo la cadena productiva del maíz morado en Ayacucho*, Solid Perú, p. 23.

Sahagún F. B. (1975), "Historia General de las Cosas de la Nueva España", Porrúa México, D. F., p. 135.

Salazar S. E., M. J. López, E. H. I. Trejo, v. C. Vázquez, H. M. Fortis, T. R. Zúñiga, S. J. Vital and A. P. Mexica (2007), *Aplicación al Suelo de Estiércol Bovino con*

y sin Solarizar y su impacto en Maíz Forrajero. Uso y Aprovechamiento de Abonos Orgánicos e inocuidad, pp:82-113.

Salinas M. Y., H. M. Soto, B. F. Martínez, H. V. González and P. R. Ortega (1999), "Análisis de Antocianinas en Maíces de Grano Azul y Rojo Provenientes de Cuatro Razas", *Revista Fitotecnia Mexicana*, 22, pp. 161-167.

Salinas-Moreno Y., F. Martínez-Bustos, M. Soto-Hernández, M. Ortega-Paczka and J. L. Arellano-Vázquez (2003), "Efecto de la Nixtamalización sobre las Antocianinas del Grano de Maíces Pigmentados", *Agrociencia*, 37, pp. 617-628.

Salinas M. Y., R. J. Soria and T. E. Espinosa (2010), "Aprovechamiento y Distribución de Maíz Azul en el Estado de México", disponible en www.sagarpa.gob.mx.

Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. SAGARPA (2001), *Producción de maíces criollos de color en la región centro oriente del estado de Puebla*, Puebla, PUE. p. 18.

Shipp, J. and M. E. Abdel-Aal (2010), "Food applications and physiological effects of anthocyanins as Functional Food Ingredients", *The Open Food Science Journal*, 4, pp. 7-22.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2011), "Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012", Sistema de Información Agroalimentaria y Pecuaria, disponible en http://www.siap.gob.mx.

Stintzing, F. C. and R. Carle (2004), "Functional Properties of Anthocyanins and Betalains in Plants, Food and in Human Nutrition", *Trends Food Science Technology*, 15, pp. 19-38.

Strack D. and V. Wray (1989), "Anthocyanins" en H. B. Harbone (ed.), *Methods in Plant Biochemistry*, vol. I, Plant Phenolics, Academic Press, pp. 325-356.

Sugiyama Chemical Institute (1977), *Anthocyanin Food Coluoring Agent from Purple Corn*, Japanese Patent, 77130824.

Tanksley S. D. and S. R. McCouch (1997), "Seed Banks and Molecular Maps: Unlocking Genetic Potential from the Wild", *Science*, 377(2), pp. 1063-1066.

Valdés N. (2006), " Embriogénesis de Semillas Artificiales de Maíz", tesis de Licenciatura, UPIBI-IPN, México.

Vavilov N. I. (1951), *The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. Translated from the Russian by K Star Chester*, The Roland Press Co. New York, p. 94.

Wallace, T. C. and M. M. Giusti (2008), "Determination of color, pigment and phenolic stability in yogur systems colored with nonacylated anthocyanins from

Berberis boliviana L. as compared to other natural/synthetic colorants", *Journal of Food Science*, 73, pp. 241-248.

Wellhausen E. J., L. M. Roberts, X. E. Hernández and P. C. Mangelsdosrf (1951), "Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. In. *Xolocotzia*. Obras de Efraín Hernández Xolocotzi", *Revista de Geografía Agrícola*, tomo II, Universidad Autónoma Chapingo.

Wilkes H. G. (1977), "Hybridization of maize and teosinte, in Mexico and Guatemala and the Improvement of maize", *Economic Botany*, 31, pp. 254-293.

Wrolstad, R. E. (2004), "Anthocyanin pigments-bioactivity and coloring properties", *Journal of Food Science*, 69(5), pp. 419-421.

Yoshinaga K. (1986), "Liquor with Pigments of Red Rice", *Journal Brewer Society of Japan*, 81, pp. 337-342.

Biopolímeros utilizados en recubrimientos y películas comestibles: tendencias recientes

Carolina Hernández Lozano, Laura Eugenia Pérez Cabrera, Alberto Tecante, Coronel María Magdalena Ramírez Gómez

Resumen

Los recubrimientos comestibles (RC) y películas comestibles (PC) han sido una innovación dentro del concepto de envase activo biodegradable, ya que al interactuar, con los alimentos pueden extender su vida útil, mejorar su calidad microbiológica o mantener su inocuidad, así como mantener sus propiedades sensoriales o funcionales. El uso de RC y PC a base de biopolímeros ha tomado auge en la industria de alimentos, debido entre otros, a que son biodegradables y por ello podrían contribuir a disminuir la contaminación ambiental, a su potencial para evitar la alteración de los alimentos y la posibilidad de generar nuevos mercados para productos derivados de fuentes naturales renovables.

La elaboración de RC y PC con subproductos de desecho de la industria de alimentos ofrece la oportunidad de disminuir los desperdicios, al convertirlos en materia prima para su elaboración. Los retos técnicos involucrados en la elaboración de RC y PC incluyen la selección del tipo y concentración de los materiales usados para la formulación, las técnicas de preparación, la duración y la adherencia, entre otras. Por lo tanto, se requieren de estudios básicos para diseñar las propiedades funcionales de PC para aplicaciones específicas. Las PC y RC han demostrado ser efectivos en la conservación de muchos alimentos, especialmente en frutas y hortalizas para mantener su apariencia fresca, su firmeza, el brillo, para de esta forma aumentar la calidad del producto y su valor comercial. Por lo anterior, su estudio y divulgación

son un tópico de importancia en la ciencia y la tecnología de la conservación de productos hortofrutícolas, ya que son evidentes sus efectos benéficos para disminuir las pérdidas poscosecha, disminuir el consumo de polímeros sintéticos, desarrollar nuevos e innovadores biomateriales, productos frescos y mínimamente procesados.

Palabras clave: películas y recubrimientos comestibles, quitosano, mucílagos.

Introducción

En la literatura se han presentado artículos y libros en los que se recopilan datos sobre biopolímeros, definidos como materiales que se obtienen de fuentes renovables y que son biodegradables (Petersen *et al.*, 1999; Guilbert *et al.*, 1996; Krochta y Mulder-Johnston, 1996). Si se los compara con los plásticos convencionales derivados de aceites minerales, i. e. polímeros petroquímicos, en general los biopolímeros presentan mayor diversidad química. A nivel mundial se han destinado considerables recursos a la investigación, desarrollo y estudios a escala piloto de estos materiales, pero el uso es limitado, así lo refleja el gran número de publicaciones dedicadas a películas y recubrimientos biodegradables comparados con el escaso número de patentes producidas por la industria.

Las investigaciones y el desarrollo de biopolímeros se han intensificado en la última década. Si bien no se aplican debido al mayor costo con respecto a los envases plásticos convencionales derivados del petróleo y no biodegradables, se señala su potencial en diferentes aplicaciones, carnes frescas, (Krochta y Mulder-Johnston, 1996), lácteos (Van der Walle *et al.*, 2000), bebidas, frutas y hortalizas (Haugaard y Festersen, 2000), productos deshidratados y congelados. El objetivo de este capítulo es hacer una síntesis de diferentes investigaciones y de las tendencias recientes en el estudio y desarrollo de PC y RC, con énfasis en las aplicaciones a la cadena hortofrutícola y su efecto sobre productos frescos y mínimamente procesados. Asimismo, proporcionar información actualizada acerca de nuevos biopolímeros usados para desarrollar nuevas películas y recubrimientos comestibles.

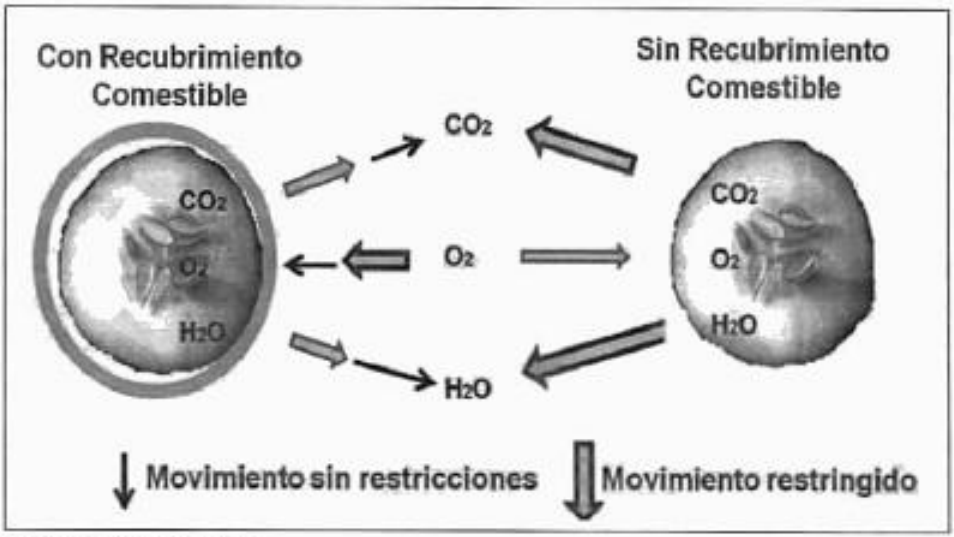
Recubrimientos y películas comestibles

Guilbert (1986), definió un recubrimiento comestible (RC) como una matriz continua, delgada, hecha de material que puede ser ingerido por el consumidor y proveer una barrera a la humedad, oxígeno y solutos. Posteriormente, Martín-Polo *et al.* (1992), definieron a los RC como capas delgadas de materiales, los cuales pueden ser

ingeridos por el consumidor, que proveen una barrera al transporte de masa en o a través del alimento fresco o procesado. Carrasco *et al.* (2002), manejaron un concepto que fusiona las dos definiciones anteriores: los RC son capas delgadas de un biopolímero, proteína o polisacárido como una solución hidrocoloide, o como una emulsión con lípidos, que son aplicadas sobre la superficie de un alimento en adición o reemplazo de la corteza natural, y que se comportan principalmente como barreras que reducen la difusión de gases como O_2, CO_2, y vapor de agua, permitiendo extender la vida útil del alimento (figura 1).

Según Kester y Fennema (1986), los RC tienen la función de retardar la migración de humedad, controlar el transporte de gases: O_2, CO_2 y etileno, retener componentes volátiles, servir de vehículo de aditivos, mejorar las propiedades mecánicas y de manejo del alimento, además de impartir una mayor integridad a la estructura del mismo. Ramos-García *et al.* (2010), incorporaron a las definiciones anteriores el que el RC se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento, el material puede cubrir completamente el alimento o puede colocarse entre los componentes del producto, es decir cuando una emulsión/dispersión es aplicada sobre un producto, formándose un recubrimiento superficial al secarse, se utiliza el término recubrimiento.

Figura 1. Control del movimiento-transporte de gases de un RC o PC



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que se estructura aisladamente como una fina película y posteriormente es utilizada en forma de recubrimiento del alimento o está ubicada entre los componentes del mismo. Dichas soluciones formadoras de PC o RC pueden estar formadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteínica, lipídica o por una mezcla de ambos (McHugh y Krochta, 1994). Al igual que los RC, las PC poseen propiedades mecánicas, forman una barrera frente al transporte de gases, y pueden adquirir diversas propiedades funcionales dependiendo de las características de las sustancias encapsuladas y formadoras de dichas matrices (Vásconez *et al.*, 2009). Diferentes estudios reconocen la importancia de evaluar las matrices que se estructuran (RC) y las preformadas (PC), con la tarea de cuantificar diversos parámetros como propiedades mecánicas, ópticas y antimicrobianas, a fin de determinar las posibilidades de su aplicación como nuevo empaque, ya que crean una atmósfera modificada que restringe la transferencia de gases (O_2, CO_2) y se convierten en una barrera para la transferencia de compuestos aromáticos (Miller y Krochta, 1997).

Películas y recubrimientos comestibles, su papel como envases activos

El interés en reemplazar a los polímeros sintéticos ha aumentado considerablemente debido a la necesidad de disminuir la contaminación del ambiente. El uso de RC y PC hoy en día viene aunado a la intención de mantener los alimentos en mejores condiciones para la aceptación del consumidor y a disminuir la contaminación ambiental evitando el uso de materiales no biodegradables. El uso de un RC y/o PC en aplicaciones alimentarias y en especial en productos altamente perecederos, como aquellos que pertenecen a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, impartir integridad mecánica y facilitar la manipulación de los alimentos (tensión y flexibilidad), conservar las propiedades ópticas (brillo y opacidad), proporcionar un efecto de barrera frente al flujo de gases (O_2, CO_2 y aromas), poseer resistencia estructural al agua (inhibir la migración de humedad), a microorganismos, mejorar su aceptación sensorial y además servir como transporte de antioxidantes, antimicrobianos y sabores. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se preforman las

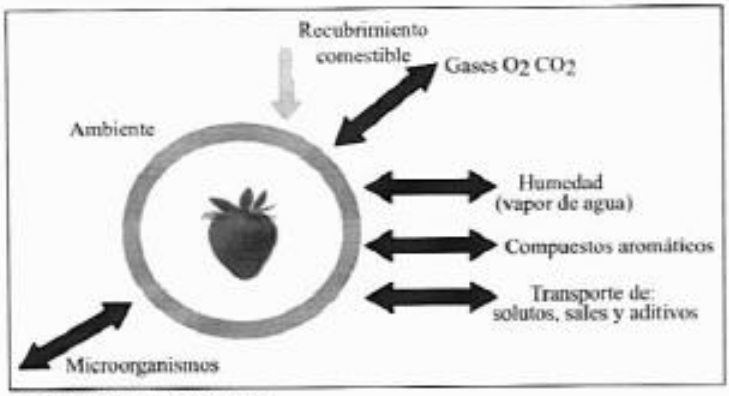
películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos (plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes y emulsionantes, principalmente) (Rojas-Graü *et al.*, 2009b).

La aplicación de RC y PC protectores que tienen el objetivo de prolongar la vida de anaquel de los alimentos no es nueva. Durante los siglos XII y XIII en China se practicaba la inmersión de las naranjas y limones en cera, lo que retardaba la pérdida de humedad. En Inglaterra durante el siglo XVI se aplicaron recubrimientos de manteca a productos que contenían grasas para disminuir la velocidad de pérdida de humedad en los productos (Labuza y Contreras-Medellin, 1981). La conservación de carnes y otros productos con recubrimientos hechos a base de películas de gelatina fueron propuestos por Havard y Harmony (1869). En los años 30 las parafinas para derretir en caliente llegaron a estar disponibles comercialmente para recubrir frutos cítricos con el objetivo de retardar la pérdida de humedad. A principios de los años 50, se desarrollaron emulsiones aceite-agua de la cera carnauba para recubrir frutas y hortalizas frescas (Wardowski *et al.*, 1986). En los últimos treinta años se ha reportado un número considerable de trabajos científicos y patentes sobre la aplicación de PC y RC para alargar la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados.

Recubrimientos comestibles aplicados a frutas y hortalizas

Los RC presentan la ventaja de poder aplicarse a todo tipo de frutas y hortalizas, permiten reducir la generación de residuos plásticos de envasado y, a diferencia del resto de recubrimientos, se formulan a partir de ingredientes que, en su mayoría, proceden de fuentes renovables, lo que evita el uso de parafinas, aceites minerales, polietileno oxidado y plásticos procedentes del petróleo. En la figura 2 se muestran las funciones más importantes de los RC cuando son aplicados sobre tejidos vivos. Al ser usados sobre frutas cortadas pueden reducir los efectos perjudiciales que operaciones de proceso mínimo como el pelado y el cortado tienen sobre los tejidos vegetales.

Figura 2. Principales funciones de los RC aplicados a frutas mínimamente procesadas



Fuente: elaboración propia.

Olivas y Barbosa (2005) señalaron que los RC deben cumplir una serie de requerimientos para poder ser empleados en frutas frescas cortadas. Entre ellos se encuentran: estar constituidos por sustancias GRAS (generalmente reconocidos como seguros), ser estables bajo condiciones de alta humedad relativa, ser una buena barrera al vapor de agua, al oxígeno y al dióxido de carbono, presentar buenas propiedades mecánicas de resistencia y flexibilidad y de adhesión a la fruta, ser sensorialmente aceptables, ser estables tanto desde el punto de vista físico-químico como microbiológico, y además tener un costo razonable. Estos recubrimientos pueden ser aplicados mediante inmersión, pulverización y pintado sobre la superficie del alimento recubriéndolo o usados como una envoltura continua que separa distintos componentes alimenticios (Gennadios *et al.*, 1994). El interés en el uso de RC y PC ha crecido ya que presentan las siguientes ventajas (Guilbert *et al.*, 1996):

- Pueden ser ingeridos por el consumidor.
- Su costo es generalmente bajo.
- Su uso reduce los deshechos y la contaminación ambiental.
- Pueden mejorar las propiedades organolépticas, mecánicas y nutricionales de los alimentos.
- Proporcionan protección individual a pequeñas piezas o porciones de alimento.
- Pueden ser usados como barrera entre componente de alimentos heterogéneos.

Las principales ventajas del uso de los RC en frutas y hortalizas frescas cortadas son una mejor retención del color, ácidos, azúcares y componentes del sabor, una reducción de la pérdida de agua, una disminución de los desórdenes metabólicos durante el período de conservación, una forma de soporte de otros compuestos, una indiscutible reducción en el uso de envases sintéticos y un mantenimiento de la calidad durante el almacenamiento (Sothornvit *et al.*, 2007). Su uso tiene como objetivo mantener la calidad de los productos recubiertos mediante un control y retardo de los principales eventos asociados con su alteración, a través de diferentes mecanismos (cuadro 1) (Debeaufort *et al.*, 1998):

- Evitando la ganancia o pérdida de humedad, que puede provocar una modificación de la textura, la turgencia y la crujiencia.
- Ralentizando cambios químicos que pueden afectar al color, el aroma o el valor nutricional del alimento.
- Actuando como barrera al intercambio de gases que puede influir en gran medida en la estabilidad de los alimentos sensibles a la oxidación de lípidos, vitaminas y pigmentos.
- Mejorando la estabilidad microbiológica.
- Mejorando la integridad mecánica en el caso de las frutas y hortalizas.

Cuadro 1. Algunos tipos de RC y PC para uso específico

Usos	*Tipos de RC o PC apropiados*
Retardar la migración de humedad	Lípidos, PC o RC multicomponentes
Retardar migración de aceites y grasas	Hidrocoloide
Retardar migración de solutos Mejorar integridad estructural y propiedades de manejo Retener compuestos aromáticos volátiles Transportar aditivos alimentarios Retardar la migración de gases	Hidrocoloides, lípidos, multicomponente

Fuente: Donhowe y Fennema (1993).

Los RC deben presentar ciertos requerimientos funcionales, que permitan controlar o aminorar las causas de la alteración de los alimentos a recubrir. Estos requerimientos son dependientes de la naturaleza del producto alimenticio al cual se aplica y de su principal mecanismo de deterioro. Según Debeaufort *et al.* (1998), algunos de estos requerimientos son:

- Propiedades sensoriales: los RC o PC deben ser transparentes, no otorgar sabor y olor diferente al alimento y no ser detectados durante el consumo.
- Propiedades de barrera: presentar una adecuada permeabilidad al vapor de agua y solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles.
- Propiedades mecánicas: ser resistentes al quiebre y a la abrasión, mejorando las características de manejo del producto, presentar suficiente flexibilidad, para adaptarse a las posibles deformaciones sin quebrarse.
- Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- Los componentes no deben producir contaminación al medio ambiental.
- Las materias primas y el proceso deben ser de bajo costo.

El desarrollo de RC a base de polisacáridos ha llevado un incremento significativo en las clases de aplicaciones que pueden tener y la magnitud de productos que pueden ser tratados, ya que se logra extender la vida de anaquel de las frutas u hortalizas mediante la permeabilidad selectiva de estos polímeros frente al O_2 y CO_2. Estos RC a base de polisacáridos pueden ser destinados a modificar la atmósfera interna de la fruta y de esta manera retardar la senescencia (Rojas-Graü *et al.*, 2009a). A pesar de que algunas PC han sido aplicadas exitosamente en productos frescos, otras aplicaciones afectaron adversamente la calidad. La modificación de la atmósfera interna mediante el uso de RC puede incrementar desórdenes asociados con una alta concentración de CO_2 o una baja concentración de O_2 (Ben-Yehoshua, 1969).

La selección de los materiales formadores de RC y PC tiene una especial importancia, ya que sus propiedades están fuertemente afectadas por la naturaleza de sus componentes, la composición y la estructura final. Para la formación de un RC o PC se necesita en primer lugar de una solución que pueda constituir una matriz estructural con suficiente cohesión (Debeaufort *et al.*, 1998). Los componentes de los RC pueden ser divididos en tres categorías: hidrocoloides, lípidos y componentes compuestos que cuando se combinan pueden interactuar física o químicamente, y así se pueden obtener recubrimientos con mejores propiedades. Sin embargo, la compatibilidad de los componentes es un punto importante a considerar cuando se trata de una mezcla de biopolímeros, ya que se puede alterar drásticamente el funcionamiento de los compuestos del recubrimiento (Diab *et al.*, 2001).

Los hidrocoloides incluyen proteínas, derivados de celulosa, alginatos, pectinas, almidones y otros polisacáridos; los lípidos incluyen ceras, acilgliceroles y ácidos grasos y los componentes compuestos incluyen hidrocoloides y lípidos (Krochta, 2002). Con el fin de mejorar el intercambio de gases, la adherencia, y las propiedades de permeabilidad al vapor de agua, generalmente se combinan dos o más materiales

(Baldwin *et al.*, 1995). Dichas mezclas suelen realizarse mediante emulsión de uno de los componentes, generalmente un lípido, en el resto de los componentes, o mediante un recubrimiento multicapa, en la cual el recubrimiento se aplica mediante una técnica de laminación, que consiste en sumergir la fruta en una primera solución, generalmente la matriz, y luego en otro tipo de solución, ya sea de naturaleza lipídica o que contiene calcio, entre otras.

Considerando las propiedades que presentan los materiales formadores de RC, es difícil obtener una película o recubrimiento adecuado, a partir de un solo material, que posea a la vez buenas propiedades mecánicas, de barrera al vapor de agua y a los gases. Numerosas investigaciones han encontrado que los requerimientos funcionales que debe poseer un RC para una aplicación específica, pueden lograrse combinando las ventajas que ofrece cada componente. Es muy común encontrar RC compuestos de una matriz como polisacáridos y lípidos. En el cuadro 2 se muestran distintas formulaciones utilizadas por diferentes autores.

En el momento en que un polímero se aplica sobre una matriz o superficie, operan dos fuerzas: una fuerza de cohesión entre las moléculas del polímero formadoras de la película y la otra de adhesión entre la película y el sustrato. Las fuerzas de cohesión afectan la densidad, la compactación, la porosidad, la permeabilidad, la flexibilidad y la fragilidad de la película. La exposición de las películas al calor excesivo afecta la cohesión porque inmoviliza prematuramente las moléculas del polímero provocando defectos como perforaciones y fractura temprana de la película (Guilbert *et al.*, 1996).

Cuadro 2. Materias primas utilizadas en RC o PC

Matriz	Plastificante	Emulsionante	Fuente
Alginato 2% (w/v)	Glicerol 1% (w/v)	----	Tapia *et al.*, 2008.
Gelatina, quitosano, almidón (100 g)	Glicerol (21, 42, 63 g)	----	Zhong y Xia, 2008.
Harina amaranto (100 g)	Glicerol (26 g)	----	Colla *et al.*, 2006.
Proteína (6 %)	Glicerol (6%)	----	Alleoni *et al.*, 2006.
Proteína (4 %)	Sorbitol (8%)	----	Alleoni *et al.*, 2006.
Quitosano (1.5 %)	----	Tween 80 (0.1%)	Casariego *et al.*, 2008.
Harina amaranto (100 g)	----	Ac. esteárico (10 g)	Giménez *et al.*, 2009.

Fuente: elaboración propia.

Los plastificantes se incorporan con el objetivo de aumentar la flexibilidad de los recubrimientos para hacerlos menos quebradizos. La rigidez de los recubrimientos se debe a las fuerzas de cohesión que estabilizan la matriz polimérica de polisacárido o

de la proteína. Los plastificantes debilitan estas fuerzas de cohesión entre las cadenas de polímero e incrementan su movilidad de las mismas y mejorando la flexibilidad de la matriz polimérica. Sin embargo, la reducción de la cohesión del polímero se traduce en un incremento de la permeabilidad a los gases y al vapor de agua del recubrimiento (Mchugh y Krochta, 1994).

Las PC y RC antimicrobianos han innovado el concepto de empaque activo y se han desarrollado para reducir, inhibir o detener el crecimiento de microorganismos sobre la superficie de los alimentos (Appendini y Hotchkiss, 2002). En la mayoría de los productos frescos o procesados, hay contaminación microbiana intensa sobre la superficie del alimento, por lo tanto, se requiere un sistema efectivo de control de crecimiento de dicha biota (Padgett *et al.*, 1998). Tradicionalmente, los agentes antimicrobianos se añaden directamente a los alimentos, pero su actividad puede ser inhibida por diferentes sustancias que forman parte del alimento, de manera que puede disminuir su eficiencia. En tales casos, el uso de PC o RC antimicrobianos puede ser más eficiente que los aditivos que se utilizan en el producto alimenticio, ya que pueden migrar selectiva y gradualmente compuestos desde el empaque hacia la superficie del alimento (Ouattara *et al.*, 2000). Se han acarreado diversos agentes antimicrobianos en PC y en RC. Un conjunto de ellos lo forman el ácido sórbico, el ácido benzoico, el ácido cítrico, (Quintavalla y Vicini, 2002), el benzoato de sodio (Hernández *et al.*, 2010) y el sorbato de potasio (Hernández *et al.*, 2010; Ozdemir y Floros, 2008).

De igual manera ocurre con bacteriocinas tales como nicina, pediocina (Sebti y Coma, 2002) y natamicina. Esta última fue transportada en RC de quitosano y permitió liberar dicho compuesto de forma controlada logrando un efecto sinérgico entre ambos componentes sobre el crecimiento de biota contaminante (Fajardo *et al.*, 2010). Las PC tienen en la actualidad diferentes aplicaciones, y se prevé que su uso se expandirá con el desarrollo de los sistemas de recubrimiento activo (*Active Coating Systems*). Esta segunda generación de materiales de recubrimiento puede emplear sustancias químicas, compuestos fitoquímicos, enzimas o microorganismos vivos que previenen, por ejemplo, el crecimiento microbiano o la oxidación de lípidos en productos alimentarios que han sido recubiertos. De esta manera los biomateriales actúan como transportadores de dichos compuestos que serán acarreados a lugares objetivo como el intestino, sin perder su actividad al estar dentro de tal matriz o durante su paso por el tracto gastrointestinal (Korhonen, 2005).

Biopolímeros implementados en el desarrollo de PC y RC

Diseñar envases biodegradables para alimentos con origen en fuentes renovables es un desafío, porque los materiales para alimentos son complejos y diversos. Desde el punto de vista del costo, los biopolímeros se obtienen de fuentes naturales renovables lo cual es fundamental para el desarrollo de un proceso sustentable. En el reino vegetal existen innumerables polisacáridos que son capaces de formar geles en agua. Algunos de ellos como pectinas, *kapa* y *iota* carrageninas, agarosa y alginatos, distribuidos ampliamente en plantas inferiores y superiores. De estos polisacáridos se tiene un estudio relevante de su bioquímica y de sus propiedades fisicoquímicas, reológicas y biofísicas (Trachtenberg y Mayer, 1982).

En contraste, se tienen poca información acerca de las propiedades de composición o aplicaciones de mucílagos de plantas. Los mucílagos son polisacáridos heterogéneos que se obtienen de tallos o semillas de plantas, y están formados por diferentes azúcares y en general ácidos urónicos. Se caracterizan por formar disoluciones coloidales viscosas en agua. Los mucílagos son constituyentes normales de las plantas y su uso en el recubrimiento de frutas y hortalizas cortadas no ha sido muy estudiado.

Mucílago de Linaza. Aproximadamente un 30% de la composición proximal de la semilla de linaza se compone de fibra dietética, de la cual una tercera parte es fibra soluble y el resto fibra insoluble (McKevith, 2005). Cuando la fibra soluble entra en contacto con agua, emerge de la semilla una sustancia que recibe el nombre de mucílago o goma, que consiste prácticamente en polisacáridos que posee la semilla. No solamente tiene importancia por su valor nutricional, sino además, porque tiene una naturaleza hidrocoloide lo cual es una propiedad importante en la industria de alimentos (Qian *et al.*, 2012). Según Oomah *et al.* (1995), los polisacáridos solubles en agua consisten en glucosa, xilosa, galactosa, ramnosa, arabinosa y fructosa en orden decreciente de abundancia que emergen de la semilla cuando entra en contacto con agua (Ricky y Costas, 1994). La funcionalidad del mucílago de la linaza es similar a la de la goma arábiga (BeMiller, 1993). El mucílago de linaza (*Linum usitatissimum* L.) es una sustancia gomosa que se encuentran debajo de la cubierta de las semillas. Tiene la capacidad de captar agua y formar coloides tipo gel, debido a la acción osmótica de la fibra soluble que integra los mucílagos (Salgado-Cruz *et al.*, 2005). Estudios de Khalloufi *et al.* (2009) y Qian *et al.* (2012), identifican que la fibra soluble (mucílago) proveniente de la linaza posee características adecuadas para dar formación a

emulsiones y suspensiones estables. Pérez Cabrera *et al.* (2008), investigaron el uso de mucílago de linaza en la elaboración de PC o RC que puedan ser aplicados a frutas y hortalizas. Hernández-Lozano *et al.* (2009), evaluaron la calidad microbiológica de fresa mínimamente procesada (*Fragaria ananassa*) con RC a base de mucílago de linaza (*Linum usitatissimum* L.) con la adición de benzoato de sodio o ascorbato de sodio, como agentes antimicrobianos. Observaciones durante el almacenamiento en refrigeración, llevan a la conclusión de que la aplicación de RC a base de mucílago de linaza con benzoato o ascorbato de sodio aumentan significativamente la calidad microbiológica y su aplicación ayudó a prolongar la vida de anaquel en fresas. El RC desarrollado es una matriz adecuada para ser usada como un vehículo para incorporar aditivos. Hernández-Lozano *et al.* (2010) estudiaron la aplicación de RC a base de mucílago de linaza en combinación con carboximetilcelulosa, pectina y EDTA en pepino fresco, cortado y almacenado en refrigeración durante 10 días. Los RC aplicados no indujeron cambios significativos en la calidad fisicoquímica en comparación con muestras de pepino recién cortado. Durante el almacenamiento, las muestras con RC a base de mucílago de linaza registraron un comportamiento mecánico y óptico significativamente mayor que muestras control, sin recubrimiento. La conclusión es que los recubrimientos aplicados tuvieron un efecto positivo para mantener la calidad fisicoquímica, microbiológica y la vida de anaquel.

Mucílago de Aloe vera. De la planta de sábila se puede extraer un mucílago cristalino conocido como *Aloe vera,* el cual está libre de aroma y sabor (Ni *et al.,* 2004). El mucílago extraído de la pulpa de *Aloe barbadensis* M. ha recibido un especial interés por su capacidad para formar recubrimientos (Valverde *et al.,* 2005), por su actividad antioxidante debida a la presencia de compuestos fenólicos (Lee *et al.,* 2000), y por el hecho de que se obtienen entre cuatro y dos reducciones logarítmicas en el crecimiento del micelio de mohos tales como *Penicillium digitatum, Botrytis cinerea* y *Alternaria alternata* a concentraciones del mucílago a 250 ml/L (Castillo *et al.,* 2010). Serrano *et al.* (2006) emplearon un RC elaborado a partir de *Aloe vera* para recubrir uvas. Se observó una extensión de la vida útil de la fruta de hasta 35 días en comparación con uvas sin recubrir. Además, dicho RC permitió retener la concentración de ácido ascórbico de las uvas. Por otra parte, Martínez-Romero *et al.* (2006), estudiaron el efecto de un RC a base de *Aloe vera* aplicado en cerezas; se obtuvo una disminución de los cambios en los diferentes parámetros responsables de la pérdida de calidad de la fruta, además de excelentes propiedades sensoriales.

Mucílago de nopal. Los mucílagos o hidrocoloides extraídos de los cladodios y de la cáscara de los frutos del nopal (*Opuntia ficus indica)* son productos que

están cobrando interés en la investigación médica y en el sector industrial, incluyendo el área de alimentos. El mucílago de nopal contiene un polímero lineal cuyo peso molecular es de $13x10^6$ g/mol y está compuesto por polisacáridos emparentados con las pectinas. Este tipo de mucílago tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, disolverse y dispersarse por sí mismo y formar soluciones viscosas (Domínguez-López, 1995). Se ha propuesto una posible estructura primaria del mucílago que incluye dos distintas fracciones solubles en agua. Una es una pectina con propiedades gelificantes cuando interacciona con el catión Ca^{2+} y la otra es un mucílago sin propiedades gelificantes (Goycoolea y Cárdenas, 2004). En *Opuntia ficus indica*, la fracción de polisacáridos que tiene propiedades espesantes, representan menos del 10% del material soluble en agua (Majdoub *et al.*, 2001). La epidermis del nopal tiene dos capas, una de células verdes, llamada clorénquima y otra capa interna que está formada por un cilindro de células blancas, conocida como parénquima. Su función principal es almacenar agua (Granados y Castañeda, 1996). Dentro de los tejidos de la clorénquima y de la parénquima existen células que almacenan el mucílago (Nobel *et al.*, 1992). Estas células en particular son más abundantes en la parénquima. El mucílago es un compuesto muy complejo que tiene la capacidad de formar redes moleculares y retener fuertemente grandes cantidades de agua (Saag *et al.*, 1975). El mucílago está presente solo en el aparato de Golgi y su síntesis se lleva a cabo probablemente en él (Sáenz y Montoya, 1999). El interés por la alta concentración de mucílago encontrado en algunas especies de *Opuntia ficus indica*, la conformación de las cadenas poliméricas y su viscosidad, sugieren un potencial considerable de estas cactáceas como fuente de materia prima en la elaboración de RC o PC (Del-Valle *et al.*, 2005). Recientemente se ha empezado a investigar el uso de mucílago de nopal en la elaboración de PC o RC que puedan ser aplicados a frutas y hortalizas. Del-Valle *et al.* (2005), desarrollaron un RC hecho a base de mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) y reportaron que su aplicación ayudó a extender la vida de anaquel en fresas (*Fragaria ananassa*). Este RC no afectó la calidad sensorial de las fresas recubiertas, las cuales mantuvieron además su color y firmeza original durante nueve días de almacenamiento. Arizmendi (2004) investigó la optimización del uso de dos plastificantes en la elaboración de una película comestible obtenida a partir de mucílago de la especie *Opuntia tomentosa* y la caracterización de su comportamiento mecánico; como resultado obtuvo que el glicerol es el compuesto que confiere mejores características a dichas películas.

Quitosano. El quitosano es un biopolímero que ofrece un amplio potencial de aplicación en la industria alimentaria debido a que es biodegradable y biocompatible

con los tejidos humanos, no es tóxico y especialmente por sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas. Estas propiedades lo hacen de particular interés para la conservación de alimentos (Aider, 2010) y para aplicarlo como ingrediente de RC y PC. Además de investigaciones basadas en sus características antimicrobianas, se han evaluado y cuantificado sus propiedades mecánicas, térmicas y de permeabilidad a O_2 y CO_2. Se han observado que la permeabilidad de PC de gelatina-quitosano plastificadas con agua y polioles aumenta conforme se incrementa el contenido de plastificantes (Arvanitoyannis *et al.*, 1997). Películas compuestas de almidón de maíz-quitosano plastificadas con glicerina, muestran que la mezcla de estos dos hidrocoloides mejora sus propiedades mecánicas de elongación a la rotura y la permeabilidad al vapor de agua, en contraste con membranas desarrolladas con uno solo de los componentes estructurales. Esto ocurre como resultado de las interacciones entre los grupos hidroxilo del almidón y los grupos amino del quitosano. Además, su actividad antibacteriana no se va afectada al observarse zonas de inhibición mediante la difusión de discos del material en agar conteniendo *Escherichia coli* O157:H7 (Liu *et al.*, 2009). El quitosano tiene la capacidad de retardar el crecimiento de ciertos microorganismos que son deletéreos en poscosecha de frutas y hortalizas, tales como *Fusarium* spp., *Colletotrichum musae*, y *Lasiodiplodia theobromae* en plátano (*Musa acuminate* L.), (Maqbool *et al.*, 2010), *Alternaria alternata* en chile ancho (*Capsicum annuum* L. var Ancho) (Latorre-Salamanca, *et al.*, 2011) y en fresa (*Fragaria ananassa*) (Díaz Narváez *et al.*, 2011) o *Botrytis cinerea* en tomate de mesa tratado con soluciones de recubrimiento con concentraciones de 1-2% (p/v) de quitosano en pimiento (*Capsicum annum* L. Var. Bellboy). Mediante la evaluación del efecto del moho *Botrytis cinerea*, sobre tejidos de frutos de pimiento en presencia de quitosano (1.0 mg/ml), se pudo determinar que el fitopatógeno sufrió daño celular en las hifas invasoras y se redujo la producción de poligalacturonasa, lo cual justificaría la conservación de la firmeza de los tejidos (El Ghaouth *et al.*, 1997). Estudios sugieren que el quitosano, en películas plastificadas o no, muestra actividad fungistática, lo cual hace posible el desarrollo de nuevos empaques activos con buenas propiedades térmicas. Factores como la temperatura de almacenamiento y las modificaciones de las propiedades mecánicas y de barrera influenciadas por aditivos y otros tipos de sustancias antimicrobianas pueden potenciar el efecto antimicrobial de las películas (Martínez-Camacho *et al.*, 2010). Nuevas investigaciones y revisiones recientes sobre uso de quitosano reúnen diversa información acerca del efecto de su grado de desacetilación sobre la actividad antimicrobiana, su uso dentro del diseño de RC y PC basados en compuestos bioactivos y su interacción frente a otros componentes que forman parte de los alimentos frescos y mínimamente procesados, tratados con esta tecnología (Aider, 2010; Martínez-Camacho *et al.*, 2010).

Conclusiones

Las tecnologías de envase basadas en películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas procesados, mínimamente procesados y comercializados en fresco, buscan extender la vida útil de los alimentos al mantener la calidad, generar valor agregado y direccionarlos de acuerdo a las necesidades y gustos del consumidor. Las PC y RC son estructuras capaces de transportar sustancias que traen beneficios no solo para el alimento, sino que también pueden generar bienestar mediante la encapsulación de compuestos bioactivos, lo cual ofrece la posibilidad de desarrollar productos nuevos e innovadores con efecto nutracéutico o funcional. Es indispensable reconocer que las películas comestibles deben ser evaluadas con respecto a su estabilidad microbiológica, adhesión, cohesión, capacidad de humectación, solubilidad, transparencia, propiedades mecánicas, sensoriales y de permeabilidad tanto al vapor de agua como a los gases, ya que de estas se pueden predecir y optimizar su composición y comportamiento. En la actualidad los estudios siguen encaminados hacia la caracterización de nuevas películas basadas en biopolímeros de fuentes no convencionales, y hacia la determinación de la capacidad que estas poseen para liberar compuestos con funciones preestablecidas.

Sobre los autores

Carolina Hernández Lozano, Laura Eugenia Pérez Cabrera,[1] Alberto Tecante Coronel,[2] María Magdalena Ramírez Gómez. [1]Departamento de Tecnología de Alimentos, Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad N. 940 Colonia Cuidad Universitaria, C. P. 20131 Aguascalientes, Ags., México. [2]Departamento de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Química, Conjunto E, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 04510, México.

Agradecimientos

Se agradece al Programa de Investigación en Alimentos (PIAL) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y al Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Tamaulipas por la ayuda financiera.

Referencias

Aider, M. (2010), "Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry", *Lebensmittel Wissenschaft und Technology*, 43, pp. 837-842.

Alleoni, A. C. C., A. P. Jacomino and A. S. Rosa (2006), "'*Pera*' orange coating with whey protein concentrate film associated to plasticizers", *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 41, pp. 1221-1226.

Appendini, P. and J. H. Hotchkiss (2002), *Review of antimicrobial food packaging. Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3, pp. 113-126.

Arizmendi, C. D. (2004), "Optimización de dos compuestos plastificantes (glicerol y polietilenglicol) en la elaboración de una película plástica comestible obtenida a partir del mucílago de nopal de la especie *Opuntia tomentosa* "Salm-Dyck", 34", Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma del Estado de México, D. F.

Arvanitoyannis, I., E. Psomiadou, A. Nakayama, S. Aiba and N. Yamamoto (1997), "Edible films made from gelatin, soluble starch and polyols", *Food Chemistry*, Part 3, 60, pp. 593-604.

Baldwin, E. A., M. O. Nisperos-Carriedo and R. A. Baker (1995), "Edible Coatings for lightly processed fruits and vegetables", *Hortscience*, 30, pp. 35-38.

BeMiller, J. N. (1993), "Quince seed, psyllium seed, flaxseed and okra gums" en R. L. Whistler and J. N. BeMiller, *Industrial Gums*, 3rd ed, Academic Press, New York, pp. 232-235.

Ben-Yehoshua, S. (1969), "Gas exchange, transportation, and the commercial deterioration in storage of orange fruit", *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 94, pp. 524-528.

Carrasco, E. U., M. v. Tudesca and L. Cisneros-Zevallos (2002), "Edible coating effects on the sensory quality of green bell pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) during storage", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52, pp. 84-90.

Casariego, A., B. W. S. Souza, A. A. Vicente, J. A. Teixeira, L. Cruz and R. Díaz (2008), "Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot", *Food Hydrocolloids*, 22, pp. 1452-1459.

Castillo, S., D. Navarro, P. J. Zapata, F. Guillén, D. Valero, M. Serrano and D. Martínez-Romero (2010), "Antifungal efficacy of *Aloe vera in vitro* and its use as a preharvest treatment to maintain postharvest table grape quality", *Postharvest Biology and technology*, 57, pp. 183-188.

Colla, E., P. J. A. Sobral and F. C. Menegalli (2006), "Effect of composite edible coating from *Amaranthus cruentus* flour and stearic acid on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality", *Latin American Applied Research*, 36, pp. 249-254.

Debeaufort, F., J. A. Quezada-Gallo and A. Voilley (1998), "Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, pp. 299-313.

Del-Valle, V., P. Hernandez-Muños, A. Guarda and M. Galotto (2005), "Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia Picus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life", *Food Chemistry*, 91, pp. 751-756.

Diab, T., C. G. Biliaderis, D. Gerasopoulos and E. Stakiotakis (2001), "Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, pp. 988-1000.

Díaz Narváez, G. C., L. E. Pérez Cabrera and K. Reyes Bernal (2011), "Actividad antifungica de recubrimientos comestibles a base de quitosano aplicados a fresa mínimamente procesada", en memorias electrónicas del XII Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos, Zacatecas, México.

Dominguez-Lopez, A. (1995), "Review: use of the fruit and stems of the prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) into human food", *Food Science and Technology International*, 1, pp. 65-74.

Donhowe, G. and O. Fennema (1993), "The effects of plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methylcellulose films", *Journal of Food Processing and Preservation*, 17, pp. 247-257.

El Gaouth, A., J. Arul, C. Wilson and N. Benhamou (1997), "Biochemical and cytochemical aspects of the interactions of chitosan and *Botrytis cinerea* in bell pepper fruit", *Postharvest Biology and Technology*, 12, pp. 183-194.

Fajardo, P., J. T. Martins, C. Fucinos, L. Pastrana, J. A. Teixeira and A. A. Vicente (2010), "Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycinto improve the storability of Saloio cheese", *Journal of Food Engineering*, 101, pp. 349-356.

Gennadios, A., C. L. Weller and C. H. Gooding (1994), "Measurement errors in water vapor permeability of highly permeable, hydrophilic edible films", *Journal of Food Engineering*, 21, pp. 395-409

Giménez, B., J. Gómez-Estaca, A. Alemán, M. C. Gómez-Guillen and M. P. Montero (2009), "Physico-chemical and film forming properties of giant squid (*Dosidicus gigas*) gelatin", *Food Hydrocolloids*, 23, pp. 585-592.

Goycoolea, F. and A. Cárdenas (2004), "Pectins from *Opuntia*", spp: a short review, *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5, pp. 17-29.

Granados, D. and A. D. Castañeda (1996), *El nopal*, Trillas, México, pp. 227.

Guilbert, S. (1986), "Technology and application of edible protective film", *Food Packaging and Preservation*, Matathoulthi, M. Elsevier Applied Science Publishers, USA, pp. 371-394.

Guilbert, S., N. Gontard and G. M. Gorris (1996), "Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coating", *Lebbensmittelwissenshaft und Technologie*, 29, pp. 10-17.

Haugaard v. K. and R. M. Festersen (2000) "Biobased packaging materials for foods", *Proceedings of the Food Biopack Conference*, Dinamarca, pp. 69-72.

Havard, C. and M. X. Harmony (1869), *Improved process for preserving meat, fowls, fish etc*, U.S. Patent 90, p. 944.

Hernandez-Lozano, L. C., L. E. Perez-Cabrera and C. Gonzalez-Martinez (2010), "Development of linseed-mucilage edible coatings and its application to extend fresh-cut cucumber shelf-life" C. Regalado and B. E. Garcia, eds., *Innovations in Food Science and Biotechnology in Developing Countries*, pp. 321-334.

Hernández-Lozano, L. C., L. E. Pérez-Cabrera, C. L. Quintero Martínez, A. Tecante Coronel and M. M. Ramírez Gómez (2009), "Calidad microbiológica de fresa mínimamente procesada con recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza" E. Cabrera Díaz y M. R. Torres Vitela, *Memorias del II Congreso Internacional de inocuidad de Alimentos*, pp: 55-58.

Kester, J. J. and O. R. Fennema (1986), "Edible films and coatings: a review", *Food Technology*, 40, pp. 47-59.

Khalloufi, S., M. Corredig, H. D. Goff and M. Alexander (2009), "Flaxseed gums and their adsorption on whey protein stabilized oil-in-water emulsions", *Food Hydrocolloids*, 23, pp. 611-618.

Korhonen, H. (2005), "Technology options for new nutritional concepts", *International Journal of Dairy Technology*, 55, pp. 79-88.

Krochta J. M. (2002), "Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current atatus and opportunities", *Protein-based films and coatings*, eds A. Gennadios, Boca Raton, Florida, CRC Press, pp. 1-41.

Krochta, J. M. and C. L. C. Mulder-Johnston (1996), *Agricultural Materials and Renewable Resources*, eds. G. Fuller, T. A. McKeon y D. D. Bills, American Chemical Society, Washington D.C., pp. 120-140.

Labuza, T. P. and S. R. Contreras-Medellín (1981), "Prediction of moisture protection requirements for food", *Cereal Foods World*, 26, p. 335.

Latorre-Salamanca, L. E., L. E. Pérez Cabrera, O. Moreno Rico and M. A. López Gutiérrez (2011), "Estudio *in vitro* del efecto de quitosano en *Alternaria alternata*

por recubrimientos comestibles", En memorias de la Octava Convención Mundial del Chile, Guanajuato, México.

Lee, Y. K., S. T. Weintraub and B. P. Yu (2000), "Isolation and identification of a phenolic antioxidant from *Aloe barbadensis*", *Free Radical Biology & Medicine*, 2, pp. 261-265.

Liu, F., B. Qin, L. He and R. Song (2009), "Novel starch/chitosan blending membrane: antibacterial, permeable and mechanical properties", *Carbohydrate Polymers*, 78, pp. 146-150.

Majdoub, H., S. Roudesli, L. Picton, D. Le Cerf, G. Muller and M. Grises (2001), "Prickly pear nopals pectin from *Opuntia ficus indica* physico-chemical study in dilute and semi-dilute solutions", *Carbohydrate Polymers*, 46, pp. 69-79.

Maqbool, M., A. Ali and P. G. Alderson (2010), "Control of postharvest anthracnose of banana using a new edible composite coating", *Crop Protection*, 10, pp. 1136-1141.

Martínez-Camacho A. P., M. O. Cortez-Rocha, J. M. Ezquerra-Brauer, A. Z. Graciano-Verdugo, F. Rodriguez-Félix, M. M. Castillo-Ortega, M. S. Yépiz-Gómez and M. Plascencia-Jatomea (2010), "Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical an antifungal properties", *Carbohydrate Polymers*, 82, pp. 305-315.

Martínez-Romero, D., N. Alburquerque, J. M. Valverde, F. Guillén, S. Castillo, D. Valero and M. Serrano (2006), "Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by *Aloe vera* treatment: A new edible coating", *Postharvest Biology and Technology*, 39, pp. 93-100.

Martin-Polo, M., A. Voilley, G. Blond, B. Colas, M. Mesnier and N. Floquet (1992), "Hydrophobic films and their efficiency against moisture transfer. 2. The influence of the physical state", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, pp. 413-418.

McHugh T. H. and J. M. Krochta (1994), "Permeability properties of edible films", J. M. Krochta, E. A. Baldwin and N. O. Nisperos-Carriedo, *Edible coatings and films to improve food quality*, Publishing, Lancaster, UK, pp. 139-188.

McKevith, B. (2005), "Nutritional aspects of oilseeds", *Nutrition Bulletin*, 30, p. 26.

Miller, K. S. and J. M. Krochta (1997), "Oxygen and aroma barrier properties of edible films: a review", *Trends Food Science Technology*, 8, pp. 228-237.

Ni, Y., D. Turner, K. M. Yates and I. Tizard (2004), "Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp", *International Immunopharmacology*, 4, pp. 1745-1755.

Nobel, S. P., J. Cavalier and J. L. Andrade (1992), "Mucilage in cacti its apoplastic capacitance associated solutes, and influence on tissue water relation", *Journal of Experimental Botany*, 43, pp. 641-642.

Olivas, G. I. and G. V. Barbosa-Canovas (2005), "Edible coatings for fresh-cut fruits", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, pp. 657-670.

Oomah, B. D., E. O. Kenaschuk, W. Cui and G. Mazza (1995), "Variation in the composition of water-soluble polysaccharides in flaxseed", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, pp. 1484-1488.

Ouattara, B., R. Simard, G. Piette, A. Bégin and R. A. Holley (2000), "Inhibition of surface spoilage bacteria in processed meats by application of antimicrobial films prepared with chitosan", *International Journal of Food Microbiology*, 62, pp. 139-148.

Ozdemir, M., and J. D. Floros (2008), "Optimization of edible whey protein films containing preservatives for mechanical and optical properties", *Journal of Food Engineering*, 84, pp. 116-123.

Padgett, T., L. Y. Han and P. L. Dawson (1998), "Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots", *Postharvest Biology and technology*, 14, pp. 51-60.

Pérez-Cabrera, L. E., Y. Gutiérrez Oropeza, C. González-Martínez and Ramírez M. M. Gómez (2008), "Aplicación de recubrimientos comestibles a base de mucílago de linaza (*Linum usitatissimum*) en frutos cortados", En memorias del *Noveno seminario de investigación de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, pp. 352-358.

Petersen, K., P. v. Nielsen, G. Bertelsen, M. Lawther, M. B. Olsen, N. H. Nilsson and G. Mortensen (1999), "Potential of biobased materials for food packaging", *Trends in Food Science & Technology*, 10, pp. 52-68.

Qian, K. Y., S. W. Cui, Y. Wu and H. D. Goff (2012), "Flaxseed gum from flaxseed hulls: extraction, fractionation and characterization", *Food Hydrocolloids*, 28, pp. 275-283.

Quintavalla, S., and L. Vicini (2002), "Antimicrobial food packaging in meat industry", *Meat Science*, 62, pp. 373-380.

Ramos-García, M. L., S. Bautista-Baños and L. Barrera-Necha (2010), "Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas", *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28, pp. 44-57.

Ricky W. F. and G. B. Costas (1994), "Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, pp. 240-247.

Rojas-Graü, M. A., G. Oms-Oliu, R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso (2009a), "The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review", *International Journal of Food Science and Technology*, 44, pp. 875-889.

Rojas-Graü, M. A., R. Soliva-Fortuny and O. Martín-Belloso (2009b), "Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review", *Trends in Food Science and Technology*, 20, pp. 438-447.

Saag, L., G. Sanderson, P. Moyna and G. Ramos (1975), "Cactaceae mucilage: composition", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, pp. 993-1000.

Sáenz, H. C. and B. L. Montoya (1999), "Nopalitos una nueva alternativa para Chile", *El Campesino*, 6, pp. 6-7.

Salgado-Cruz, M. P., D. Cedillo-López and M. C. Beltrán Orozco (2005), "Estudio de las Propiedades Funcionales de la Semilla de Chía (Salvia hispánica) y de la Fibra Dietaria", Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y Tercer Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, pp. 358-366.

Sebti, I., & v. Coma (2002), "Active edible polysaccharide coating and interactions between solution coating compounds", *Carbohydrate Polymers*, 49, pp. 139-144.

Serrano, M., J. M. Valverde, F. Guillén, S. Castillo, D. Martínez-Romero and D. Valero (2006), "Use of *aloe vera* gel coating preserves the functional properties of table grapes", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, pp. 3882-3886.

Sothornvit, R., C. W. Olsen, T. H. Mchugh and J. M. Krochta (2007), "Tensile properties of compression-molded whey protein sheets: Determination of molding condition and glycerol-content effects and comparison with solution-cast films", *Journal of Food Engineering*, 78, pp. 855-860.

Tapia, M. S., M. A. Rojas-Graü, A. Carmona, F. J. Rodriguez, R. Soliva-Fortuny and O. Martin-Belloso (2008), "Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya", *Food Hydrocolloids*, 22, pp. 1493-1503.

Trachtenberg, S. and A. M. Mayer (1982), "Biophysical properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage", *Phytochemistry*, 21, pp. 2835-2843.

Valverde, J. M., D. Valero, D. Martínez-Romero, F. Guillén, S. Castillo and M. Serrano (2005), "Novel edible coating based on *Aloe vera* gel to maintain table grape quality and safety", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp. 7807-7813.

Van der Walle, G. A. M., G. J. H. Buisman, R. A. Weshuis and G. Eggink (2000), "Development of environmentally friendly coatings and paints using medium-chain-length poly(3-hydroxyalkanoates) as the polymer binder", *International Journal of Biological Macromolecules*, 25, pp. 123-128.

Vásconez, M., S. Flores, C. Campos, J. Alvarado and L. Gerschenson (2009), "Antimicrobial activity and physical properties of chitosan–tapioca starch based edible films and coatings", *Food Research International*, 42, pp. 762-769.

Wardowski, W., S. Nagy and W. Grierson (1986), *Fresh Citrus Fruits*, AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT, pp. 361-378.

Zhong, Q. P. and W. S. Xia (2008), "Physicochemical properties of edible and preservative films from chitosan/cassava starch/gelatin blend plasticized with glycerol", *Food Technology and Biotechnology*, 46, pp. 262-269.

Huitlacoche: un alimento funcional

Karla Yuritzi Amador Rodríguez, Fidel Guevara Lara, Laura Eugenia Pérez Cabrera, Francisco Aníbal Posadas Del Río

Resumen

Los hongos comestibles no sólo son fuente de carbohidratos, sino que también sintetizan un conjunto de moléculas orgánicas denominadas metabolitos secundarios, los cuales están ampliamente distribuidos y tienen un papel importante en la estructura y sobrevivencia del hongo. Un hongo comestible ampliamente conocido en México, que ha llamado la atención de investigadores internacionales ha sido el huitlacoche, denominándose así a las agallas producidas por el hongo *Ustilago maydis* en las mazorcas de maíz (*Zea mays* L.).

Desde el punto de vista funcional o nutracéutico se han encontrado cantidades considerables de polifenoles, beta-glucanos, azúcares libres, fibra dietaria total (soluble e insoluble), compuestos que presentan actividad antitumoral, anticancerígenas, antiviral, antibacterial e inmunomodulatoria; por tal motivo estos compuestos nutracéuticos extraídos de hongos tienen un valor multifuncional. A pesar de que su uso se ha empleado con fines medicinales desde civilizaciones ancestrales, y con el continuo estudio científico de sus componentes y propiedades, recientemente los productos medicinales a base de hongos han demostrado incrementar la actividad del sistema inmune y promover los sistemas naturales de defensa.

En el presente capítulo se realiza una revisión en detalle de los estudios realizados, que han enfocado su investigación en la composición y propiedades funcionales de los principales compuestos, con especial interés en compuestos fenólicos solubles

e insolubles, en los oligosacáridos y polisacáridos de pared celular (componentes químicos de la fibra dietaria soluble e insoluble) del huitlacoche.

Palabras clave: huitlacoche, biocompuestos, propiedades nutracéuticas y nutrimentales.

Introducción

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés acentuado de los consumidores hacia ciertos alimentos, que además del valor nutritivo aporten beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación generaron una nueva área de desarrollo en las ciencias de los alimentos, nutrición, genómica y otras que corresponde a la de los alimentos funcionales.

El término Alimento Funcional fue propuesto por primera vez en Japón en la década de los ochenta, con la publicación de la reglamentación para los "Alimentos para uso específico de salud" (*Foods for specified health use* o FOSHU) y que se refiere a aquellos alimentos procesados, los cuales contienen ingredientes que desempeñan una función específica en las funciones fisiológicas del organismo humano, más allá de su contenido nutrimental. Los alimentos de este tipo son reconocidos porque llevan un sello de aprobación del Ministerio de Salud y Bienestar del gobierno japonés. Las siguientes condiciones deben cumplirse antes de que un producto pueda ser etiquetado como funcional:

- Debe ser un alimento (que no polvo, cápsula o tableta).
- Puede y debe ser consumido como una parte integral de la dieta.
- Que realiza una función específica dentro de la que sirve, para el énfasis se coloca en la función terciaria o fisiológica: la regulación de los mecanismos de defensa biológica y la prevención de enfermedades específicas.
- La mejora de la convalecencia después de una enfermedad.
- Control de las condiciones físicas y mentales.
- Ralentizar el proceso de envejecimiento.
- La regulación del ritmo de la condición física.

En 1994, Goldberg definió a un alimento funcional como "cualquier alimento que, además de su valor nutricional, tiene un efecto positivo en la salud de un individuo, el rendimiento y el estado mental". En la actualidad, se observa una clara preocupación por la posible relación entre el estado de salud personal y la alimenta-

ción que se recibe. Incluso se acepta sin protesta que la salud es un bien preferentemente controlable a través de la alimentación, por lo que se detecta en el mercado alimentario marcada preferencia por aquellos alimentos que se anuncian como benéficios para la salud. En opinión de los expertos, muchas de las enfermedades crónicas que afligen a la sociedad de un modo particular (cáncer, obesidad, hipertensión, trastornos cardiovasculares), se relacionan de un modo muy estrecho con la dieta alimenticia. Las técnicas de investigación en el campo de la epidemiología y la dietética permiten establecer ciertas relaciones entre los estilos de vida y los hábitos alimentarios, a la vez que es posible destacar la incidencia de algunas enfermedades en la mortalidad de la sociedad occidental. Algunos trabajos científicos han sugerido que ciertos ingredientes naturales de los alimentos proporcionan beneficios y resultan extraordinariamente útiles para la prevención de enfermedades e incluso para su tratamiento terapéutico.

El huitlacoche como alimento funcional

Algunos hongos comestibles son recursos de alimentos fisiológicamente funcionales y pueden además ser usados como materiales para el desarrollo de medicinas benéficas y no invasivas. Hay hongos patógenos que son consumidos en distintos países, un ejemplo es en México que se consumen grandes cantidades de mazorcas de maíz infectadas con el "hongo de marras" (o huitlacoche *Ustilago maydis*), tanto frescas como en conserva (figura 1).

Las agallas producidas por el hongo *Ustilago maydis* en las mazorcas de maíz (*Zea mays* L.), se conocen como huitlacoche o cuitlacoche, y en México se consume desde la época prehispánica. Generalmente se recolecta y vende en estado fresco y envasado, y se le considera una exquisitez culinaria (Paredes y Valverde, 2006). El huitlacoche es un basidiomiceto del orden de los Ustilaginales; algunas características de éstos son las siguientes:

Figura 1. Huitlacoche fresco



Fuente: elaboración propia.

- Infectan estructuras reproductivas de las plantas, principalmente flores.
- El desarrollo del micelio no es profuso.
- El promicelio está septado transversalmente, con basidiosporas laterales y terminales.
- Pertenece al género *Ustilago*, cuyas especies: tienen soros con apariencia de hollín y vagamente lleno con teliosporas negras o café oscuro, y la especie *maydis*, nos habla del que es un parásito específico del maíz (Valverde *et al.*, 1995).

El huitlacoche contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas que contribuyen a su valor nutricional. Paredes *et al.* (2006), examinaron la composición proximal del huitlacoche colectado en diferentes regiones de México, y encontraron que el contenido de proteínas varía entre 11.5 y 16.4% de materia seca (cuadro 1). Pero lo que es más interesante desde el punto de vista nutricional, es que la proteína del huitlacoche contiene un balance de aminoácidos esenciales, según patrones internacionales establecidos. Se considera, por lo tanto, que el huitlacoche contiene proteínas de muy buena calidad, con un contenido de lisina alto (6.6 g/100 g de proteína), el cual es muy elevado comparado con lo que se ha reportado para el maíz y otros vegetales, ya que la lisina es un aminoácido deficiente por excelencia en el maíz.

Hasta hace algunos años no se habían realizado análisis de los carbohidratos (principalmente polisacáridos) del huitlacoche, a pesar de que dichos componentes ya se sabía que eran mayoritarios en su composición. Recientemente, Beas Fernández *et al.* (2008) y Carrillo-Díaz *et al.* (2007), profundizaron en el análisis de tales componentes en huitlacoche recolectado y generado en campo. Los resultados sugirieron que el huitlacoche contiene altos niveles de fibra soluble, insoluble y algunos compuestos bioactivos.

Cuadro 1. Composición proximal del huitlacoche

Componente	*g/100 g (base seca)*
Proteínas (N x 6.25)	11.5-16.4
Grasa	1.6-2.3
Cenizas	5.2-7.0
Fibra	16.0-23.5
Carbohidratos	55.1-66.5

Fuente: Valverde *et al.* (1995)

Con respecto a la determinación de fibra dietaria total de huitlacoche, se obtuvo un porcentaje 54 a 65%; al parecer se encuentra por arriba de lo encontrado en ciertas variedades de frijol y maíz que tienen 14 a 19% y 23 a 25% de fibra dietaria total respectivamente (Guzmán y Paredes, 1998). Haciendo la comparación con la avena encontramos que ésta presenta de 10 a 11% de fibra dietaria total (Manthey *et al.*, 1999). Comparándolo con otros hongos comestibles, *Agaricus bisporus* presentó 18% y en *Lentinula edodes* se encontró un porcentaje de 37 (Matilla *et al.*, 2002), así como *Pleurotus sajor-caju* con 35 y *Volvariella volvacea* con 28 (Cheung, 1996). Se encontró en dos especies del hongo comestible *Tricholoma* de 45 a 50 (Díez y Álvarez, 2001).

Compuestos bioactivos del huitlacoche

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son uno de los productos secundarios de plantas más ampliamente distribuidos. La capacidad de estos compuestos para actuar como antioxidantes ha sido bien establecida. Los polifenoles son antioxidantes multifuncionales por actuar como agentes reductores, antioxidantes donadores de hidrógeno y atrapadores-apagadores de oxígeno. Los hongos por su parte, contienen una variedad de metabolitos secundarios, incluidos varios compuestos fenólicos, los cuales han demostrado actuar como excelentes antioxidantes (Dubost *et al.*, 2007). Los compuestos fenólicos pueden ser clasificados como fenoles simples y ácidos fenólicos tales como el ácido gálico, ácido benzoico, ácido siríngico, ácido clorogénico, y otros asociados; y polifenoles, los cuales son clasificados dentro de muchos grupos tales como flavonoides, taninos, estilbenos, etcétera. Los flavonoides son un grupo de

compuestos polifenólicos con propiedades conocidas de beneficio a la salud, los cuales incluyen atrapamiento de radicales libres, inhibición de enzimas hidrolíticas y oxidativas, y acción antiinflamatoria.

Algunas evidencias sugieren que las acciones biológicas de estos compuestos están relacionadas con su actividad antioxidante. Los compuestos fenólicos tienen propiedades farmacológicas y biológicas significativas, y algunos han demostrado una capacidad notable para alterar la conjugación de sulfato. La bioactividad de los compuestos fenólicos puede estar relacionada a su capacidad para quelar metales, inhibir lipooxigenasa, y atrapar radicales libres (Kim *et al.*, 2008). Los radicales libres se definen como cualquier molécula o átomo con uno o más electrones desapareados. Con la posesión de electrones desapareados, los radicales libres son usualmente inestables y altamente reactivos. El radical peróxilo es un paso clave en la peroxidación lipídica y es una causa importante de destrucción de la membrana celular y de esta manera daño tisular. Así, el consumo de antioxidantes dietarios de estos recursos es benéfico en la prevención de enfermedades (Lo y Cheung, 2005).

Beas-Fernández *et al.* (2008), encontraron diferencias en el contenido de fenoles totales de acuerdo a las localidades que fueron muestreadas, encontraron también una variación en el contenidos de antocianinas y taninos. Se detectaron diferencias entre las localidades que fueron muestreadas tanto para los fenoles totales, como las antocianinas y los taninos condensados (cuadro 2); también se observa que el contenido de fenoles totales se encuentra en un rango de 0.39 a 0.64 gEqAG/100 g el cual es mayor al encontrado en diferentes variedades de frijol, el cual presentó un rango entre 141 a 198 mg/100 g (Guevara-Lara *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Contenido de fenoles totales, antocianinas y taninos condensados en muestras de huitlacoche colectado en diferentes estados del centro de la República Mexicana y generado en diversas variedades de maíz criollo*

Muestras	Fenoles totales (gEqAG/100 g)	Antocianinas (mg/kg cianidina 3-glucósido)	Taninos condensados (mgEq(+)-Cat/100 g)
Huitlacoche colectado			
Aguascalientes	0.63 ± 0.02^a	139.4 ± 20.8^b	129.3 ± 30.0^b
Jalisco	0.45 ± 0.02^b	72.1 ± 11.6^c	32.2 ± 12.8^c
Irapuato	0.45 ± 0.03^b	89.8 ± 5.2^c	43.4 ± 8.7^c
Salamanca	0.64 ± 0.03^a	226.3 ± 12.5^a	140.0 ± 12.8^b
Michoacán	0.39 ± 0.01^c	71.7 ± 5.0^c	16.2 ± 13.5^c
Puebla	0.48 ± 0.02^b	86.0 ± 4.4^c	56.3 ± 15.6^c
Huitlacoche generado			
Amarillo	0.50 ± 0.00 ^{a}	143.7 ± 8.9^b	65.8 ± 5.9^c
Negro	0.46 ± 0.01 ^{b}	114.4 ± 4.3^b	157.4 ± 15.6^b
Pipitillo	0.54 ± 0.02 ^{a}	126.5 ± 4.4^b	310.2 ± 23.5^a

Fuente: Beas-Fernandez *et al.* (2008). *Se muestran medias y desviaciones estándar (n=9). Letras diferentes indican diferencias significativas (nivel de significancia p≤0.01) según la prueba de rangos múltiples de Student-Newman-Keuls.

Compuestos fenólicos solubles

Zaragoza *et al.* (2010), determinaron el contenido de compuestos fenólicos solubles de huitlacoche (*Ustilago maydis)* y *Pleurotus ostreatus* en extractos: etanólico, metanólico, acuoso frío y caliente. Los resultados fueron expresados en mg de equivalentes de ácido gálico extraídos por gramo de muestra en base seca (mg EAG/ g muestra base seca) cuadro 3.

Cuadro 3. Fenoles solubles totales en extractos de compuestos fenólicos solubles de huitlacoche y *P. ostreatus

Hongo	*Extracto*	*mg EAG/g muestra base seca*
Huitlacoche	Etanólico	3.8 ± 0.1^{d}
	Metanólico	4.2 ± 0.11^{d}
	Acuoso Frío	6.8 ± 0.20^{b}
	Acuoso Caliente	4.2 ± 0.36^{d}
P. ostreatus	Etanólico	2.3 ± 0.1^{f}
	Metanólico	2.6 ± 0.23^{ef}
	Acuoso Frío	7.9 ± 0.37^{a}
	Acuoso Caliente	4.4 ± 0.2^{cd}

Fuente: Zaragoza-Monroy *et al.* (2010). *Se muestran los promedios de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes son estadísticamente diferentes. Prueba Student-Newman-Keuls, α=0.05. Coeficiente de variabilidad, 5.19 por ciento.

Estos resultados son muy similares a los reportados por Beas-Fernández *et al.* (2008), que reportaron valores de 3.8-6.4 mg/g base seca. De los datos anteriormente mencionados, se destaca que el huitlacoche posee rendimientos favorables de extracción y los cuales son mayores que otros alimentos como frijol, donde Guevara-Lara *et al.* (2006), encontraron valores inferiores de 1.41-1.98 mg/g base seca. Lo anterior orienta a que existe evidencia de la presencia de niveles favorables de compuestos fenólicos, así como de sus propiedades nutracéuticas.

Compuestos fenólicos insolubles

El compuesto fenólico insoluble lo integran principalmente las melaninas, las cuales son macromoléculas formadas por polimerización oxidativa de compuestos fenólicos o indólicos. Comúnmente los pigmentos resultantes son marrones o negros en color pero muchos otros colores han también sido observados. En diversos hongos se han identificado varios tipos diferentes de melaninas. Los dos más importantes tipos son la melanina DHN (llamada así por una de las rutas intermediarias, 1, 8-dihidroxinaftaleno) y melanina DOPA (llamada así por uno de los precursores, L-3, 4-dihidroxifenialanina). Ambos tipos de melaninas han sido implicadas en la patogénesis (Langfelder *et al.*, 2003). La mayoría de las melaninas fúngicas se derivan de la molécula precursora 1,8-dihidroxinaftaleno (DHN); la ruta biosintética por la

cual se suministran las DHN ha sido denominada ruta policétida y se encuentra principalmente en ascomicetos y emparentada con deuteromicetos (Jacobson, 2000).

Las melaninas se encuentran en las paredes celulares de las hifas, y en las paredes celulares de las esporas o esclerocios. Existe evidencia, que las estructuras melanizadas estabilizan radicales libres en los sistemas biológicos, esto debido a su gran nivel de resonancia de electrones, lo cual sugiere que la melanina representa una trampa para electrones desapareados. Este fenómeno fue interpretado por la evidencia de tres estados de oxidación de los residuos quinónicos de la melanina: hidroquinona (estado totalmente reducido), semiquinona (radical libre estable y parcialmente oxidado), y quinona (producto de la oxidación de dos electrones). Las semiquinonas son conocida por ser radicales libres estables, y dado que la melanina polimérica contiene una amplia estructura aromática conjugada, esto sugiere que la energía del radical libre semiquinona de la melanina sería reducida por la posibilidad de resonancia.

Así, la melanina podría funcionar como un lavado para electrones desapareados potencialmente dañinos (Jacobson, 2000). Por otro lado, la melanina también se puede unir a varios metales de transición. La utilidad de esta unión ha sido interpretada de varias formas, como un decremento en las concentraciones de metales libres, en el caso de metales tóxicos, y creando un depósito adyacente a la célula, en el caso de metales esenciales. En este papel de intercambiador de electrones, la melanina puede o reducir u oxidar metales y puede facilitar o inhibir la transferencia de un electrón, conduciendo a la formación de un radical libre, dependiendo de si este se une al metal efectivamente (Jacobson, 2000).

Las propiedades funcionales y bioactivas de las melaninas son debidas a su capacidad de ser radioprotectivas y antioxidantes, son adsorbentes de radionucleidos y metales pesados y pueden proteger efectivamente a los organismos vivos de la radiación ultravioleta; ellas son usadas en medicina, farmacología, cosméticos y otros campos (Aghajanyan *et al.*, 2005). También las melaninas naturales muestran un amplio rango de actividades bioquímicas, incluyendo fotoprotección, antioxidación, atrapamiento de radicales libres y efectos inmunomodulatorios según diversos autores. Estas propiedades de la melanina son de gran interés debido a las implicaciones para el mantenimiento de la salud y producción de alimentos funcionales (nutracéuticos). La participación de las melaninas en reacciones de radicales libres ha sido ampliamente reportada. Se ha encontrado que las propiedades de secuestramiento o quelantes de las melaninas están principalmente involucradas en su actividad antioxidante. Estas propiedades pueden ser utilizadas en el estado de iniciación de reacciones en cadena por captura de metales de transición o inactivación de radicales superóxido. Sin embargo, los atrapadores de radicales libres no son efectivos en la

prevención de la propagación de las reacciones en cadena debido a su incapacidad para reaccionar con radicales peroxilo. No obstante, la fuerte actividad antioxidante de las melaninas indica que es probablemente capaz de detener la propagación de la reacción en cadena (Hung *et al.*, 2002). Por último, se ha mencionado que las propiedades inmunofarmacológicas de las melaninas son de gran interés debido a que puede servir como un promisorio tratamiento para el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) (Wang *et al.*, 2006).

Zaragoza *et al.* (2010), realizaron extracciones de melanina a partir de huitlacoche; en el cuadro 4 se observa el rendimiento obtenido a partir de dos extracciones obtenidas de huitlacoche.

Los porcentajes de extracción obtenidos fueron del 1.22% en la extracción 1 y del 1.05% en la extracción 2, los cuales son muy similares a los algunos rendimientos en otros materiales biológicos: hojas de té negro, entre otros.

Esto sugiere que el huitlacoche posee propiedades nutracéuticas importantes, ya que a las melaninas se les ha conferido una gran cantidad de beneficios al actuar como radioprotectores, antioxidantes, quelantes de metales, secuestradores de radicales libres e inmunomoduladores entre otros beneficios (Tu *et al.*, 2009; Aghajanyan *et al.*, 2005; Hung *et al.*, 2002).

Cuadro 4. Contenido de compuestos fenólicos insolubles: melanina y residuos de la extracción de melanina en huitlacoche

Balance de la Extracción de Melanina		
Extracción	1	2
Peso de la muestra (g)	5.0018	5.0007
Peso seco de la muestra (g)	4.5366	4.5356
Melanina cruda (mg)	311.1	328.9
Melanina no hidrolizable (mg)	90.2	87.1
Melanina pura (mg)	55.4	47.8
Melanina extraída por g de muestra en base seca (mg/g)	12.211	10.538
Rendimiento de extracción (%)	1.22	1.05

Fuente: Zaragoza *et al.* (2010).

Capacidad antioxidante y antimutagénica

Un antioxidante es definido como una molécula capaz de detener o prevenir la oxidación de otras moléculas, mientras que un antioxidante biológico ha sido definido como "cualquier sustancia que, cuando se presenta en bajas concentraciones comparada con aquellas de un sustrato oxidable, significativamente retarda o previene la oxidación de ese sustrato". Es bien conocido que la oxidación daña varias sustancias biológicas y subsecuentemente causa muchas enfermedades. En consecuencia, existen varias revisiones sobre la relación entre daño oxidativo y varias enfermedades incluyendo cáncer, enfermedad hepática, Alzheimer, envejecimiento, artritis, inflamación, diabetes, Parkinson, ateroesclerosis, y SIDA (Moon y Shibamoto, 2009). Por otro lado, según numerosos estudios epidemiológicos, los antioxidantes de los alimentos parecen estar estrechamente relacionados a la prevención de varias patologías, incluyendo diferentes tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurológicas, y desórdenes relacionados con el envejecimiento (Tabart *et al.*, 2009). Los antioxidantes fenólicos, un grupo específico de metabolitos secundarios, desempeñan un papel muy importante en la protección del organismo contra los efectos dañinos de los radicales de oxígeno y otras especies de oxígeno altamente reactivas (Stratil *et al.*, 2006).

Por lo anterior, la medición de capacidad antioxidante de los productos alimenticios es un tema de creciente interés. Varios estudios *in vitro* han sido conducidos para evaluar la capacidad antioxidante total de los productos alimenticios. Hasta ahora, sin embargo, no existe un método estandarizado oficial, y por lo tanto es recomendado que cada evaluación deba hacerse con varias condiciones de oxidación y diferentes métodos de medición (Zulueta *et al.*, 2009). El método equivalente a Trolox con el radical DPPH (2, 2-difenil-1-picrilhidrazil) es uno de los pocos radicales orgánicos de nitrógeno estables, el cual lleva un color púrpura profundo. Éste se encuentra comercialmente disponible y no tiene que ser generado antes del ensayo como en el caso del radical ABTS (Prior *et al.*, 2005). Recientemente, el ensayo del DPPH se ha vuelto completamente popular en los estudios de antioxidantes naturales. Una de las razones es que este método es simple y altamente sensible. El ensayo se basa en la teoría de que un donador de hidrógeno es un antioxidante. El efecto antioxidante es proporcional a la desaparición del DPPH en las muestras probadas. Se han reportados varios métodos para monitorear la cantidad de DPPH en los sistemas de prueba antioxidante: resonancia de espín del electrón (ESR), resonancia magnética nuclear (NMR), y espectrofotometría UV-visible. Sin embargo, recientemente el monitoreo del DPPH con un espectrofotómetro de UV-visible se ha vuelto el método más

amplia y comúnmente usado debido a su simplicidad y precisión. El DPPH muestra un máximo de absorción a 517 nm (púrpura). El color se torna de púrpura a amarillo después de que el DPPH absorbe un hidrógeno procedente de un antioxidante. Esta reacción es estequiométrica con respecto al número de átomos de hidrógeno absorbidos. Por lo tanto, el efecto antioxidante puede ser fácilmente evaluado siguiendo el decremento de la absorbancia (Moon y Shibamoto, 2009). Para estandarizar los resultados de varios estudios, ha sido utilizada la unidad equivalentes de Trolox (ET). El Trolox es un derivado hidrosoluble comercial de la vitamina E, que posee capacidad antioxidante y con el cual se construyen curvas de calibración. Así, la capacidad antioxidante de una muestra es expresada en términos de micromoles equivalentes a Trolox (ET) por unidad de muestra (litro, mililitro, gramo, 100 gramos, etc.) (Moon y Shibamoto, 2009).

Zaragoza *et al.* (2010), encontraron 7.1 ± 0.40 µmol ET/g muestra base seca utilizando un extracto acuoso frío para obtener este máximo valor en compuestos fenólicos solubles, por otro lado en los compuestos fenólicos insolubles, particularmente melanina, encontraron una capacidad antioxidande de 8.8 ± 0.96 µmol ET/g.

Otro método utilizado es el Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC), que consiste en la medición del decremento en la fluorescencia de una proteína como resultado de la pérdida de su conformación cuando ésta sufría daño oxidativo causado por una fuente de radicales peroxil ($ROO^{\bullet}$). El método media la habilidad de los antioxidantes en la muestra para proteger a la proteína del daño oxidativo. La proteína usada en el método original fue la ß-ficoeritrina, pero ésta presentaba una serie de desventajas, como la inconsistencia entre lotes, fotosensibilidad e interacción con compuestos fenólicos debido a la unión no específica a proteínas (Zulueta *et al.*, 2009). Para resolver estos problemas las sondas fluorescentes que actualmente se usan son la fluoresceína (3', 6'-dihidroxispiro [isobenzofuran– 1[3H], 9' [9H]-xanten]-3-ona) o la diclorofluoresceína (2', 7'-diclorodihidrofluoresceina diacetato), las cuales son más estables y menos reactivas (Prior *et al.*, 2005). Zaragoza *et al.* (2010), midieron la capacidad antioxidante *in vitro* por este método de extractos de compuestos fenólicos solubles e insolubles, y obtuvieron los valores más altos 136.1±21.00 µmol ET/ muestra base seca con un extracto etanólico y 13.1 ± 0.11 procedentes de melanina/g muestra base seca.

ß-Glucanos

Los polisacáridos son polímeros de azúcares simples (monosacáridos) unidos entre sí por enlaces glucosídicos. Éstas son moléculas muy complejas debido a que a veces suceden en ellas enlaces covalentes entre varios pares de átomos de carbono.

Consecuentemente una unidad de azúcar puede estar unida a más de dos azúcares, los cuales resultan en la formación de macromoléculas enormes altamente ramificadas (Daba y Ezeronye, 2003). El glucano es el polisacárido estructural más importante de la pared de los hongos y representa el 50-60% del peso seco de esta estructura. La mayoría de los polímeros de glucano están compuestos de unidades de glucosa con uniones ß-(1,3) (65-90%), aunque también hay glucanos con enlaces ß-(1,6) (en *Candida* pero no en *Aspergillus*) ß-(1,4), ß-(1,3) y ß-(1,4). El ß-(1,3) D-glucano es el componente estructural más importante de la pared, al que se unen covalentemente otros componentes de esta estructura (Pontón, 2008).

Cuadro 5. Porcentaje de actividad antirradical encontrado en muestras de huitlacoche colectado (Aguascalientes e Irapuato) y generado (Pipitillo y Negro)*

Muestra	*Concentración de fenoles totales (µM)*	% ARA
Extractos de huitlacoche colectado		
Aguascalientes	1.375	74.2 ± 12.6
Irapuato	1.046	56.5 ± 12.1
Extractos de huitlacoche generado		
Pipitillo	1.387	72.0 ± 12.8
Negro	0.869	57.2 ± 11.0
Antioxidante (BHT)	100	20.5 ± 9.4
	1000	80.1 ± 23.3

Fuente: Beas-Fernandez *et al.* (2008). *Se muestran medias y desviaciones estándar (n=3) del porcentaje de actividad antirradical en extractos de huitlacoche colectado y generado.

En los glucanos hay generalmente una cadena principal, la cual puede ser □-(1,3), ß-(1,4) o una mezcla de ambos con cadenas laterales ß-(1,6). Los hetero-□-D-glucanos los cuales son polímeros lineales de glucosa con otros D-monosacáridos, pueden tener actividad anticancerígena, pero los ß-D-glucanos de los hongos usualmente carecen de ésta actividad. El lado heteroglucano de las cadenas contiene ácido glucurónico, galactosa, manosa, arabinosa o xilosa como principal componente o en diferentes combinaciones (Daba y Ezeronye, 2003).

El ß-(1,3) D-glucano se sintetiza por un complejo de enzimas situado en la membrana plasmática, denominadas glucano sintetasas. Estas enzimas catalizan la formación de cadenas lineales de glucano compuestas por aproximadamente 1,500 residuos de glucosa unidos por enlaces ß-(1,3). En estas cadenas, cada 40-50 residuos de glucosa se unen nuevas unidades de glucosa por enlaces ß-(1,3) para dar

lugar a una estructura ramificada. Estas ramificaciones pueden unirse a otros glucanos, a la quitina o a las manoproteínas, proporcionando a la pared una gran resistencia mecánica esencial para mantener la integridad celular (Pontón, 2008). Los polisacáridos aislados de hongos (micelio, cuerpo fructífero o parte media) son glucopirananos ß-(1,3), con una rotación específica [a]D +80° ~ -20°, un promedio de peso molecular de 500,000 ~ 2,000,000 g/mol, caracterizados por poseer ramificaciones ß-(1,6)-glucosilo. La intensidad de la actividad está relacionada directamente al peso molecular (que a su vez influye en la solubilidad en agua), el grado de ramificación, etc. La dosis óptima no es uniforme. La administración masiva no parece ser útil. Como resultado de estudios de su estructura por resonancia magnética nuclear (RMN) y difracción de rayos X, se ha visto que los *ß*-D-glucanos tienen una estructura de cadenas de triple-hélice a la derecha. La actividad antitumoral de los ß-D-glucanos no siempre está relacionada con la cantidad presente en los hongos. La intensidad de la actividad parece estar influenciada por la solubilidad en agua, el tamaño de las moléculas, el grado y formas de las ramificaciones, el modo de unión ß-(1,6) a la cadena principal ß-(1,3), entre otros factores (Mizuno, 1995).

Los glucanos aislados de distintos microorganismos son diferentes unos de otros, y su proceso de extracción y purificación puede variar atendiendo a las características particulares de dichos microorganismos (Sánchez *et al.*, 1995). Pero no sólo los hongos poseen glucanos. En la avena también hay ß-glucanos y la conclusión global de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), con respecto a la avena, es que puede disminuir los niveles de colesterol sérico, específicamente el colesterol LDL o lipoproteínas de baja densidad, sin cambiar la fracción HDL o la lipoproteína de alta densidad, en lo cual se basa la afirmación de que su consumo reduce el riesgo de enfermedades coronarias Además, la FDA ha admitido que el principal ingrediente activo en este contexto es la fibra soluble ß-(1,3)-(1,4) D-glucano o ß-glucano (Mazza, 1998).

Consecuentemente, esto da paso a un incremento dramático en la demanda de productos enriquecidos con ß-glucanos en el mercado. Además por esto la FDA permite que la etiqueta de los productos hagan la afirmación de que ayuda a la salud de corazón, siempre y cuando el producto proporcione al menos 0.75 g de ß-glucano por porción (Chang *et al.*, 2006). Dentro de los beneficios de los ß-glucanos está la relación existente entre su consumo y la prevención y tratamiento del cáncer. Experiencia de países de Asia y Europa del Este, muestran que los hongos podrían tener un papel importante en la prevención de enfermedades tumorales, *Piptoporu betulinus* fue usado tradicionalmente en Bohemia para el tratamiento del cáncer rectal y en enfermedades estomacales (Lindequist *et al.*, 2005).

Las sustancias con actividad inmunomodulatoria pueden ser de diferentes tipos, dentro de las cuales, los polisacáridos de origen microbiano están incluidos como modificadores de la respuesta biológica (MRB), presentando varios usos en la industria farmacéutica, alimentaria y química. Estos productos en la actualidad presentan una gran demanda en medicina veterinaria y humana, lo que ha repercutido en la búsqueda y desarrollo de nuevos compuestos que se encuentran en diferentes fases de experimentación como *Lectinan, Krestin, Grifolan Schizophyllan* (glucanos) que tienen diferentes orígenes y se emplean como inmunoestimulantes debido a sus actividades biológicas (Sánchez *et al.*, 2000). En Cuba se ha desarrollado un procedimiento para la obtención de un polisacárido, ß-(1,3) glucano, conocido comercialmente como *Evimunk*, a partir de la pared celular de levadura panadera, con actividad biológica probada en animales de interés económico (Sánchez *et al.*, 2000). Así que los llamados inmunomoduladores, responsables de modificar la respuesta biológica, inmunopotenciadores e inmunoestimulantes son los hongos medicinales más importantes, de los cuales se extraen actualmente medicamentos utilizados especialmente en Japón, China, Corea y otros países asiáticos (Lindequist *et al.*, 2005).

El glucano es descrito por varios autores como, un potente inductor de los mecanismos no específicos de defensa del hospedero, modulador de la inmunidad celular, humoral y del sistema retículo endotelial. Diversos ß-(1,3) D-glucanos estimulan varias facetas de la respuesta inmunológica en animales y en humanos. Se describen la actividad antitumoral de preparaciones insolubles de ß-(1,3) glucano en modelos de animales de laboratorio y demuestran que la administración intravenosa en ratas modifica el curso de enfermedades neoplásicas experimentalmente inducidas, evidenciado por un aumento y proliferación de monocitos y macrófagos. Al estudiar la actividad biológica de glucanos solubles sobre células tumorales, en las que se observa un incremento en la actividad citotóxica. Debido a sus características inmunomoduladoras, el ß-(1,3) glucano se incluye dentro de los medicamentos MRB (Sánchez *et al.*, 1995). En los últimos años, se ha sugerido que el uso diario de productos con actividades antimutagénicas y anticarcinogénicas puede ser eficiente para prevenir el cáncer. Esta propuesta es conocida como quimioprevención (Friedmann *et al.*, 2009).

Pérez-Tellez *et al.* (2011), encontraron un contenido total de ß(1,3)-glucano en huitlacoche de entre un 7.58 y un 15.08 mg/100 g de muestra, encontrando el valor más alto mediante la obtención de una muestra con NaOH para su extracción. Además de encontrar que junto con los demás componentes de los extractos como proteínas y otros carbohidratos tienen efectos sobre el sistema inmune humano, al estimular a las células mononucleares a la producción de citocinas, específicamente, IFN-*γ* y de TNF-*α*.

Cuadro 6. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y oligosacáridos de la familia de la rafinosa en muestras de huitlacoche colectado en diferentes localidades del centro de México y generado en variedades criollas de maíz*

Azúcares (mg/100 g base seca)				*Oligosacáridos (mg/100 g base seca)*		
	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	Rafinosa	Estaquiosa	Verbascosa
Huitlacoche colectado						
Aguascalientes	466±0.4^a	802±3.6^a	243±3.8^a	ND	124±2.8^a	ND
Jalisco	469±0.5^a	766±5.6^a	241±5.7^a	520±2.4^c	250±2.1^c	ND
Irapuato	394±2.0^b	725±1.5^a	267±0.4^b	1279±5.0^b	262±3.7^b	593±14.6^b
Salamanca	388±1.0^b	763±8.6^a	258±1.9^c	1505±2.1^b	449±6.8^c	2611±26.2^c
Michoacán	449±3.3^a	753±5.6^a	252±2.6^a	1291±9.2^b	541±7.4^d	ND
Huitlacoche generado						
Amarillo	460±6.7^a	867±4.8^a	264±8.4^a	1097±6.0^c	279±3.8^c	ND
Negro	553±0.3^b	1066±1.9^a	248±1.8^a	1175±3.5^d	472±5.4^d	ND
Pipitillo	448±0.4^a	741±6.4^a	246±0.5^a	1087±4.5^d	456±0.4^d	ND

Fuente: Beas-Fernandez *et al.* (2008). ND = No Detectado. *Se muestran medias y desviaciones estándar (n=3). Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas ($p \leq 0.01$) según la prueba de rangos múltiples de Student-Newman-Keuls.

Conclusiones

La capacidad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos del huitlacoche iguala o supera la capacidad de otros alimentos estudiados y más reconocidos por su potencial antioxidante. Dada la evidencia científica encontrada hasta el momento, y siendo todavía un alimento con un campo amplio de estudio en el aspecto de los compuestos bioactivos que contiene y su capacidad funcional, se puede sugerir que el huitlacoche posee compuestos nutracéuticos, los cuales se ha demostrado poseen un efecto benéfico en la salud.

Agradecimientos

Se agradece a los Programas de Investigación en Alimentos (PIAL) y de Investigación en Biotecnología (PIBT) de la Universidad Autónoma de Aguascalientes y al Fondo Mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Tamaulipas por la ayuda financiera.

Sobre los autores

Karla Yuritzi Amador Rodríguez, Fidel Guevara Lara,[1] Laura Eugenia Pérez Cabrera,[2] Francisco Aníbal Posadas Del R ío.[3] [1]Departamento de Química, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad núm. 940, Colonia Ciudad Universitaria, C.P. 20131 Aguascalientes, Ags., México. [2]Departamento de Tecnología de Alimentos, Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad núm. 940, Colonia Ciudad Universitaria, C.P. 20131 Aguascalientes, Ags., México. [3]Departamento de Fisiología y Farmacología, Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Av. Universidad núm. 940 Colonia Ciudad Universitaria, C. P. 20131 Aguascalientes, Ags., México.

Referencias

Aghajanyan, A. E., A. A. Hambardzumyan, A. S. Hovsepyan, R. A. Asaturian, A. A. Vardanyan, A. A. Saghiyan (2005), "Isolation, purification and physicochemical characterization of water-soluble *Bacillus thuringiensis* melanin", *Pigment Cell Res.*, 18, pp. 130-135.

Beas-Fernández, R., S. H. Guzmán-Maldonado, M. G. F. Loarca-Piña, L. I. Chávez-Ortiz, M. C. González-Díaz, F. Guevara-Lara (2008), "Chemical and functional characterization of huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*)", IFT Annual Meeting & Food Expo, New Orleans, Louisiana, USA. pp. 096-12.

Carrillo-Díaz, M. I. G. Tirado-Estrada, F. Guevara-Lara, H. Silos-Espino, S. Martín del Campo Valle, J. L. Moreno Hernández Duque, M. G. Acero-Godínez, M. C. Rubio-Franchini, R. Martínez-Villalobos, R. Beas-Fernández (2008), "Caracterización de fibra dietaria y capacidad antioxidante del hongo del huitlacoche (*Ustilago maydis*)", Memorias del Noveno Seminario de Investigación de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes.

Cheung, P. C. (1996),"Dietary fiber content and composition of some cultivated edible mushroom fruiting bodies and mycelia", *J. of Agricultural and Food Chemistry*, 44, pp. 468-471.

Daba, A. S., O. U. Ezeronye (2003), "Anti-cancer effect of polysaccharides isolated from higher basidiomycetes mushrooms", *African Journal of Biotechnology*. 2(12), 672-678.

Díez, v. A. A. Álvarez (2001), "Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain", *Food Chemistry*, 75, pp. 417-422.

Dubost, N. J., B. Ou, R. B. Beelman (2007), "Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity", *Food Chemistry*, 105, pp. 727-735.

Friedmann A., J. P., L. R., Ribeiro, M. B. Ferreira, M. S. Mantovani (2009), "*β*-Glucan extracted from the medicinal mushroom *Agaricus blazei* prevents the genotoxic effects of benzo[a]pyrene in the human hepatoma cell line HepG2", *Arch Toxicol*, 83, pp. 81-86.

Goldberg, I. (1994), *Functional foods designer foods, pharmafoods, nutraceuticals*, New York, Chapman and Hall.

Guevara-Lara, F., L. G. Espinosa-Alonso, M. E. Valverde, A. Lygin, J. Widholm, O. Paredes López (2006), "Chemistry and Flavor of Hispanic Foods", ACS Symposium Series 946, American Chemical Society, Washington, DC, USA. pp. 77-88.

Guzmán-Maldonado, S. y O. Paredes-López (1999), *Functional Products of Plants Indigenous to Latin America: Amaranth, Quinoa, Common Beans, and Botanicals*, Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects, Mazza, G. (ed.) Technomic Publishing Company, Lancaster, PA., pp. 239-328.

Hung, Y. C.; v. M. Sava, S. Y. Makan, T. H. Cheng, M. Y. Hong, G. S. Huang (2002), "Antioxidant activity of melanins derived from tea: comparsion between different oxidative states", *Food Chemistry*, 78, pp. 233-240.

Hung, Y. C.; v. M. Sava, S. Y. Makan, M. Y. Hong, G. S. Huang (2004), "Preventive effect of thea sinensis melanin against acetaminophen-induced hepatic injury in mice", *J. Agric. Food Chem.*, 52 (16), pp. 5284-5289.

Jacobson E. S. (2000), "Pathogenic roles for fungal melanins", *Clinical Microbiology Reviews*, 13 (4), pp. 708-717.

Kim, M. Y., P. Seguin, J. K. Ahn, J. J. Kim, S. C. Chun, E. H. Kim, S. H. Seo, E. Y. Kang, S. L. Kim, Y. J. Park, H. M. Ro, I. M. Chung (2008), "Phenolic compound concentration and antioxidant activities of edible and medicinal mushrooms from Korea", *J. Agric. Food Chem.*, 56 (16), pp. 7265-7270.

Langfelder, K., M. Streibel, B. Jahn, G. Haase, A. A. Brakhage (2003), "Biosynthesis of fungal melanins and their importance for human pathogenic fungi", *Fungal Genetics and Biology*, 38, pp. 143-158.

Lindequist, U., T. H. J. Niedermeyer, W.-D. Jülich (2005), *The Pharmacological potential of mushrooms*, *eCAM*, 2(3), pp. 285-299.

Lo, K. M., P. C. K. Cheung (2005), "Antioxidant activity of extracts from the fruiting bodies of Agrocybe aegerita var. alba", *Food Chemistry*, 89, pp. 533-539.

Manthey, F. A., G. A. Hareland y D. J. Huseby (1999), "Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat", *Cereal Chemistry*, 76(3), pp. 417-420.

Mattila, P., K. Suonpaa y Piironen (2000), "Functional properties of edible mushrooms", *Nutrition*, 16, pp. 694-696.

Mizuno, T., H. Saito, T. Nishitoba y H. Kawagishi (1995), "Antitumor-active substances from mushrooms", *Food Reviews Internacional*, 11, pp. 23-61.

Moon, J. K., T. Shibamoto (2009), "Antioxidant assays for plant and food components", *J. Agric. Food Chem.*, 57 (5), pp. 1655-1666.

Pontón, J. (2008), "La pared celular de los hongos y el mecanismo de acción de la anidulafungina", Rev. Iberoam, Micol. 25, pp. 78-82.

Prior, R. L., X. Wu, K. Schaich (2005), "Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements", *J. Agric. Food Chem.*, 53 (10), pp. 4290-4302.

Sánchez, L., M., Noa, M. Pedroso, D. R. Iglesias, F. Marrero (1995), "Beta (1,3) glucano a partir de *Saccharomyces cerevisiae*: Aislamiento y caracterización", *Rev. Salud. Anim.*, 17(1), pp. 9-17.

Stratil, P.; Klejdus, B. Kubá (2006), "Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-Evaluation of spectrophotometric methods", *J. Agric. Food Chem.*, 54 (3), pp. 607-616.

Tabart, J.; C. Kevers, J. Pincemail, J. O. Defraigne, J. Dommes (2009), J. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests", *Food Chemistry*, 113, pp. 1226-1233.

Valverde, M. E.; O. Paredes López, J. K. Pataky, F. Guevara Lara (1995), "Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source – Biology, composition, and production", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.*, 35 (3), pp. 191-229.

Wang, H. X.; V. E. Ooi, T. B. Ng, K. W. Chiu, S. T. Chang (1996), "Hypotensive and vasorelaxing activities of a lectin from the edible mushroom *Tricholoma mongolicum*", *Pharmacol. Toxicol.*, 79 (6), pp. 318-323.

Wang, H.; G. Cao, R. L. Prior (1996), "Total antioxidant capacity of fruits", *J. Agric. Food Chem.*, 44 (3), pp. 701-705.

Wang, H.; Y. Pan, X. Tang, Z. Huang (2006), *Isolation and characterization of melanin from Osmanthus fragrans seeds, LWT.* 39, pp. 496-502.

Wang, S. Y., H. S. Lin (2000), "Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage", *J. Agric. Food Chem.*, 48 (2), pp. 140-146.

Zulucta, A.; M. J. Esteve, A. Frígola (2009), "ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products", *Food Chemistry*, 114, pp. 310-316.

Zaragoza-Monroy A., M. G. Rodriguez, J. L. Moreno-Hernandez-Duque, M. I. Carrillo-Diaz, F. Guevara-Lara (2010), "Evaluation of phenolics and antioxidant capacity in huitlacoche (*Ustilago maydis*) and oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*)", Cartel y resumen en memoria en linea, IFT 10 Annual Meeting and Food Expo, Chicago, Illinois, USA, pp. 193-29.

Las bacterias lácticas como probióticos en humanos

Eva María Santos López, Irais Sánchez Ortega, Armida Zúñiga Estrada

Resumen

Los probióticos son microorganismos vivos, capaces de sobrevivir al paso por el tracto gastrointestinal, que cuando se administran en cantidades adecuadas, producen un efecto benéfico sobre una o varias funciones del organismo, proporcionando un mejor estado de salud y bienestar y/o reduciendo el riesgo de enfermedad del huésped que los consume. Entre las cepas de probióticos más utilizadas en la actualidad además de las bifidobacterias, se encuentran las bacterias lácticas (BAL), microorganismos caracterizados por la producción de ácido láctico como producto principal de la fermentación de carbohidratos y que se pueden encontrar en productos como leches fermentadas yogurt, quesos madurados, productos cárnicos y en algunas hortalizas. Además, las BAL constituyen un importante porcentaje de la flora autóctona del intestino humano. Estas características, han dado la pauta para evaluarlas en estudios de investigación *in vitro* e *in vivo*, encontrando que, pueden actuar como probióticos. Los beneficios conferidos por las BAL que han sido reportados incluyen: reforzar el sistema inmunológico y ayudar en el tratamiento de una gran variedad de condiciones incluyendo diarreas, infecciones del sistema urinario, intolerancia a la lactosa, hipercolesterolemia, algunos tipos de cáncer y alergias alimentarias, entre otros trastornos. El capítulo abordará los últimos avances relativos a la utilización de bacterias lácticas como probióticos en el ámbito de la alimentación y sus efectos benéficos.

Palabras clave: bacterias lácticas, probióticos, efectos benéficos.

Introducción

Aunque los productos lácteos fermentados han sido conocidos por siglos, el conocimiento de los efectos benéficos de algunas bacterias lácticas data de principios del siglo xx (Metchnikoff, 1908). Sin embargo, fue hasta 1965 cuando Lilly y Stillwell utilizaron por primera vez el término probiótico, enfocándolo a los productos de fermentación láctica, donde el producto de éstas se consideraba estimulante para el crecimiento de otras bacterias (Lilly y Stillwell, 1965). La palabra probiótico surgió de su significado real, ya que se deriva de dos vocablos, del latín "pro" que significa por o a favor de y del griego "bios" que quiere decir vida.

En la actualidad la definición más aceptada de probiótico es "microorganismos vivos que tras su ingestión en cantidad adecuada, producen un efecto benéfico sobre una o varias funciones del organismo, proporcionando un mejor estado de salud y bienestar y/o reduciendo el riesgo de enfermedad del huésped que los consume más allá de la nutrición general" (FAO/OMS, 2001).

Características principales

Está implícito en la definición que el consumo del probiótico afecta la composición de la microflora intestinal e impacta de manera benéfica al consumidor (Goldin, 1998). Existen una serie de propiedades ideales que deben cumplir los microorganismos para considerarse como probióticos y poder ser usados en la industria como son resistencia a los ácidos y bilis, con potencial de adherencia a las células epiteliales y colonización del intestino humano, producción de sustancias antimicrobianas incluyendo bacteriocinas, peróxido de hidrógeno y ácidos orgánicos, buenas características de crecimiento y capacidad para ejercer uno o más beneficios a la salud humana. Una de las características más importante es que no debe ser patógeno y Generally Recognized As Safe (GRAS) (Gratz *et al.*, 2010).

Se recomienda una concentración de probiótico mínima de 10^7 ufc por porción de consumo (Health Canada, 2009). La ingesta elevada de estos microoganismos así como el consumo repetido de los mismos permite la colonización en el caso de bacterias que no crecen habitualmente en el intestino y la autoreplicación de las que son de origen intestinal. Permite además, mantener su viabilidad bajo condiciones de almacenamiento y uso en campo. Para garantizar la seguridad y el mantenimiento de la viabilidad bacteriana bajo condiciones industriales se han desarrollado diferentes matrices de encapsulación y soporte que protejan a los microorganismos para que lleguen vivos al tracto intestinal (Heidebach *et al.*, 2012)

Sin embargo, las evidencias sugieren que a pesar de una cuidadosa selección de las cepas probióticas, los efectos producidos después de suspender el tratamiento con probióticos son de duración limitada, por lo que se concluye que el mejor esquema de administración es la ingesta continua, lo que asegura que el probiótico esté presente en el intestino en grandes números y sea capaz de tener actividad metabólica para mostrar su efecto probiótico. Otras características deseables en un probiótico son un precio accesible, facilidad para ser aplicados en los alimentos, resistencia a los procesos tecnológicos de elaboración y almacenamiento del alimento y no conferir propiedades organolépticas no deseadas (Prado *et al.*, 2008).

Se han propuesto varios beneficios potenciales que surgen de los cambios al entorno intestinal a través de la ingestión de los probióticos, incluyendo aumento en la tolerancia a la lactosa e influencia positiva en la microflora intestinal, restauración de la microflora intestinal normal tras tratamientos con antibióticos, aumento en la resistencia a las enfermedades infecciosas, mejora del funcionamiento intestinal a través de la reducción del pH intestinal y la reducción de amonio y otros compuestos tóxicos, disminución del riesgo y duración de diarrea, reducción en la concentración de colesterol sérico, reducción de alergias y enfermedades atópicas, mejora en desórdenes funcionales y enfermedades inflamatorias del intestino y actividad anticarginogénica (Prado *et al.*, 2008).

Se ha dedicado mucho esfuerzo a aislar y seleccionar cepas con propiedades apropiadas para considerarlas probióticas, principalmente con características que podrían permitir a los microorganismos sobrevivir su paso a través del tracto digestivo. Probablemente el obstáculo más grande a enfrentar es que el concepto de probiótico está basado en un entendimiento muy pobre de la microflora intestinal. El concepto se concentra esencialmente en dos grupos de bacterias, lactobacilos y bifidobacterias, ignorando la inmensa variedad de otras especies que habitan el tracto intestinal (Kelly *et al.*, 2012).

Así pues, el conocimiento fundamental de las bacterias intestinales y sus interacciones entre sí y con el huésped humano u otro animal es un requisito previo para la investigación y desarrollo exitoso de los probióticos (Bron *et al.*, 2012). Es necesario recordar que el principal criterio que debe cumplir una bacteria probiótica es que debe conferir un beneficio a la salud del hospedador. Este beneficio solo puede ser demostrado a través de estudios en humanos adecuadamente diseñados y llevados a cabo. Es necesario insistir en que los beneficios sobre la salud son cepa dependientes y que no se puede extrapolar los resultados obtenidos para una cepa a microorganismos genéticamente próximos o relacionados (De Vuyst *et al.*, 2008).

Modo de acción de los probióticos

Se han estudiado los diferentes modos de acción por los cuales las bacterias probióticas ejercen sus efectos y pueden inhibir la colonización de patógenos describiendo principalmente tres mecanismos (Bron *et al.*, 2012). El primero de ellos es por exclusión competitiva de la flora patógena ya sea por inhibición directa o por actividad competitiva de la cepa probiótica o a través de la influencia de las cepas probióticas en la microbiota endógena del huésped (Corr *et al.*, 2009). En segundo lugar, determinadas cepas probióticas pueden incrementar la función barrera del epitelio modulando las rutas metabólicas que conducen al incremento de la producción de mucus o de defensina (Schlee *et al.*, 2008), o previniendo la apoptosis (Yan *et al.*, 2007), o pueden incrementar la función "tight junction" (Anderson *et al.*, 2010; Karczewski *et al.*, 2010). En tercer lugar, los probióticos pueden modular el sistema inmunlógico del hospedador (O'Flaherty *et al.*, 2010), particularmente en el intestino delgado. Esta región del intestino contiene una gran proporción de la capacidad inmunomodulatoria del cuerpo, y el tamaño de la población de la microbiota endógena para este lugar es relativamente pequeña, permitiendo el tránsito dominante de los microorganismos ingeridos en la dieta, incluidos los probióticos (Booijink *et al.*, 2010). Debido a la permeabilidad intestinal y la producción de compuestos bioactivos o metabolitos de regulación, a través de la modulación de parámetros inmunológicos, los probióticos no sólo actúan en el intestino si no que también afectan otros órganos (de Vrese y Schrezenmeir, 2008). Es necesario remarcar, que cualquiera de estas interacciones pueden estar afectadas *in situ* por los ácidos grasos de cadena corta presentes en el medio, que pueden afectar o incluso mediar en algunos de los aspectos benéficos de los probióticos (Fukuda *et al.*, 2011; Veiga *et al.*, 2010).

Microorganismos probióticos

El grupo de bacterias lácticas representa el comensal más numeroso de la microflora del tracto gastrointestinal del ser humano y son usadas frecuentemente como probióticos, ya sea aisladas o en combinación para la fermentación de productos alimenticios, dada su capacidad de producir ácido láctico. *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Bifidobacterium* son los géneros más comúnmente usados (Chiang y Pan, 2012), aunque no los únicos tal y como se aprecia en el cuadro 1.

Cuadro 1. Especies de microoganismos utilizadas como probióticos

Especies de bacterias ácido lácticas	*Especies de Bifidobacterium*	*Otras Especies*
Enterococcus faecalis *Enterococcus faecium* *Lactococcus lactis* sp.*cremoris* *L. lactis* sp. *lactis* *Lactobacillus. acidophilus* *Lb. amylovorus* *Lb. brevis* *Lb. casei* *Lb. casei* sp. *rhamnosus* *Lb. crispatus* *Lb. curvatus* *Lb. delbrueckii* sp.*bulgaricus* *Lb. fermentum* *Lb. gasseri* *Lb. helveticus* *Lb. johnsonii* *Lb. lactis* *Lb. paracasei* *Lb. plantarum* *Lb. reuteri* *Leuconostoc mesenteroides* sp. *dextranicum* *Pediococcus acidilactici* *Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus* *S. diacetylactis* *S. intermedius*	*Bf. adolescentis* *Bf. animalis* *Bf. breve* *Bf. bifidum* *Bf. infantis* *Bf. lactis* *Bf. longum*	*Bacillus cereus* *Clostridium butyricum* *Escherichia coli* *Saccharomyces boulardii* *Propionibacterium freudenreichii*

Fuente: Prado *et al.* (2008).

Más de seiscientos productos elaborados por la industria láctea en 2006 usaron el término probiótico (Sveje, 2007). Esta nueva generación de productos de leche fermentada contiene una selección de especies microbianas aisladas del intestino humano, las cuales tienen la capacidad de colonizarlo. En los productos fermentados se utilizan principalmente *Lb. acidophilus* y *Bifidobacterium*, pero como consecuencia del largo período de fermentación de la leche, se obtiene un sabor picante por la producción de ácido acético, por lo que se hacen combinaciones con otras bacterias lácticas. Así pues, otro de los lactobacilos intestinales de mayor aplicación es *L. casei*, utilizado como principal iniciador de la bebida japonesa conocida como

"Yakult" y más recientemente en productos como "Actimel". *Lb. johnsonii, Lb. plantarum* y *Lb. rhamnosus* son las cepas probióticas incluidas en los productos "LC1", "ProViva", "Gelifus" y "Vifit" respectivamente (De Vuyst *et al.*, 2008).

BAL probióticas y efectos benef ciosos en la salud humana

A continuación se describirán algunos de los trabajos más recientes en cuanto al efecto de cepas probióticas BAL en la salud humana.

Enfermedades y problemas gastrointestinales

Son los problemas digestivos y enfermedades gastrointestinales donde se ha encontrado más evidencia sobre los efectos beneficiosos de los probióticos (Floch *et al.*, 2008).

a) Estómago. Se relaciona a *H. pylori* con el desarrollo de úlcera péptica. Cepas de *Lb. johnsonii, Lb. paracasei, Lb. casei, Lb. acidophilus, Lb. gasseri* han demostrado en diferentes estudios capacidad para disminuir la infección por *Helicobacter pylori* cuando han sido suministradas en productos lácteos solas o combinadas con *Bifidobacterium* (Cats *et al.*, 2003; Cruchet *et al.*, 2003). De hecho se consideran los probióticos como una mejor alternativa para la prevención del cáncer gástrico asociado a *H. pylori* que las estrategias de erradicación (Lee *et al.*, 2010).

b) Intestino delgado y grueso. El beneficio mejor estudiado de las bacterias presentes en las leches fermentadas es la reducción de la mala digestión e intolerancia a la lactosa debido a la producción del enzima ß-galactosidasa por administración de cepas probióticas de *Lb. paracasei, L. johnsonii* y *Bf. lactis* (Kruszewska *et al.*, 2002; Prioult *et al.* 2003).

La diarrea aguda causada por virus o bacterias, es un problema muy común en niños en países en desarrollo. Varios estudios han probado la eficacia de cepas de probióticos como *Lb. acidophilus, Lb. reuteri, Lb. rhamnosus, Lb. casei,* combinadas con *Saccharomyces boulardi* y/o bifidobacterias, en la reducción de la duración de la diarrea aguda en niños, vírica o bacteriana, en la prevención de la diarrea relacionada con los antibióticos, la diarrea del viajero e incluso diarrea asociada a *Clostridium difficile* (Eswara *et al.*, 2010; Preidis *et al.*, 2011; Quigley, 2007, Thomas y Greer, 2010).

Las enfermedades inflamatorias intestinales se refieren a desórdenes intestinales de causas desconocidas que se caracterizan por una inflamación intestinal crónica o recurrente. Estos desórdenes incluyen la colitis ulcerosa, la enfermedad de Crohn y la pouchitis. Los mecanismos responsables del inicio e instauración de estas enfermedades permanecen desconocidos, pero la teoría más aceptada es que es una respuesta de la mucosa del intestino hospedador a otros miembros de la microflora presente (Eswara *et al.*, 2010). En este tipo de enfermedades existe literatura extensa sobre los efectos antiinflamatorios o inmunomoduladores de los probióticos. Por ejemplo *Lb. reuteri* y *Lb. plantarum* previenen y atenúan la severidad de la colitis (Yu, 2011).

El síndrome del intestino irritable es una serie de síntomas gastrointestinales que van desde dolor abdominal, distensión, y alteraciones en la función defecatoria. Clarke *et al.* (2012), en su revisión describen y comparan estudios recientes enfocados en la aplicación de bacterias lácticas y bifidobacterias en la disminución de síntomas relacionados con el intestino irritable. Las especies lácticas más frecuentemente utilizadas y que demostraron efecto en la reducción del dolor abdominal fueron *Lb. rhamnosus, Lb. acidophilus, Lb. plantarum* y *Lb. paracasei,* sin embargo cepas de *Lb. casei* y de *Lb. reuteri* no mejoraron el dolor abdominal (Barrett *et al.*, 2008; O'Sullivan y O'Morain, 2000). Respecto a otros problemas relacionados con el intestino irritable como distensión y alteraciones en la función defecatoria, la utilización de cepas de bacterias lácticas no resultó una mejora frente a la utilización de un placebo en la mayoría de los estudios (Clarke *et al.*, 2012).

También se han observado efectos positivos en enfermedades del hígado asociadas al consumo de alcohol mediante la utilización de *Lb. rhamnosus* GG, *Lb. plantarum* combinado con *Bifidobacterium,* sin embargo, no hay muchos estudios al respecto (Gratz *et al.*, 2010).

Infecciones vaginales y urinarias

Cepas de *Lb. rhamnosus, Lb. reuteri, Lb. acidophilus, Lb. gasseri, Lb. casei, Lb. fermentun,* aplicados por vía vaginal solos o combinados, han resultado efectivos en el tratamiento de infecciones vaginales, alcanzando una eficacia de curación comparable a los tratamientos convencionales con antibióticos (Barrons y Tassone, 2008). La actividad antimicrobiana se basa fundamentalmente en la capacidad de mantener el pH vaginal por debajo de 4.5 y la producción de sustancias antimicrobianas adicionales como bacteriocinas y peróxido de hidrógeno, producción de biosurfactantes que inhiben la adhesión de los microorganismos patógenos a las células uroepiteliales y

la capacidad para formar coagregados con las células patógenas donde se concentran las sustancias antimicrobianas que producen.

Respecto a las infecciones urinarias existe una correlación entre la pérdida de microbiota, especialmente bacterias lácticas y el aumento en la incidencia de infecciones genitales y urinarias (Amdekar *et al.*, 2011). Aproximadamente más del 50% de la población femenina ha sufrido alguna vez en su vida una infección urinaria y la recurrencia es alrededor del 25-30 por ciento (Rahn, 2008). De entre los patógenos involucrados en este tipo de infecciones, *E. coli* es el microorganismo frecuentemente asociado. Se ha visto el efecto positivo de los probióticos en este tipo de infecciones, si bien el mecanismo de defensa no está totalmente comprendido (Amdekar *et al.*, 2011).

Reducción de colesterol

La hipercolesterolemia es uno de los diversos factores de riesgo en enfermedades cardiovasculares como ateroesclerosis, enfermedades coronarias y accidentes cerebrovasculares. Más del 10% de las muertes a nivel mundial se deben a este tipo de enfermedades (OMS, 2011).

Varios estudios han probado la eficiacia en ratas de la administración de cepas de *Lb. acidophilus*, *Lb. plantarum*, *Lb. fermentum*, *Lb. casei* subsp *casei*, *Lb. paracasei* subsp *paracasei*, solas o mezcladas en la reducción de los niveles de colesterol sérico (Tsai *et al.*, 2009). Sin embargo, los resultados de la administración de probióticos en humanos para reducir el colesterol son inconsistentes ya sea por los diferentes modos de administración como por las diferentes cantidades utilizadas (Guo *et al.*, 2011).

Los mecanismos propuestos para la disminución de los niveles de colesterol por parte del las BAL es la absorción directa y asimilación del colesterol en la membrana celular (Noh *et al.*, 1997) y disminución de la actividad de la HMG-COA reductasa, así como la disminución *in vivo* de formación de micelas de colesterol debido a los metabolitos producidos por las BAL, especialmente ácidos grasos de cadena corta (Fukushima y Nakano 1996).

Cáncer de colon

Burns y Rowland (2003) refieren que la modificación de la microflora intestinal interfiere con el proceso de carcinogénesis, y esto abre la posibilidad de plantear modificaciones en la dieta para reducir el riesgo de cáncer de colon. En este sentido, se ha prestado una especial atención a los probióticos y prebióticos, que modifican la microflora aumentando el número de lactobacilos y bifidobacterias en el colon.

Diversos estudios sobre el papel de las bacterias probióticas en la prevención del cáncer del colon, han mostrado que la adición en la dieta de lactobacilos y bifidobacterias ejercen un efecto antagónico hacia microorganismos patógenos como *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens* (Reddy y Rivenson, 1993), además de que son capaces de producir sustancias que contrarrestan el desarrollo de cáncer al llevar a cabo la conversión de precarcinógenos en sustancias sin esta actividad (Krul *et al.*, 2002) como las enzimas fecales implicadas en la carcinogénesis (ß-glucuronidasa, azoreductasa, nitrato reductasa y ß-glucosidasa). Se ha propuesto que los probióticos modulan la actividad metabólica de la microflora intestinal por el antagonismo que ejercen sobre el desarrollo de microorganismos patógenos al competir con ellos por nutrientes disponibles y factores de crecimiento, produciendo bacteriocinas y citoquinas para controlar el crecimiento de otros microorganismos, e incrementando la síntesis de ácido láctico y ácidos grasos de cadena corta, principalmente acetato, propionato y butirato, disminuyendo el pH luminal y modulando la actividad enzimática, además de que estos compuestos están asociados con el efecto preventivo contra el cáncer (Sakata *et al.*, 1999; Rolfe, 2000; Commane *et al.*, 2005; Dinoto *et al.*, 2006; Arribas, 2009).

Sistema Inmunitario

Los efectos de las cepas prebióticas en el sistema inmune han sido observados tanto en funciones específicas como no específicas (Lomax y Calder, 2009). Entre estos efectos podemos mencionar la elevación de los niveles séricos de IL-10 por *Lb. rhamnosus* GG, *Lb. plantarum* y *S. salivarius* ssp. *thermophilus* (Drakes *et al.*, 2004, Vizoso Pinto *et al.*, 2007), la capacidad de *Lb. paracasei* de activar los macrófagos y linfocitos mejorando los niveles de IGA y producción de gama interferón (Reid *et al.*, 2003) y la producción de B-galactosidasa, por *Lb. paracasei* lo que conduce a la mejora de la intolerancia a la lactosa (Prioult *et al.*, 2003).

Se ha reportado también que *Lb. rhamnosus* GG y *Lb. casei* Shirota han mostrado efectos benéficos al incrementar el número de IgA y otras inmunoglobulinas además de estimular la liberación de interferones (Kato *et al.*, 1999, Gupta y Garg, 2009). Algunas otras como *Lb. acidophillus* La1 incrementan la fagocitosis y secretan enzimas lisosomales (Gill *et al.*, 2000). En algunas líneas celulares de macrófagos, se ha detectado la liberación de compuestos antiinflamatorios producidos por *Bf. breve* y *S. thermophillus* que mantienen su efecto inhibitorio después del transporte transepitelial y resistiendo también el efecto de las enzimas digestivas, lo que indica la capacidad de estos compuestos para poder presentar una actividad *in vivo* (Ménard *et al.*, 2004).

La importancia de la respuesta inmune basada en los hallazgos de estudios clínicos y en animales, de los efectos estimulantes de los prebióticos sobre células antigénicas en el intestino, que promueven la protección y la activación de un mecanismo regulatorio, ha sido tan satisfactoria en algunos casos, que incluso se ha sugerido para algunas cepas el término "inmunobióticos" en vez de "prebióticos" (Clancy, 2003).

Obesidad y diabetes

Existen estudios que han vinculado la obesidad con la microflora existente en el intestino, encontrando que la población microbiana de las personas obesas es diferente a la de las personas delgadas. Además, se demostró que a medida que las personas obesas pierden peso, la composición de la microflora cambia y se parece más a la de los individuos delgados, sugiriendo que, el aumento de ciertas bacterias benéficas podría tener potencial como auxiliar en el control de peso (Ley *et al.*, 2006). Dados estos resultados, así como la importancia actual de este padecimiento, recientemente, muchos estudios se han enfocado en los efectos anti-obesidad de las BAL utilizando la administración productos fermentados con cepas probióticas de *Leuconostoc citreum* y *Lb. plantarum* (Kim *et al.*, 2008b), *Lb. plantarum* (Takemura *et al.*, 2010), *Lb. gasseri* (Kadooka *et al.*, 2010; Kang *et al.*, 2010), *Lb. rhamnosus* PL60 (Lee *et al.*, 2006), y *Lb. paracasei* (Lo, 2011), que han dado como resultado efectos tales como la disminución de los niveles de colesterol sérico, el tamaño de los adipocitos, del tejido blanco adiposo, de la grasa abdominal, peso corporal, índice de masa corporal y circunferencia de cadera y cintura, por lo que se ha sugerido que pueden ser auxiliares en la prevención de la acumulación de grasa corporal.

Un padecimiento que se encuentra estrechamente relacionado con la obesidad, es la diabetes, por lo que diversos estudios se han realizado con la finalidad de evaluar

la eficacia de probióticos frente a esta enfermedad. La mayoría de ellos se han realizado en animales y solo algunos con humanos, utilizando las cepas solas o en combinación con prebióticos o con medicamentos de uso habitual para el control de este padecimiento (Al-Salami *et al.*, 2008). Se han utilizado cepas de *Lb. casei* (Matsuzaki *et al.*, 1997), *Lb. acidophilus, Lb. casei* y *L. lactis* (Yadav *et al.*, 2006), *Lb. johnsonii y Lb. reuteri* (Valladares *et al.*, 2010) *Lb. rhamnosus* GG (Tabuchi *et al.*, 2003). Entre los mecanismos que producen este efecto se ha encontrado la inhibición de la producción de citosina, disminución de glucógeno en el hígado, disminución de los niveles de colesterol en sangre, que consecuentemente conduce a la disminución en la incidencia de la resistencia a la insulina, lo que ha fortalecido la hipótesis de que microbiota específica del intestino puede inducir autoimnumidad y por tanto auxiliar en la prevención de la diabetes (Burcelin *et al.*, 2011).

Alergias

Cepas de *Lb. rhamnosus* GG (Shandilya y Jadhav, 2011), *Lb. reuteri* (Kukkonen *et al.*, 2007) han demostrado efectos positivos en la disminución de dermatitis atópica mientras que *Lb. acidophilus* (Taylor *et al.*, 2007) no ejerció ningún efecto cuando eran suministradoa través de productos lácteos fermentados.

En el caso de asma hay pocos estudios y se suelen enfocar más al tratamiento que a la prevención usando cepas de *Lb. casei* (Giovannini *et al.*, 2007) o *Lb. acidophilus* pero no siempre con buenos resultados (Wheeler *et al.*, 1997). Para el caso de la rinitis alérgica los datos son aún más contradictorios, algunos autores sugieren eficacia de los probióticos en la reducción de la rinoconjuntivitis como es el estudio realizado por Wang *et al.* (2004), con *L. paracasei* y de Morita *et al.* (2006), con *Lb. gasseri,* mientras que *Lb. rahmnosus* y *Lb. casei* no mostraron efectos positivos (Tamura *et al.*, 2007).

Conclusiones

Las bacterias probióticas se han consumido en productos alimenticios por miles de años, por millones de las personas, sin efectos dañinos y por consiguiente, con estas bases, pueden ser considerados productos seguros. Muchos de los efectos atribuidos a la ingestión de probióticos, sin embargo, permanecen sin ser comprobados científicamente. Esta situación podrá ser resuelta aportando la descripción exacta de los microorganismos probióticos involucrados y desarrollando y entendiendo los mecanismos de

control para tales propiedades funcionales, que son vitales para la sobrevivencia y actividad de estos microorganismos en el tracto gastrointestinal humano.

Sobre los autores

Eva María Santos López, Irais Sánchez Ortega, Armida Zúñiga Estrada. Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5. Pachuca, Hgo. CP 42076. Tel. 77172000 extensión 2516, Fax 77172000 extensión 6502, correo electrónico emsantos@uach.edu.mx; irais5@hotmail.com; draarmy@hotmail.com

Referencias

Al-Salami, H., G. Butt, J. P. Fawcett, I. G. Tucker, S. Golocorbin-Kon and M. Mikov (2008), "Probiotic treatment reduces blood glucose levels and increases systemic absorption of gliclazide in diabetic rats", *European ournal of Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 33, pp. 101-106.

Amdekar, S., v. Singh and D. D. Singh (2011), *Probiotic therapy. Current Microbiology*, 63, pp. 484-490.

Anderson, R. C., A. L. Cookson, W. C. McNabb, Z. Park, M. J. McCann, W. J. Kelly and N. C. Roy (2010), "Lactobacillus plantarum MB452 enhances the function of the intestinal barrier by increasing the expression levels of genes involved in tight junction formation", BMC Microbiology, 10, p. 316.

Arribas, A. M. B. (2009), "Probióticos: una nueva estrategia en la modulación del sistema inmune". tesis Doctoral. Universidad de Granada, España.

Barrett J. S., K. E. Canale, R. B. Gearry, P. M. Irving and P. R. Gibson (2008), "Probiotic effects on intestinal fermentation patterns in patients with irritable bowel syndrome", World Journal of Gastroenterology, 14, pp. 5020-5024.

Barrons R. and D. Tassone (2008), "Use of Lactobacillus probiotics for bacterial genitourinary infections in women: a review", Clinical Therapeutics 30(3), pp. 453-68.

Booijink, C. C., S. El-Aidy, M. Rajilić-Stojanović, H. G. H. J. Heilig, F. J. Troost, H. Smidt, M. Kleerebezem, W. M. De Vos and E. G. Zoetenda (2010), High temporal and inter-individual variation detected in the human ileal microbiota", *Environmental Microbiology*, 12, pp. 3213-3227.

Bron, P.A., P. van Baarlen and M. Kleerebezem (2012), "Emerging molecular insights into the interaction between probiotics and the host intestinal mucosa", *Nature Reviews Microbioogy 10*, pp. 66-78.

Burcelin R., M. Serino, Ch. Chabo, v. Blasco-Baque and J. Amar (2011), *Gut Microbiota and diabetes: from pathogenesis to therapeutic perspective Acta Diabetologica*, 48, pp. 257-273.

Burns, A. J. and I. R. Rowland (2000), "Anticarcinogenicity of probiotics and prebiotics", *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 1, pp. 13-24.

Cats A., E. J. Kuijpers, M. A. R. Bosschaert, R. G. J. Pot, C. M. J. E. Vandenbroucke-Grauls and J. G. Kusters (2003), "Effect of fermented consumption of a Lactobacillus casei-containing milk drink in Helicobacterpylori-colonized subjects. Alimentary", *Pharmacology and Therrapeutics* 17, pp. 429-435.

Chiang, S. S. and T. M. Pan (2012), "Beneficial effects of Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei NTU 101 and its fermented products", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 93, pp. 903-916.

Clancy, R. (2003), *Immunobiotics and the probiotic evolution. FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 38, pp. 9-12.

Clarke, G., J. F. Cryan, T. G. Dinan and E. M. Quigley (2012), "Review article: probiotics for the treatment of irritable bowel síndrome-focus on lactic acid bacteria. Alimentary", *Pharmacology and Therrapeutics*, 35, pp. 403-4013.

Corr, S. C., C. Hill and C. G. Gahan (2009), "Understanding the mechanisms by which probiotics inhibit gastrointestinal pathogens", *Advances in Food & Nutrition Research 56*, pp. 1-15.

Commane D., R. Hughes, C. Shortt and I. Rowland (2005), "The potential mechanisms involved in the anti-carcinogenic action of probiotics", *Mutation Research*, 591, pp. 276-289.

Cruchet, S., M.C. Obregon, G. Salazar, E. Diaz and M. Gotteland (2003), "Effect of ingestion of a dietary product containing Lactobacillus johnsonii Lal on Helicobacter pylori colonization in children", *Nutrition 19*, pp. 716-721.

de Vrese, M. and J. Schrezenmeir (2008), *Probiotics, prebiotics, and synbiotics. Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology*, 111, pp. 1-66.

De Vuyst, L., G. Falony and F. Leroy (2008), "Probiotics in fermented sausages", *Meat Science 80*, pp. 75-78.

Dinoto A., A. Suksomcheep, S. Ishizuka, H. Kimura, S. Hanada, Y. Kamagata, K. Asano, F. Tomita and A. Yokota (2006), *Modulation of rat cecal microbiota by administration of raffinose and encapsulated Bifidobacterium breve. Applied and Environmental Microbiology*, 72(1), pp. 784-792.

Drakes, M., T. Blanchard and S. Czinn (2004), *Bacterial probiotic modulation of dendritic cells. Infection and Immunity,* 72, pp. 3299-3309.

Eswara Murali, S., BTVV Kavitha, J. G. Srikanth and G. Velmani (2010), "Probiotics as potential therapies in human gastrointestinal health", *International Journal of Advances in Pharmaceutical Sciences,* 1, pp. 96-110.

FAO/OMS (2001), *Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria,* Cordoba, Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization Expert Consultation Report.

Floch M.H., W. A. Walker, S. Guandalini, P. Hibberd, S. Gorbach, C. Surawicz, M. E. Sanders, G. Garcia-Tsao, E. M. Quigley and E. Isolauri (2008), "Recommendations for probiotic", *Journal of Clinical Gastroenterology,* 42 (suppl. 2), pp. S104-S108.

Fukuda, S., H. Toh, K. Hase, K. Oshima, Y. Nakanishi, K. Yoshimura, T. Tobe, J. M. Clarke, D. L. Topping, T. Suzuki, T. D. Taylor, K. Itoh, J. Kikuchi, H. Morita, M. Hattori and H. Ohno (2011), "Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate", *Nature,* 469, pp. 543-547.

Fukushima M. and M. Nakano (1996), "Effects of mixture of organisms, Lactobacillus acidophilus or Streptococcus faecalis on cholesterol metabolism in rats fed on a fat- and cholesterol-enriched diet", *British Journal of Nutrition,* 76, pp. 857-867.

Gill, H.S., K. J. Rutherfurd, J. Prasad and P. K. Gopal (2000), "Enhancement of natural and acquired immunity by Lactobacillus rhamnosus (HN001), Lactobacillus acidophilus (HN017) and Bifidobacterium lactis (Hn019)", *British Journal of Nutrition,* 83, pp. 167-176.

Giovannini M, C. Agostoni, E. Riva, F. Salvini, A. Ruscitto, G. v. Zuccotti.and G. Radaelli (2007), "A randomized prospective double blind controlled trial on effects of longterm consumption offermented milk containing Lactobacillus casei in pre-school children with allergic asthma and/or rhinitis", *Pediatric Research,* 62(2), pp. 215-20.

Goldin, B. R. (1998), "Health benefits of probiotics", *British Journal of Nutrition,* 80, pp. 203-207.

Gratz, S. W., H. Mykkanen and H. S. El-Nezami (2010), "Probiotics and gut health: a special focus on liver diseases", *World Journal of Gastroenterology,* 28 (16), pp. 403-410.

Guo, Z., X. M. Liu, Q. X. Zhang, Z. Shen, F. W. Tian, H. Zhang, Z. H. Sun, H. P. Zhang and W. Chen (2011), "Influence of consumption of probiotics on the plasma lipid profile: A meta-analysis of randomized controlled trials", *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases,* 21, pp. 844-850.

Gupta, v. and R. Garg (2009), "Probiotics", *Indian Journal of Medical Microbiology,* 27(3), pp. 202-209.

Health Canada (2009), "The Use of Probiotic Microorganisms in Food", Section 8.7. disponible en http://www.inspection.gc.ca/english/fssa/labeti/guide/ch8ae.shtml#a8_7; consultado el 26de marzo del 12.

Heidebach, T., P. Först and U. Kulozik (2012), "Microencapsulation of probiotic cells for food applications", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, pp. 291-311.

Kadooka Y., M. Sato, K. Imaizumi, A. Ogawa, K. Ikuyama, Y. Akai, M. Okano, M. Kagoshima and T. Tsuchida (2010), "Regulation of abdominal adiposity by probiotics (Lactobacillus gasseri SBT2055) in adults with obese tendencies in a randomised controlled trial", *European Journal of Clinical Nutrition*, 64, pp. 636-643.

Kang J.H., S. I. Yun and H.O. Park (2010), "Effects of Lactobacillus gasseri BNR17 on body weight and adipose tissue mass in diet-induced overweight rats", *Journal of Microbiology*, 48, pp. 712-714.

Karczewski, J., F. J. Troost, I. Konings, J. Dekker, M. Kleerebezem, R. J. M. Brummer and J. M. Wells (2010), "Regulation of human epithelial tight junction proteins by Lactobacillus plantarum in vivo and protective effects on the epithelial barrier", American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology, 298, pp. G851-G859.

Kato, I., K. Tanaka and T. Yokokura (1999), "Lactic acid bacterium potently induces the production of interleukin-12 and interferon-□ by mouse splenocytes", *International Journal of Immunopharmacology*, 21, pp. 121-131.

Kelly, D., M. I. Delday and I. Mulder (2012), "Microbes and microbial effector molecules in treatment of inflammatory disorders", *Immunology Reviews*, 245, pp. 27-44.

Kim N.H., P. D. Moon, S. J. Kim, I. Y. Choi, H. J. An, N. Y. Myung, H. J. Jeong, J. Y. Um, S. H. Hong and H. M. Kim (2008b), "Lipid profile lowering effect of Soypro™ fermented with lactic acid bacteria isolated from Kimchi in high-fat diet-induced obese rats", *Biofactors*, 33, pp. 49-60.

Krul C., C. Humblot, C. Philippe, M, Vermeulen, M. van Nuenen, R. Havenaar and S. Rabot (2002), "Metabolism of sinigrin (2-propenyl glucosinolate) by the human colonic microflora in a dynamic *in vitro* large-intestinal model", *Carcinogenesis*, 23, pp. 1009-1016.

Kruszewska, D., J. Lan, G. Lorca, N. Yanagisawa, I. Marklinder and Å. Ljungh (2002), *Selection of Lactic Acid Bacteria as probiotic strains by in vitro tests. Microbial Ecology in Health and Disease*, 29, pp. 37-49.

Kukkonen K., E. Savilahti, T. Haahtela, K. Juntunen-Backman, R. Korpela and T. Poussa (2007), "Probiotics and prebiotic galacto-oligosaccharides in the prevention of allergic diseases. a randomized, double-blind, placebo-controlled trial", *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 119(1), pp. 192-8.

Lee H.Y., Park J. H., Seok S.H., Baek M.W., Kim D.J., Lee K.E., Paek K.S., Lee Y., Park J. H. (2006), "Human originated bacteria, Lactobacillus rhamnosus PL60, produce conjugated linoleic acid and show anti-obesity effects in diet-induced obese mice", *Biochimica et Biophysica Acta,* 1761, pp. 736-744.

Lee J.S., N. S. Paek, O. S. Kwon, and K.B. Hahm (2010), "Anti-inflammatory actions of probiotics through activating suppressor of cytokine signaling (SOCS) expression and signaling in Helicobacter pylori infection: a novel mechanism", *Journal of Gastroenterology and Hepatology,* 25, pp. 194-202.

Ley, R.E., P. J. Turnbaugh, S. Klein and J. I. Gordon (2006), "Microbial ecology: human gut microbes associated with obesity", *Nature,* 444(7122), pp. 1022-3.

Lilly, D.M. and R. H. Stillwell (1965), "Probiotics: growth promoting factors produced by microorganisms", *Science,* 147, pp. 747-748.

Lo, Y.H. (2011), *The effect of Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei NTU 101 and Lactobacillus plantarum NTU 102 prevent the development of obesity and inflammatory response induced by high-fat diet. Master dissertation*, National Taiwan University.

Lomax A.R. and P. C. Calder (2009), *Probiotics, immune function, infection and inflammation: a review of the evidence from studies conducted in humans Current Pharmaceutical Design*, 15(13), pp. 1428-518.

Matsuzaki, T., R. Yamazaki, S. Hashimoto and T. Yokokura (1997), "Antidiabetic effect of an oral administration of Lactobacillus casei in a non-insulin dependent diabetes mellitus (NIDDM) model using KK-Ay mice", *Endocrine Journal*, 44, pp. 357-365.

Ménard, S., C. Candalh, J. C. Bambou, K. Terpend, N. Cerf-Bensussan and M. Heyman (2004), "Lactic acid bacteria secrete metabolites retaining anti-inflammatory properties after intestinal transport", *Gut,* 53, pp. 821-828.

Metchnikoff, E. (1908), *The prolongation of life*, 1st ed., Putmans Sons, New York.

Noh D.O., S. H. Kim, S. E. Gilliland (1997), "Incorporation of cholesterol into the cellular membrane of Lactobacillus acidophilus ATCC43121", *Journal of Dairy Science,* 80, pp. 3107-3113.

O'Flaherty, S., D. M. Saulnier, B. Pot and J. Versalovic (2010), *How can probiotics and prebiotics impact mucosal immunity? Gut Microbes,* 1, pp. 293-300.

O'Sullivan M.A. and C. A. O'Morain (2000), "Bacterial supplementation in the irritable bowel syndrome. A randomised double-blind placebocontrolled crossover study", *Digestive and Liver Disease,* 32, pp. 294-301.

OMS (2011), "The top 10 causes of death; Fact shee", num. 310. WHO, Geneva, disponible en http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/en/index.html; consultado el 26 de febrero 2012.

Prado, F. C., J. L. Parada, A. Pandey and C. R. Soccol (2008), *Trends in non-dairy probiotics beverages. Food Research Internaciona,* 141, pp. 111-123.

Preidis G. A., C. Hill, R. L. Guerrant, B. S. Ramakrishna, G. W. Tannock and J. Versalovic (2011), "Probiotics, enteric and diarrheal diseases, and global health", *Gastroenterology,* 140, pp. 8-14.

Prioult, G., I. Fliss and S. Pecquet (2003), "Effect of probiotic bacteria on induction and maintenance of oral tolerance to □-lactoglobulin in gnotobiotic mice", *Clinical and Diagnostic Laboratory Immunology,* 10, pp. 787–792.

Quigley E.M.M. and B. Flourie (2007), "Probiotics and irritable bowel syndrome: a rationale for their use and an assessment of the evidence to date", *Neurogastroenterology and Motility,* 19, pp. 166-72.

Rahn, D.D. (2008), *Urinary tract infections: contemporary management. Urol Nurs,* 8(5), pp. 333-341

Reddy B. and A. Rivenson (1993), "Inhibitory effect of Bifidobacterium longum on colon mammary and liver carcinogenesis induced by 2-amino-3-methylimidazo[4,5-f] quinoline, a food mutagen", *Cancer Research,* 53, pp. 3914-3918.

Reid, G., J. Jass, M. T. Sebulski and J. K. McCormick (2003), "Potential use of probiotics in clinical practice", *Clinical Microbiology Reviews,* 16, pp. 658-672.

Rolfe, R. D. (2000), "The role of probiotic cultures in the control of gastrointestinal health", *The Journal of Nutrition,* 130, pp. S396-S402.

Sakata T., T. Kojima, M. Fujieda, M. Miyakozawa, M. Takahashi and K. Ushida (1999), "Probiotic preparations dose-dependently increase net production rates of organic acids and decrease that of ammonia by pig cecal bacteria in batch culture", *Digestive Diseases and Sciences,* 44(7), pp. 1485-1493.

Schlee, M. J. Wehkamp, A. Altenhoefer, T. A. Oelschlaeger, E. F. Stange and K. Fellermann (2007), "Induction of human □-defensin 2 by the probiotic Escherichia coli Nissle 1917 is mediated through flagellin", *Infection and Immunity,* 75, pp. 2399-2407.

Shandilya, U. K. and S. Jadhav (2011), "Probiotics: Potent Inmunomodulatory tool aginst allergy", *Probiotics and Antimicrobial Proteins,* 3, pp. 151-158.

Sveje, M. (2007), "Probiotic and prebiotics e improving consumer health through food consumption", *Nutracoss.*

Tabuchi, M., M. Ozaki, A. Tamura, N. Yamada, T. Ishida, M. Hosoda and A. Hosono (2003), "Antidiabetic effect of Lactobacillus GG in streptozotocin-induced diabetic rats", *Bioscience Biotechnology & Biochemistry,* 67, pp. 1421-1424.

Takemura N., T. Okubo and K. Sonoyama (2010), "Lactobacillus plantarum strain No. 14 reduces adipocyte size in mice fed high-fat diet", *Experimental Biology and Medicine,* 235, pp. 849-856.

Tamura M., T. Shikina, T. Morihana, M. Hayama, O. Kajimoto, A. Sakamoto, Y. Kajimoto, O. Watanabe, C. Nonaka, K. Shida and M. Nanno (2007), "Effects of probiotics on allergic rhinitis induced by Japanese cedar pollen: randomized double-blind, placebo-controlled clinical trial", International Archives of Allergy and Immunology, 143(1), pp. 75-82.

Taylor A.L., J. A. Dunstan and S. L. Prescott (2007), "Probiotic supplementation for the first 6 months of life fails to reduce the risk of atopic dermatitis and increases the risk of allergen sensitization in high-risk children. a randomized controlled trial", *Journal of Allergy and Clinical Immunology,* 119(1), pp. 184-91.

Thomas D.W. and F. R. Greer (2010), "American Academy of Pediatrics Committee on Nutrition, American Academy of Pediatrics Section on Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition: Probiotics and prebiotics in pediatrics", *Pediatrics* 126, pp. 1217-1231.

Tsai T. Y., L. H.Chu, C. L. Lee and T. M. Pan (2009), "Atherosclerosis preventingactivity of lactic acid bacteria-fermented milk–soymilk supplemented with Momordica charantia", *Journal of Agricultural Food Chemistry,* 57, pp. 2065-2071.

Valladares R., D. Sankar, N. Li, E. Williams, K. K. Lai and A. S. Abdelgeliel (2010), *Lactobacillus johnsonii N6.2 mitigates the development of type 1 diabetes in BB-DP rats. Public Library of Science One* 5(5), p. e10507.

Veiga, P., C. A. Gallini, C. Beal, M. Michaud, M. L. Delaney, A. DuBois, A. Khlebnikov, V. van Hylckama, S. Punit, J. N., Glickman, A. Onderdonk, L. H. Glimcher and W. S. Garrett (2010), "Bifidobacterium animalis subsp. lactis fermented milk product reduces inflammation by altering a niche for colitogenic microbes", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 107, pp. 18132-18137.

Vizoso Pinto, M.G, T. Schuster, K. Briviba, B. Watzl, W. H. Holzapfel and C. M. Franz (2007), "Adhesive and chemokine stimulatory properties of potentially probiotic Lactobacillus strains", *Journal of Food Protection,* 70, pp. 125-134.

Wang M.F., H.C. Lin, Y. Y. Wang and C. H. Hsu (2004), "Treatment of perennial allergic rhinitis with lactic acid bacteria", *Pediatric Allergy and Immunology,* 15(2), pp. 152-8.

Wheeler J.G., S. J. Shema, M. L. Bogle, M. A. Shirrell, A. W. Burks, A. Pittler and R. M. Helm (1997), "Immune and clinical impact of Lactobacillus acidophilus on asthma. Annals of Allergy", *Asthma and Immunology* 79(3), pp. 229-33.

Yadav, H., S. Jain, P. R. Sinha (2006), "Antidiabetic effect of probiotic dahi containing Lactobacillus acidophilus and Lactobacillus casei in high fructose fed rats", *Nutrition* 23, pp. 62-68.

Yan, F., H. Cao, T. L. Cover, R. Whitehead, M. K. Washington and D.B. Polk (2007), "Soluble proteins produced by probiotic bacteria regulate intestinal epithelial cell survival and growth", *Gastroenterology,* 132, pp. 562-575.

Yu, H. (2011), *Bacteria-mediated disease therapy. Applied Microbiology and Biotechnollogy,* 92, pp. 1107-1113.

Péptidos bioactivos de fuentes vegetales y animales

Aurea Bernardino Nicanor, Cristina Pérez Pérez, María de los Angeles Vivar Vera, José Luis Montañez Soto, Leopoldo González Cruz

Resumen

Los péptidos bioactivos pueden obtenerse por proteólisis o por medio de procesos biotecnológicos. Los péptidos bioactivos de origen vegetal más ampliamente conocidos son los provenientes de la soya, los cuales han demostrado presentar actividad anticarcinogénica, hipocolesterolémica y antihipertensiva. Sin embargo, la soya no es la única leguminosa cuyas proteínas proveen de péptidos bioactivos, el frijol también ha demostrado contener péptidos con actividad antifúngica y actividad anticancerígena. Por otra parte, las proteínas de origen animal cuya proteólisis genera péptidos bioactivos, son las caseínas de la leche, las cuales han mostrado actividad antimicrobiana, antihipertensiva y regulación del sistema inmune y nervioso, así como las proteínas del huevo, que presentan actividad antioxidante y antihipertensiva. Actualmente las investigaciones realizadas con los péptidos bioactivos han permitido determinar sus propiedades funcionales tales como: actividad hipoglucémica, hipocolesterolémica, anticancerígena, anticarcinogénica, antihipertensiva, antioxidante, antitrombótica, antimicrobiana e inhibitoria de la ACE (enzima convertidora de la angiotensina).

Palabras clave: péptidos, bioactividad, aminoácidos, proteínas.

Introducción

Los péptidos bioactivos forman parte de la secuencia de aminoácidos de una proteína, usualmente consisten de 3 a 20 aminoácidos, pueden ser liberados por medio de enzimas microbianas (*in vitro*) o durante la digestión por efecto de la enzima digestiva tripsina (*in vivo*), pudiendo desplegar su bioactividad en el intestino delgado o grueso (Murakami *et al.*, 2004). Sin embargo, ya que la actividad microbiana es predominante en el intestino grueso, la degradación originada en este sitio permite una mayor liberación de péptidos bioactivos, tal es el caso de la lactoferrina o las inmunoglobulinas (Igo *et al.*, 2009). Se ha encontrado que los péptidos cortos (dipéptidos y tripéptidos) son más rápidamente absorbidos en el intestino, manteniendo un buen balance de aminoácidos después de la absorción, pero no garantizan su bioactividad. Por otra parte, la actividad de los péptidos es baja cuando se consumen como parte de los alimentos, disminuyendo los beneficios a la salud, por lo que actualmente se realiza la incorporación de altas proporciones de estos compuestos en alimentos por medio de ingeniería genética, facilitando la terapia de diferentes enfermedades por medio de la dieta (Nishizawa *et al.*, 2008).

Péptidos bioactivos de la soya

El frijol de soya (*Glycine max* L.), es considerado una fuente potencial de péptidos bioactivos, contiene muchos compuestos quimio preventivos incluyendo inhibidores de proteasas, fitoesteroles, saponinas e isoflavonas (genesteína y daidzeína). En décadas pasadas se ha demostrado que el consumo de soya disminuye los síntomas de la menopausia (Messina *et al.*, 2002), reduce los riesgos de osteoporosis y algunos desórdenes crónicos como el cáncer (McCue y Shetty, 2004).

Actualmente se ha enfocado el estudio hacia la lunasina y la proteasa inhibidora Bowman-Birk (BBI). La BBI es un polipéptido que aparece siete semanas después de la floración e incrementa con la madurez de la semilla (Park *et al.*, 2005), contiene 71 aminoácidos con un peso molecular de 8 kDa, dos sitios inhibidores de proteasa, uno para tripsina y otro para quimotripsina, este último es esencial para la actividad anticarcinogénica de la soya, ya que protege a la lunasina de la digestión por pepsina y pancreatina (Hernández-Ledesma *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2007).

Por su parte, la lunasina aparece 5 semanas después de la floración y permanece en la semilla madura, está formada por 43 aminoácidos conteniendo en su carboxilo terminal 9 residuos de D-Asp, un motivo de Arg-Gly-Asp y una estructura homóloga a la región conservada de la proteína enlazante de cromatina, se ha demostrado

que suprime la transformación de células mamarias inducida por agentes químicos carcinógenos e inhibe la formación de tumores en la piel de ratón (Jeong *et al.*, 2003). El mecanismo de acción de lunasina se genera a partir de la inhibición de la acetilación de las histonas, considerado un mecanismo epigenético que le permite destruir selectivamente las células que están siendo transformadas (Boo *et al.*, 2007). La concentración de lunasina presente en las diferentes variedades de soya se ve influida por el método de extracción, grado de madurez de la semilla, época de cosecha, condiciones ambientales durante el desarrollo o manipulación genética (González *et al.*, 2004).

Por otra parte, a partir de las globulinas de la soya se generan péptidos con pesos moleculares de aproximadamente 30 kDa, un gran porcentaje de este material se ha identificado como péptidos derivados de la 7S β-conglicinina (α' específicamente), los cuales son los responsables del efecto hipocolesterolémico de la soya, ya que pueden incrementar significativamente la expresión del receptor LDL, aunado a la baja concentración de metionina presente en los péptidos de soya (Liyanage *et al.*, 2008).

Los péptidos de bajo peso molecular de la soya también causan disminución de la actividad de los triglicéridos, al disminuir la secreción de estos compuestos del hígado hacia la sangre así como la estimulación de la oxidación de los ácidos grasos en el hígado (Tamaru *et al.*, 2007).

Otro efecto sobre los beneficios a la salud que se ha encontrado en los péptidos de soya, específicamente la conglicinina, es que provee el medio adecuado para la producción de enzimas mediadoras para el crecimiento de las bifidobacterias, disminuyendo marcadamente el pH fecal, generando la disminución de la población de *E. coli* y *Enterococcus* (Wei-Yong *et al.*, 2005).

Actualmente, se han realizado estudios para determinar la existencia de péptidos bioactivos en los productos derivados de la soya, tal es el caso del tofu fermentado que contiene Ile-Phe-Leu y Trp-Leu péptidos inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (ACE), que contribuyen al efecto antihipertensivo de la soya (Kuba *et al.*, 2003), sin embargo, en productos como el miso y el natto la fermentación genera la destrucción de los péptidos lunasina y BBI (Hernández-Ledesma *et al.*, 2009).

Otras fuentes vegetales de péptidos bioactivos

Estudios recientes se han enfocado a buscar nuevas fuentes vegetales que generen péptidos bioactivos, encontrando que una de las fuentes potenciales es el frijol (*Phaseolus vulgaris* cv), que contiene péptidos con actividad antifúngica sobre productos de panificación, lo cual evita la utilización de conservadores relacionados con la generación de ciertos tipos de cáncer (Coda *et al.*, 2008). Por otra parte *Dolichos biflorus* (otra variedad de frijol), contiene tres isoformas del inhibidor BBI conocidas como HGLI, HGLII y HGLIII (Kumar *et al.*, 2004).

Dentro de la familia de las oleaginosas, la canola es fuente de péptidos con actividad antioxidante y antitrombótica (Bing *et al.*, 2008). Mientras que las glutelinas del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) tienen alta concentración de lunasina (3.0 mg/g) y sus globulinas, especialmente las 11S han mostrado la presencia de otro péptido bioactivo con actividad antihipertensiva (Silva-Sánchez *et al.*, 2008).

Sin embargo, no sólo las semillas pueden proveer péptidos bioactivos sino también vegetales tales como las setas *Ganodema lucidum* que contienen péptidos bioactivos con actividad antioxidante y anticancerígena (Sun *et al.*, 2004).

Péptidos bioactivos de fuentes animales

Actualmente se sabe que las proteínas de la leche originan péptidos bioactivos que muestran actividades biológicas multifuncionales que podrían impactar en la salud del ser humano, estos péptidos se generan por la hidrólisis enzimática durante la digestión o bien por la actividad microbiana durante la obtención de los productos lácteos (LeBlanc *et al.*, 2002).

La actividad proteolítica de los microorganismos permite la formación de péptidos con actividad inhibitoria de algunas funciones perjudiciales en el organismo, los más estudiados son las bacterias acido lácticas como *L. helveticus* LBK-16H (Seppo *et al.*, 2003; LeBlanc *et al.*, 2002), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SS1, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* FT4 (Gobetti *et al.*, 2000), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* CRL 581 (Hebert *et al.*, 2008), *Lactobacillus casei* (Haileselassie *et al.*, 1999) y *Lactobacillus acidophilus* (Hayes *et al.*, 2006).

Cada uno de los microorganismos involucrados en el proceso de fermentación, generan distintos tipos de péptidos, los cuales pueden actuar disminuyendo la presión arterial en pacientes con hipertensión (Seppo *et al.*, 2003), contribuyendo a incrementar la respuesta inmune o actuando como agentes antitumorales (LeBlanc *et al.*, 2002).

La caseína y sus péptidos, han mostrado propiedades antioxidantes (Rossini *et al.*, 2009) antimutagénicas (Iwaniak y Minkiewicz, 2007), actividad antimicrobiana contra bacterias bucales gram positivas y gram negativas (Dashper *et al.*, 2007), influyen de forma positiva en diversos sistemas regulatorios involucrados con actividades del sistema inmune y nervioso (Haque y Chand, 2008), y presentan propiedades antihipertensivas (Hebert *et al.*, 2008; Townsed *et al.*, 2004).

A partir de la k-caseína se han aislado 4 fracciones proteínicas con actividad antitrombótica denominadas "casoplatelinas" y un fragmento de 5 aminoácidos llamado "casopiastrina" (Quian *et al.*, 1995).

Utilizando quimosina para la hidrólisis de la caseína, se han obtenido péptidos con actividad antibiótica, como la casecidina, la cual puede inhibir *in vitro* el desarrollo de *Staphylococcus, sarcina, Bacillus subtilis, Diplococcus pneumoniae* y *Streptococcus pyogenes*, mientras que otro péptido de 23 aminoácidos denominado isracidina, mostró eficacia en pruebas *in vivo* contra la infección letal de *Staphylococcus aureus* en ratones (Lahov y Regelson, 1996).

Los péptidos generados a partir de la ß-lactoglobulina son inactivos cuando están asociados a la proteína, sin embargo, son bioactivos cuando se liberan durante la digestión gastrointestinal, o durante el procesamiento de la leche (Meisel, 2005). Se han aislado diferentes péptidos bioactivos derivados de la hidrólisis de esta proteína, los cuales han mostrado actividades hipotensiva (Hernández-Ledesma *et al.*, 2008), inhibitoria contra la ACE (Quiros *et al.*, 2005), antimicrobiana, principalmente sobre bacterias gram positivas (Haque y Chand, 2008) y actividad hipocolesterolémica (Nagaoka *et al.*, 2001).

La lactoferrina (LF) es una glicoproteína ligada al hierro de aproximadamente 80 kDa (Igo *et al.*, 2009), la cual está presente prácticamente en todos los líquidos biológicos de los mamíferos, principalmente en la leche, presenta actividad antimicrobiana, pero es selectiva, ya que actúa de manera más eficiente contra bacterias gram positivas (Isamida *et al.*, 1998). Mediante una hidrólisis enzimática con pepsina, se genera la lactoferricina, la cual tiene actividad antimicrobiana contra bacterias Gram positivas y negativas, hongos y protozoos (Iwanak y Minkiewicz, 2007).

Los quesos madurados como el Gouda, Edam, Cheddar, Cresecnza y Gorgonzola, son una fuente importante de péptidos bioactivos, originados por un segundo proceso de proteólisis llevado a cabo durante la maduración, los cuales recientemente han sido caracterizados de acuerdo a su actividad inhibitoria contra la ACE (Gómez-Ruiz *et al.*, 2006), la cual depende del tipo de queso a partir del que es extraído, así como el periodo de maduración (Bütifoker *et al.*, 2008; Gómez-Ruiz *et al.*, 2004), sin embargo, una sobremaduración puede provocar proteólisis excesiva de las proteínas originando la pérdida de compuestos bioactivos (Saito *et al.*, 2000).

El suero de la leche (residuo no aprovechado en la elaboración del queso) contiene proteínas que son fuente importante de péptidos bioactivos, los cuales pueden ser obtenidos por hidrólisis utilizando diversas proteasas (Tripsina, Proteinasa K, Actinasa E, Termosilina, papaína, pepsina y quimiotripsina), tal es el caso del tetrapéptido ß-lactosina B, el cual tiene alta actividad inhibitoria de ACE y es antihipertensiva (Murakami *et al.*, 2004). Por otra parte, se ha encontrado que existen péptidos con actividad antioxidante provenientes de la ß-Lactoglobulina y ß-Lactoalbúmina la cual depende de la presencia de ciertos aminoácidos así como su posición dentro de la secuencia peptídica. Los aminoácidos Trp y Tyr son los que contribuyen en gran medida a la actividad antioxidante principalmente cuando están ubicados en la posición N-terminal o C-terminal de un péptido (Hernández-Ledesma *et al.*, 2007), debido seguramente a la capacidad de los grupos indol y fenol para donar hidrógenos (Dávalos *et al.*, 2004, Hernández-Ledesma *et al.*, 2005).

Pero no solamente a partir de lácteos elaborados con leche entera de bovino se generan péptidos bioactivos, la elaboración de quesos madurados reducidos en grasa, también generan concentraciones importantes de estos compuestos con actividad antihipertensiva (Ryhanen *et al.*, 2001), mientras que en quesos elaborados con leche caprina se generan péptidos con actividad inhibitoria de la ACE y actividad antioxidante (Silva *et al.*, 2006).

Los procesos intermedios para la elaboración de productos lácteos también son una fuente importante de péptidos bioactivos, por lo que una simple leche acidificada o "amarga", puede aportar beneficios importantes contra la hipertensión (Takano, 2002).

Otras fuentes animales de péptidos bioactivos

Sin duda una de las fuentes más importantes de proteína para el ser humano es la del pescado, la cual al ser hidrolizada es capaz de estimular a la CCK (Cholecystokinin), disminuyendo la sensación de hambre favoreciendo la disminución de los problemas de obesidad (Cudennec *et al.*, 2008). La hidrólisis de proteína de animales marinos también genera péptidos bioactivos como los péptidos de bajo peso molecular del músculo de conger eel (*Conger myriaster*) que presentan alta actividad antioxidante (Ranathunga *et al.*, 2006), el dipéptido Met-Tyr del músculo de sardina que estimula la expresión de la proteína antioxidante HO-1 y ferritina en las células endoteliales además de tener efecto inhibitorio sobre ACE (Erdmann *et al.*, 2006), la actividad inhibitoria de ACE que se ha encontrado en el producto fermentado de *Acetes chinesis* (cámaron de origen chino) (Yu-Kai *et al.*, 2008).

Por otra pacte, el huevo es otra fuente importante de proteína de origen animal, cuyos péptidos han mostrado actividad antioxidante (Dávalos *et al.*, 2004) y antihipertensiva generada por los péptidos ovokinina y ovokinina 2-7 (presentes en la ovalbúmina) (Marta y Amaya, 2006; Marta *et al.*, 2005;).

Existen algunos péptidos bioactivos que presentan efecto antimicrobiano tal es el caso del péptido antibacterial CM4 aislado de la larva del gusano de seda que presenta actividad antimicrobiana específicamente contra *E. coli, Penicillium chrysogenum, Aspergillus niger* y *Gibberella saubinetti.* (Bao-Cun *et al.*, 2007).

Por otra parte, se ha encontrado actividad antimicrobiana contra bacterias gran positivo y gran negativo en el péptido de cadena larga del veneno del escorpión *(Buthus martensii)* (Jian-Hua *et al.*, 2008).

Peptidos bioactivos originados a partir de medios biotecnológicos

Además de los péptidos bioactivos presentes de manera natural en la soya, por medio de la biotecnología se ha logrado la obtención de otros péptidos bioactivos como la novokinina (RPLKPW) y LPYPR generados en líneas de soya transgénica que contienen formas modificadas de la subunidad a' de la ß-conglicinina. La novokinina reduce la presión sanguínea utilizando dosis de 0.1 mg/kg de peso corporal, LPYPR es un péptido con actividad hipocolesterolémica al usar dosis de 50 mg/kg de peso corporal (Nishizawa *et al.*, 2008).

Pichia pastoris, es una especie de levadura metilotrofa que en ausencia de glucosa como fuente de carbono, es capaz de utilizar el metanol. Por medio de bioingeniería se ha logrado que esta levadura produzca exedin-4, un péptido de 39 aminoácidos con actividad antidiabética que estimula la secreción de insulina con un efecto más prolongado (~60 min) que el que ofrece GLP-1, (Glucagon-like peptide-1), debido a que el exedin-4 carece de sitios para la acción de la endopeptidasa que están presentes en GLP-1, por otro lado, el exedin-4 no es reconocida por la dipeptidilpeptidasa (IV) (DPP (IV)) (Zhou *et al.*, 2008)

Finalmente, diversos péptidos han sido clonados a partir de algunos microorganismos, lo que ha permitido su utilización como ingredientes funcionales en alimentos, tal es el caso de la lactoferrina y un residuo de 12 aminoácidos de la a_{s1}-Caseina, generados a partir de *Streptococcus thermophilus* (Renye y Somkuti, 2008).

Sobre los autores

Aurea Bernardino Nicanor,[1] Cristina Pérez Pérez,[1] María de los Ángeles Vivar Vera,[2] José Luis Montañez Soto,[3] Leopoldo González Cruz.[1] [1]Departamento de Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico y A. García Cubas S/N A. P. 57 C. P. 38010, Celaya, Guanajuato, México. [2]Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Av. Dr. Victor Bravo Ahijas S/N. Col. 5 de mayo, Tuxtepec, Oaxaca. C.P. 68350. [3]Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán. Justo Sierra núm. 28 Jiquilpan, Mich. México, C.P. 59510.

Referencias

Bao-Cun, L., Z. Shuang-Quan, D. Wen-Bing, Ch. Yu-Qing and C. Peng (2007), "Expression in Escherichia coli and purification of bioactive antibacterial peptide ABP-CM4 from the Chinese silk worm, Bombyx mori", *Biotechnology Letters*, 29, pp. 1031-1036.

Bing, Z.S., Z. Wang and X. S. Ying (2008), "Antioxidant antithrombotic activities of rapeseed peptides", *Journal of the American Oil Chemists Society*, 85, pp. 521-527.

Boo, J.J., J. H. Jin, P. J. Ho, L. S. Hee, L. J. Rak, L. H. Kyeong, Ch. G. Young, Ch. J. Doo and B.O. De Lumen (2007), "Cancer-preventive peptide lunasin from solanum nigrum L inhibits acetylation of core histones H3 and H4 and phosphorylation of retinoblastoma protein (Rb)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, pp. 10707-10713.

Bütifoker, U., J. Meyer, R. Sieber, B. Walther and Wechsler (2008), "Occurrence of the Angiotensin-Converting Enzyme–Inhibiting Tripeptides Val-Pro-Pro and Ile-Pro-Pro in Different CheeseVarieties of Swiss Origin", *Journal of Dairy Science*, 91, pp. 29-38.

Coda, R., G. C.Rizzello, F. Nigro, M. De Angelis, P. Arnault and M. Gobbetti (2008), "Long-Term fungal inhibitory activity of wáter-soluble extracts of Phaseolus vulgaris cv. Pinto and Sourdough lactic acid bacteria during bread storage", *Applied and Environmental Microbiology*, 74(23), pp. 7391-7398.

Cudennec, B., R. Ravallec-Plé, E. Courois and M. Fouchereau-Peron (2008), "Peptides from fish and crustacean by-products hydrolysates stimulate cholecystokinin release in STC-1 cells", *Food Chemistry*, 111, pp. 970-975.

Dashper, S. G., S. W. Liu and E. C. Reynolds (2007), "Antimicrobial Peptides and Their Potential as Oral Therapeutic Agents", *International Journal of Peptide Research*, 13 (4), pp. 505-516.

Dávalos, A., M. Miguel, B. Bartolomé and R. López-Fandiño (2004), "Antioxidant activity of peptides derived from egg white proteins by enzymatic hydrolysis", *Journal of Food Protection*, 67, pp. 1939-1944.

Erdmann, K., N. Grosser, K. Schipporeit and H. Schröder (2006), "The ACE inhibitory dipeptide Met-Tyr human endothelial cells vial induction of heme oxygenase-1 and ferritin", *Journal of Nutrition*, 136, pp. 1248-1252.

Gobbetti, M., P. Ferranti, E. Smacchi, F. Goffredi and F. Addeo (2000), "Production of angiotensin-I-converting-enzyme-inhibitory peptides in fermented milks started by Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus SS1 and Lactococcus lactis subsp. cremoris FT4", *Applied and Environmental Microbiology*, 66, pp. 3898-3904.

Gómez-Ruiz, J. A., M. Ramos and I. Recio (2004), "Identification and formation of angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides in Manchego cheese by high-performance liquid chromatography–tandem mass spectrometry", *Journal of Chromatography A*, 1054, pp. 269-277.

Gómez-Ruíz, J. A., G. Taborda, L. Amigo, I., Recio and M. Ramos (2006), "Identification of ACE-inhibitory peptides in different Spanish cheeses by tandem mass spectrometry", *European Food Research and Technology*, 223, pp. 595-601.

González, M. E., M. Vasconez, B. De Lumen and R. Nelson (2004), "Lunasin concentration in different soybean genotypes, comercial soy protein, and isoflavone products", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, pp. 5882-5887.

Haileselassie, S. S., B. H. Lee and B. F. Gibbs (1999), "Purification and Identification of Potentially Bioactive Peptides from Enzyme-Modified Cheese", *Journal of Dairy Science*, 82, pp. 1612-1617

Haque, E., & R. Chand (2008), *Antihypertensive and antimicrobial bioactive peptides from milk proteins. European Food Research and Technology*, 227, pp. 7-15.

Hayes, M., R. P. Ross, G. F. Fitzgerald, C. Hill and C. Stanton (2006), "Casein-Derived Antimicrobial Peptides Generated by Lactobacillus acidophilus DPC6026", *Applied and Environmental Microbiology*, 72, pp. 2260-2264.

Hebert, E. M., G. Mamone, G. Picariello, R. R. Raya, G. Savoy, P. Ferranti and F. Addeo (2008), "Characterization of the Pattern of □sl- and □-Casein Breakdown and Release of a Bioactive Peptide by a Cell Envelope Proteinase from Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis CRL 581", *Applied and Environmental Microbiology*, 74 (12), pp. 3682-3689.

Hernández-Ledesma, B., H. Chia-Chien and O. de Lumen (2009), "Lunasin and Bowman-Birk protease inhibitor (BBI) is US commercial soy foods", *Food Chemistry*, 115(2), pp. 574-580

Hernández-Ledesma, B., A. Dávalos, B. Bartolomé and L. Amigo (2005), "Preparation of antioxidant enzymatic hydrolyzates from a-lactalbumin and b-lactoglobulin. Identification of peptides by HPLC-MS=MS", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp. 588-593.

Hernández-Ledesma, B., I. Recio, L. Amigo and B. Bartolomé (2007), "ACE inhibitory and radical scavenging activity of peptides derived from b-lactoglobulin f(19–25)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, pp. 3392-3397.

Hernández-Ledesma, B., I. Recio and L. Amigo (2008), "b-Lactoglobulin as source of bioactive peptides", *Amino acids*, 35, pp. 257-265.

Igo, M., D. B. Alexander, N. Long, J. Xu, K. Fukamachi, M. Futakuchi, M. Takase and H. Tsuda (2009), "Anticarcinogenesis pathways activated by bovine lactoferrin in the murine small intestine", *Biochemie*, 91, pp. 86-101.

Isamida, T., T. Tanaka, Y. Omata, K. Yamauchi, K. Shimazaki and A. Saito (1998), "Protective effect of lactoferricin against Toxoplasma gondii infection in mice", *Journal of Veterinary Medical Science*, 60, pp. 241-244.

Iwaniak, A., and P. Minkiewicz (2007), "Proteins as the source of physiologically and functionally active peptides", *Acta Scientiarum Polonorum*, 6(3), pp. 5-15.

Jeong, H.J., J. H. Park, Y. Lam and B.O. de Lumen (2003), "Characterization of Lunasin isolated from soybean", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, pp. 7901-7906.

Jian-Hua, S., W. Yue-Qiu, W. Xiao-Yan, J. Rui, Z. Rong, W. Chun-Fu and Z. Jing-Hai (2008), "Cloning, expression, and pharmacological activity of BmKAS, and active peptide from scorpion Buthus martensii Karsch", *Biotechnology Letters*, 30, pp. 23-29.

Kuba, M., K. Tanaka, S. Tawata, Y. Takeda and M. Yasuda (2003), "Angiotesin I-Converting enzyme inhibitory peptides isolated from tofuyo fermented soybean food", *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 67(6), pp. 1278-1283.

Kumar, P., R.A.G. Appu, S. Hariharaputran, N. Chandra and L. R. Gowda (2004), "Molecular Mechanism of dimerization of Bowman-Birk inhibitors", *The Journal of Biological Chemistry*, 279(29), pp. 30425-30432.

Lahov, E., and W. Regelson (1996), "Antibacterial and immunostimulating casein-derived substances from milk: Casecidin, isracidin peptides", *Food and Chemical Toxicology*, 34, pp. 131-145.

LeBlanc, J. G., C. Matar, J. C. Valdéz, J. LeBlanc and G. Perdigon (2002), "Immunomodulating effects of peptidic fractions issued from milk fermented with Lactobacillus helveticus", *Journal of Dairy Science*, 85(11), pp. 2733-2742.

Liyanage, R., Han, Kyu-Ho., S. Watanabe, K. Shimada, M. Sekikawa, K. Ohba, Y. Tokuji, M. Ohnishi, S. Shibayama, T. Nakamori and M. Fukushima (2008), "Potato and soy peptide diets modulate lipid metabolism in rats", *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 72(4), pp. 943-950.

Marta, M., and A. Amaya (2006), "Antihypertensive peptides derived from egg proteins", *Journal of Nutrition*, 136, pp. 1457-1460.

Marta, M., R. López-Fandiño, M. Ramos and A. Aleixandre (2005), "Short-term effect of egg-white hydrolysate products on the arterial blood pressure of hypertensive rats", *British Journal of Nutrition*, 94, pp. 731-737.

McCue, P., and K. Shetty (2004), "Health benefits of soy isoflavonoids and strategies for enhancement: A review", *Critical Reviews of Food Science and Nutrition*, 44, pp. 361-367.

Meisel, H. (2005), "Biochemical properties of peptides encrypted in bovine milk proteins", *Current Medicinal Chemistry*, 12, pp. 1905-1919.

Messina, M., C. Gardner and S. Barnes (2002), "Gaining insight into the health effects of soy but a long way still to go: Commentary on the fourth international symposium on the role of soy in preventing and treating chronic disease", *Journal of Nutrition*, 132, pp. 547S-551S.

Murakami, M., H. Tonouchi, R. Takahashi, H. Kitazawa, Y. Kawai, H. Negishi and T. Saito (2004), "Structural Analysis of a New Anti-Hypertensive Peptide (□ Lactosin B) Isolated from a Commercial Whey Product", *Journal of Dairy Science*, 87, pp. 1967-1974.

Nagaoka, S., Y. Futamura, K. Miwa, T. Awano, K. Yamauchi, Y. Kanamaru, K. Tadashi and T. Kuwata (2001), "Identification of novel hypocholesterolaemic peptides derived from bovine milk b-lactoglobulin", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 281, pp. 11-17.

Nishizawa, K., A. Kita, Ch. Doi, Y. Yamada, K. Ohionata, M. Yoshikawa and M. Ishimoto (2008), "Accumulation of the bioactive peptides, novokinin, LPYPR and Rubiscolin, in seed of genetically modified soybean", *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 72(12), pp. 3301-3305.

Park, J.H., H. J. Jeong and B.O. Lume (2005), "Contents and bioactivities of Lunasin, Bowman-Birk inhibitor, and isoflavones in soybean", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp. 7686-7690.

Park, J.H., H. J. Jeong and B. O. Lumen (2007), "*In vitro* digestibility of the cancer-preventive spy peptides lunasin and BBi", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, pp. 1073-10706.

Quian, Z.Y., P. Jollès, D. Migliore-Samour, F. Schoentgen and A. M. Fiat (1995), "Sheep k-casein peptides inhibit platelet aggregation", *Biochimical and Biophysical Acta*, 1244, pp. 411-417.

Quiros, A., B. Hernández-Ledesma, L. Amigo and I. Recio (2005), "Angiotensin converting enzyme inhibitory activity of peptides derived from caprine kefir. Behaviour of active peptides under simulated gastrointestinal digestion", *Journal of Dairy Science*, 88, pp. 3480-3487.

Ranathunga, S., N. Rajapakse and K. Se-Kwon (2006), "Purification and characterization of antioxidative peptide derived from muscle of conger eel (Conger myriaster)", *European Food Research and Technology*, 222, pp. 310-315.

Renye, J.A., and G.A. Somkuti (2008), "Cloning of milk-derived bioactive peptides in Streptococcus thermophilus", *Biotechnology Letters*, 30, pp. 723-730.

Rossini, K., C. P. Z. Noreña, F. Cladera-Olivera and A. Brandell (2009), "Casein peptides with inhibitory activity on lipid oxidation in beef homogenates and mechanically deboned poultry meat", *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, 42, pp. 862-867.

Ryhanen, E. L., A. Pihlanto-Leppälä and E. Pahkala (2001), "A new type of ripened, low-fat cheese with bioactive properties", *International Dairy Journal*, 11, pp. 441-447.

Saito, T., T. Nakamura, H. Kitazawa, Y. Kawai and T. Itoh (2000), "Isolation and Structural Analysis of Antihypertensive Peptides That Exist Naturally in Gouda Cheese", *Journal of Dairy Science*, 83, pp. 1434-1440.

Seppo, L., T. Jauhiainen, T. Poussa and R. Korpela (2003), "A fermented milk high in bioactive peptides has a blood pressure–lowering effect in hypertensive subjects", *American Journal of Clinical Nutrition*, 77, pp. 326-30.

Silva, S. V., A. Pihlanto and F. X. Malcata (2006), "Bioactive Peptides in Ovine and Caprine Cheeselike Systems Prepared with Proteases from Cynara cardunculus", *Journal of Dairy Science*, 89, pp. 3336-3344.

Silva-Sánchez, C., A.P. Barba de la Rosa, M. F. León-Galván, B.O. De Lumen, A. De León-Rodríguez and E. G. De Mejía (2008), "Bioactive peptides in amaranth (amaranthus hypochondriacus) seed", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, pp. 1233-1240.

Sun, J., H. He and B. J. Xie (2004), "Novel antioxidant peptides from fermented mushroom Ganoderma lucidum", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, pp. 6646-6652.

Takano, T. (2002), "Anti-hypertensive activity of fermented dairy products containing biogenic peptides", *Antonie van Leeuwenhoek*, 82, pp. 333-340.

Tamaru, S., T. Kurayama, M. Sakono, N. Fukuda, T. Nakamori, H. Furuta, K. Tanaka and M. Sugano (2007), "Effects of dietary soybean peptides on hepatic produc-

tion of ketone bodies and secretion of triglycerides by perfused rat liver", *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 71(10), pp. 2451-2457.

Townsend, R.R., C. B. McFadden, v. Ford and J. A. Cadee (2004), "A randomized, double-blind, placebo-controlled trial of casein protein hydrolysate (C-12 peptide) in human essential hypertension", *American Journal of Hypertens*, 17, pp. 1056-1058.

Wei-Yong, Z., Ch. Wei-Hua and Z. Si-Xiang (2005), "Separation of growth-stimulating peptides for Bifidobacterium from soybean conglycinin", *World Journal of Gastroenterology*, 11(37), pp. 5801-5806.

Yu-Kai, W., He. Hai-Lun, Ch. Xiu-Lan, S. Cai-Yun, Z. Yu-Zhong and Z. Bai-Cheng (2008), "Production of novel angiotesin I-converting enzyme inhibitory peptides by fermentation of marine shrimp Acetes chinesis with Lactobacillus fermentum SM 605", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 79, pp. 785-791.

Zhou, J., J. Chu, W. Yong-Hong, W. Hui, Y. P. Zhuang and S. L. Zhang (2008), "Purification and bioactivity of exendin-4, a peptide analogue of GLP-1, expressed in Pichia pastoris", *Biotechnology Letters*, 30, pp. 651-656.

Propiedades nutricionales del fruto del Noni (*Morinda citrifolia L.*) y su efecto sobre la salud

Alejandro Sánchez Varela e Isabel Cristina Rodríguez Luna

Resumen

La *Morinda citrifolia*, L. Popularmente conocida como *noni*, es un árbol verde pequeño, que florea y da fruto durante todo el año. Es de la familia de las *Rubiaceae*. Crecen en regiones tropicales del mundo. Los frutos de este árbol han sido empleados en farmacopea en las Islas del Pacífico y el Sur de Asia. Contiene más de 150 compuestos nutracéuticos, vitaminas, minerales, y micronutrientes que ayudan al cuerpo en varias formas a nivel de órganos y celular. El noni es uno de los frutos más importantes de la medicina tradicional utilizados desde hace más de 2000 años en la Polinesia. Se le asocia con una amplio espectro de atributos nutricionales y terapéuticos. Los polinesios creen sus ancestros trajeron esta y otras plantas con ellos cuando migraron del sur de Asia cerca de 2000 años atrás. De las 12 plantas más comunes que trajeron, el noni fue la segunda más popular usada como remedio herbal en el tratamiento de varias enfermedades comunes y para el mantenimiento de una buena salud. Las tribus de las islas de Andaman y Nicobar en la India, polinesios y tahitianos en el Pacífico han usado fruta verde y madura como alimento y medicina. Todas las partes de la planta han sido usadas en el tratamiento de varias desórdenes y enfermedades. El fruto es importante debido a que tiene un amplio rango de aplicaciones potencialmente terapéuticas, así como antibacterial, antiviral, antitumor, antihelmintos, analgésicos, antihipertensivo, antiinflamatorio y

efectos estimuladores del sistema inmunológico. El empleo del jugo del noni verde o maduro es la mas reciente innovación aceptada en la unión Europea, como un nuevo alimento. Las raíces han sido usadas para sintetizar colorantes rojos, mientras que de las hojas, oscuros y las frutas son usadas para producir cremas faciales, jabones, pastas para dientes, lociones, polvo para té, entre otros productos. El noni ha sido usado como bebida, alimento, medicina y colorante.

Palabras clave: nutracéutico, noni, terapéutico, morinda.

Distribución

Las especies del género *Morinda* generalmente se encuentran a 400 m por encima del nivel del mar, y se han adaptado mejor en regiones costeras (Luberck y Hannes, 2001). El género *Morinda* se encuentra distribuido mundialmente con cerca de 80 especies reportadas, predominantemente en países tropicales como: África, Australia, Barbados, Camboya, el Caribe, Islas Caimán, Cuba, República Dominicana, el Salvador, Fiji, La Florida, Las Indias Francesas, Guadalupe, Guam, Haití, Hawái, India, Jamaica, Java, Laos, Malasia, Islas Marquesas, las Filipinas, Polinesia, Puerto Rico, Rarotonga, Samoa, Seychelles, Islas Solomon, Sur de Asia, St Croix, Suritañia, Tahití, Tailandia, Tonga, Trinidad y Tobago y Vietnam. Así como se ha detectado su presencia en países del continente Americano, como Estados Unidos y México (Ross, 2001).

En la India se encuentra ampliamente distribuida, adaptándose a ambientes duros. Dentro de los principales lugares de la India donde se encuentran, es a lo largo de la costa de Kerala, Karnataka, Tamil Nadu, entre muchos otros, reportándose alrededor de 12 especies o variedades de *Morinda*. La especie *M. tinctoria* se encuentra presente abundantemente en Tamil Nadu y Kerala, *M. citrifolia L.* en pocas partes de Tamil Nadu, mientras que en Kerala se encuentra muy distribuida especialmente en la región de la costa, también en Mangalore área de Karnataka. Recientemente se encontró una especie de *Morinda* no identificada aun, con hojas grandes aterciopeladas, reportada en el bosque Dhandakaranya área de Malkanagiri, distrito de Orissa (Singh *et al.*, 2007).

Composición química

Se han identificado alrededor de 160 compuestos fitoquímicos del fruto del noni y los principales micronutrientes son compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y alcaloides (Wang y Su, 2001). De los compuestos fenólicos los más importantes reportados son

antraquinonas (damnacantal, morindona, morinda) y también aucubin, asperulosidos y escopoletina (Wang y Su, 2001). Los principales ácidos orgánicos son caproico y caprílico (Dittmar, 1993), mientras que el principal alcaloide reportado es la xeronina (Heinicke, 1985).

Sin embargo, la composición química difiere grandemente dependiendo de la parte de la planta que se trate. La composición fisicoquímica completa, a partir de la fruta, no ha sido reportada aun, solamente esta disponible información parcial a partir de jugo de noni. El fruto contiene 90% de agua y los principales componentes de la materia seca aparecen como sólidos solubles, fibra dietética y proteínas. El contenido de proteína en la fruta es alto, representando el 11.3% de la materia seca del jugo y los principales aminoácidos son ácido aspártico, ácido glutámico e isoleucina. La cantidad de minerales, es de 8.4% de la materia seca, y son principalmente potasio, azufre, calcio y fósforo, así como trazas de selenio (Chunhieng, 2003). Las vitaminas reportadas incluyen principalmente el ácido ascórbico variando de 24 a 158 mg/100 g de materia seca (Morton, 1999; Shovic y Whistler, 2001), y provitamina A (Dixon *et al.*, 1999). Los compuestos fenólicos encontrados incluyen: damnacantal, escopoletina, morindona, alizarina, aucubin, nordamnacantal, rubiadin, rubiadin 1-metil y otros glucósidos de antraquinonas (Morton, 1999; Dittmar, 1993; Dixon *et al.*, 1999; Wang y Su, 2001). El damnacantal es una antraquinona caracterizada recientemente y que tiene propiedades funcionales importantes, principalmente como anticancerígeno (Solomon, 1999). La escopoletina es una cumarina aislada en 1993 por la Universidad de Hawai y se encontró que tiene propiedades analgésicas, así como una significante habilidad para controlar los niveles de serotonina en el cuerpo (Levand y Larson, 1979). Otras investigaciones han mostrado, que la escopoletina también puede tener propiedades antimicrobianas (Duncan *et al.*, 1998), y efectos antihipertensivos (Solomon, 1999). Diferentes grupos de investigadores Hawaianos (Heinicke, 1985; Solomon, 1999), reportaron la presencia de un compuesto nuevo en el noni, la proxeronina la cual podría ser el precursor de la xeronina, un alcaloide que se combina con proteínas humanas, promoviendo su funcionalidad. Estos autores atribuyen la mayoría de los efectos benéficos del noni a la xeronina. Se han identificado cerca de 51 compuestos volátiles en la fruta madura (Sang *et al.*, 2001), incluyendo ácidos orgánicos (principalmente ácido octanoico y hexanoico), alcoholes (3- metil-3 buten-1-ol), esteres (metil octanato, metil decanoato), cetonas (2-heptanoato) y lactonas [(E)-6- dodecenoglactona] (Farine *et al.*, 1996).

Uso general

La raíz, tallo, corteza, hojas, flores y frutos, son utilizados en combinación con al menos 40 remedios herbales (Bruggnecate, 1992). Adicionalmente, la raíz es utilizada para producir colorantes amarillo y rojo para colorear ropa y manteles. Mientras que la fruta es más famosa por su importancia medicinal en Polinesia, Melanesia y el Sureste de Asia. Son también numerosos reportes etnobotánicos de su uso como alimento (Whistler, 1992; Krauss, 1993; Terra, 1996). Hay reportes de que la fruta ha sido comida por Rarotongas, ha sido usado como ingrediente favorito para preparar bases para sopa (curry) por Burmeses, y consumido como fruto por Aborígenes Australianos. Existe amplia experiencia para validar que el consumo del noni por humanos es seguro como alimento y para la salud (Aragones *et al.*, 1997).

Uso tradicional como alimento

Durante décadas el fruto de *Morinda citrifolia*, ha sido utilizado como alimento en regiones tropicales del mundo. Existe documentación del consumo del fruto como-fuente de alimento, procedente del siglo veinte. Una publicación de 1866 en Londres explica que *M. citrifolia* fue consumido como alimento en las Islas Fiji. Publicaciones posteriores describieron el uso de este fruto a lo largo de Islas del Pacífico, Sureste de Asia, Australia y la India. En Samoa el fruto fue el común como alimento y en Burma este fue cocinado en curry o comido crudo con sal. En 1992, Abbott reportó que el noni ha sido empleado como alimento, bebida, medicina y colorante. Los miembros de las tribus Nicobarase son conocidos por consumir este fruto crudo con sal, así como cocinado como vegetal.

Usos como medicina

Los polinesios utilizaron la planta de noni completa para remedios herbales. Los jugos del fruto tienen una alta demanda en medicina alternativa para diferentes tipos de enfermedades, como artritis, diabetes, alta presión, músculos inflamados y dolores, dificultades menstruales, dolor de cabeza, enfermedades del corazón, HIV, cáncer, ulcera gástrica, depresión mental, senilidad, mala digestión, arteriosclerosis, problemas de circulación, torceduras y adicción de drogas. Las evidencias científicas de los beneficios del jugo del fruto del noni son limitadas, pero existen evidencias de anécdotas de éxito en el tratamiento de resfríos e influenza (Solomon, 1999). Abbott for-

mado en química botánica en la Universidad de Hawái, estableció el uso del noni para la diabetes, presión alta, cáncer y muchas otras enfermedades (Abbott, 1992). El noni fue un remedio tradicional usado para tratar huesos rotos, cortadas profundas, moretones, dolor de garganta y heridas (Dixon *et al.*, 1999). Morton (1999), dio numerosas referencias de usos medicinales del noni. Además, los Polinesios han reportado su uso en el tratamiento de cáncer de pecho y problemas de los ojos. Las especies de *Morinda* especialmente *M. citrifolia* han sido reportadas por tener un amplio rango de beneficios para la salud, para combatir el cáncer, infecciones, artritis, asma, hipertensión y dolores (Whistler, 1992). Las hojas, semillas, corteza, frutos y raíces han sido usados en varios remedios tópicos en las islas del Pacífico Sur y el Sureste de Asia (Wang *et al.*, 2002). También se ha reportado que tiene efectos antibacterianos, antifúngicos, analgésicos, hipotensivos, antiinflamatorio y regulador del sistema inmune (McClatchy, 2002; Wang *et al.*, 2002; Mathivanan *et al.*, 2005). Murugesh (2007), reportó que tiene un amplio rango de efectos terapéuticos como analgésico, antiinflamatorio, antihipertensivo, regulador del sistema inmune, anticáncer, antibacterial, antiviral, antifúngico, antituberculosis, antiprotozoarios, antioxidante, antiestrés y también propiedades sedantes. También es efectivo contra la tos, náuseas, cólicos, bazo inflamado, desórdenes de articulaciones como gota y artritis, senilidad, mala digestión, arterioesclerosis y adicción a drogas. Estos efectos benéficos están fuertemente documentados y autentificados por evidencias de literatura científica. También tiene un fuerte efecto preventivo contra el cáncer. Sus efectos benéficos y terapéuticos están asociados a su contenido enriquecido de fitoconstituyentes. El alto perfil terapéutico y seguridad potencial del noni lo ha hecho un popular potenciador de la salud y suplemento alimenticio distribuido ampliamente por todo el mundo.

Propiedades f toquímicas

Los frutos se consideran un poderoso desintoxicador, removiendo toxinas del cuerpo. Se han descubierto más de 150 nutracéuticos en los frutos de *Morinda citrifolia*, L. (Singh *et al.*, 2007). El contenido de potasio en el fruto es ligeramente mayor (1,226 ppm) que en la hoja (1,219 ppm). Entre los compuestos identificados en la planta están la escopoletina, ácido octanoico, vitamina C, terpenoides, alcaloides, antraquinonas (nordamnacantal, morindone, rubiadin, andrubiadin 1-metil éter, glucósidos de antraquinona), b-sitosesterol, caroteno, vitamina A, glucósidos de flavona, ácido linoleico, alizarin, aminoácidos, acubin, L-asperulósido, ácido caproico, ácido caprílico, ácido ursólico, rutina y probablemente proxeronina. Las sustancias predominantes en el fruto son los ácidos grasos, mientras que en la raíz contiene

antraquinona. La semilla contiene 16% de aceite. Los principales ácidos grasos que contiene el aceite son linolénico, oleico, palmítico, ricinolcico y esteárico (Dualatabad *et al.*., 1989; Seidemann, 2002). En la Universidad de Rutges en USA, encontraron nuevos compuestos en la planta de noni (Chi-Tang *et al.*). Los compuestos identificados fueron glicósidos de flavonol y glicósidos iridoides en las hojas, trisacáridos de esteres de ácidos grasos, rutina y ácidos asperulosido a partir del fruto. Dos nuevos glicósidos e inusuales iridoides, llamados citrifoliniside, han demostrado tener efecto inhibitorio sobre células AP-1trans, y activación de células transformantes en líneas celulares JB6 de tejido epidérmico deratón (Sang *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2001). Posteriormente 23 diferentes fitoquímicos fueron encontrados, entre ellos 5 vitaminas y 3 minerales (Duke, 1992).

Propiedades biológicas

Una de las primeras propiedades es su actividad antimicrobiana. Los frutos contienen una gran cantidad de azúcares no fermentables. Esta propiedad es aprovechada para transportar la fruta en barco en las Islas del Pacífico hacia las plantas de procesamiento, almacenándolas en contenedores cerrados a temperatura ambiente, sin ningún tratamiento específico. Se ha reportado que el noni inhibe el crecimiento de algunas bacterias, como *Estafilococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Proteus morgaii, Bacillus subtilis, Escherichia coli, Helicobacter pylori, Salmonella y Shigella* (Saludes *et al.*, 2002). Algunos autores atribuyen su efecto antimicrobiano a la presencia de compuestos fenólicos, tales como acubina, sperulosido, alizarin, scopoletina y otras antraquinonas. Otros estudios muestran que los extractos de fruta seca del noni con acetonitrilo inhiben el crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis, Escherichia coli,* y *Streptococcus pyrogene* (Locher *et al.*, 1995). Los principales componentes identificados en extractos con hexano son ephytol, cicloartenol, estigmasterol, b-sitosterol, campoesterol 5,7,22-trien-3-b-ol, y los ketoesteroides, estigmasta 4-en-3-1 y estigmasta 4,22-dien-3-1. Además se ha mostrado que el efecto antimicrobiano es altamente dependiente del estado de maduración y procesamiento del fruto, es mejor cuando el fruto está maduro sin secar. La actividad antimicrobiana es más marcada con *M. citrifolia* que *M. pubescens* (Mathivanan y Surendran, 2006).

Diferentes compuestos antraquinósidos de la raíz presentan actividad antibacterial. Estos compuestos han demostrado combatir infecciones bacterianas producidas por cepas de *Pseudomonas aeruginosa, Proteus morgaii, Estafilococcus aureus, Bacillus subtilis, Escherichia coli, Salmonella* sp *y Shigella* sp. (Mohtar *et al.*, 1998;

Jayasinghe *et al.*, 2002). Estos compuestos antibacterianos son los responsables en el tratamiento para combatir infecciones en la piel, resfríos, fiebre y otros problemas de salud causados por bacterias. Leach *et al.* (1988), demostraron que los extractos con acetona de *M. citrifolia* mostraron actividad antimicrobiana. El amplio espectro de uso medicinal de estas plantas sugiere, que estas contienen sustancias farmacológicamente activas y las alternativas de métodos de extracción podrían llevar a encontrar los principales componentes bioactivos en las plantas para el propósitos de desarrollo de nuevas drogas. Otra especie de *Morinda* llamada *M. tintoria* tiene excelente actividad antimicrobiana contra varias bacterias y hongos patogénicos de humanos y plantas así como *Pseudomonas aeruginosa*. Los extractos con cloroformo del fruto de *M. tintoria* exhiben alta actividad contra patógenos de humanos como *Pseudomonas aeruginosa, Estafilococcus aureus, Escherichia coli y Candida albicans*. Además algunos extractos también inhiben significativamente la germinación de esporas y crecimiento micelial de hongos patógenos de plantas, así como *R. solani, B. oryzae, F. oxysporium* y *C. lunata* (Surendiran, 2004).

Un compuesto aislado a partir de la raíz, llamado 1 metoxy-2 formyl-3-hydroxyanthraquinone suprime el efecto citopático de células MT-4 infectadas por VIH (Umezawa, 1992). Se ha encontrado que extractos obtenidos con etanol y hexano tienen efecto antituberculoso, dado que inhiben de 89 al 95% a *Micobacterium tuberculosis* (Saludes *et al.*, 2002). A este respecto, los nativos en Polinesia la utilizan como medicina contra la tuberculosis. Este fue el primer reporte del potencial antimicrobiano de los compuestos obtenidos a partir de hojas del Noni (American Chemical Society, 2000).

Actividades antitumorales y anticancerígenas

Se reportó que los extractos etanólicos del jugo de fruto presentaron actividad anticancerígena contra células C57 Bl/6 en cáncer de pulmón de ratón, incrementando en 75% la vida de un ratón con carcinoma de pulmón implantado, comparado con un control. La supresión del crecimiento del tumor estuvo asociada con la estimulación del sistema inmune (Hirazumi y Furusawa, 1999). El incremento del tiempo de sobrevivencia y sus efectos curativos cuando se combina el extracto de noni, con dosis sub-óptimas de los agentes quimioterapéuticos estándar, tales como adriamicin (adria), cisplatin (CDDP), 5-flourouracil (5-FU) y vincristine (VCR), sugieren una importante aplicación como suplemento en el tratamiento del cáncer. Estos resultados indican que los extractos etanólicos podrían potenciar el efecto terapéutico de los fármacos anticancerígeno. Por lo tanto, esto puede traer un beneficio a los pacientes del cáncer, ya que

se podría reducir las dosis los fármacos utilizados, obteniéndose mejores resultados (Hirazumi y Furusawa, 1999).

Wang *et al.* (2002), demostraron el efecto citotóxico del jugo de noni tahitiano (JNT) a varias concentraciones, sobre un cultivo de líneas celulares de leucemia. También observaron un efecto sinérgico del JNT con los fármacos conocidos anticancerígenos. A dosis sub óptima, tanto la prednisolona como el JNT, podrían inducir apoptosis, así también el JNT realza la eficiencia de la prednisolona. Cuando es usada una dosis de taxol, esta induce un bajo porcentaje de apoptosis en células de leucemia, sin embargo el JNT realza la velocidad de apoptosis. Hiramatsu *et al.* (1993) reportaron el efecto de cerca de 500 extractos de plantas tropicales sobre células K-Ras-NRK. El Damnacanthal aislado a partir de la raíz del noni demostró la inhibición de la función RAS. Se cree que los oncogenes RAS pueden estar asociados con la traducción de señales en varios cánceres en humanos, así como el de pulmón, colon, páncreas y leucemia. Dos glucósidos extraídos fueron efectivos en la inhibición de células transformantes inducidas por TPA o EGF en líneas celulares JB6 de epidermis de ratón. La inhibición podría estar asociada con el efecto inhibidor de estos compuestos sobre la actividad AP1. Los compuestos también bloquean la fosforilación de C-JUN, un sustrato de JNKS, sugiriendo que las JNKS son un blanco crítico para los compuestos que median la actividad AP1 y de la información celular (Liu *et al.*, 2001).

Actividad insecticida

El noni ha sido utilizado como insecticida efectivo en Filipinas y Hawái, por ejemplo, extractos de hojas secas de Noni obtenidos con etanolinducen parálisis y muerte en un día a gusanos y nemátodos que parasitan al humano, como es el caso de *Ascaris lumbricoides* (Morton, 1999; Murdiatia *et al.*, 2000; Satapathy, 2007).

Actividad analgésica

Younos *et al.* (1990), probaron los efectos analgésicos y sedativos de los extractos del Noni y observaron actividad analgésica en ratones tratados. La eficiencia analgésica de los extractos fue de 75%, tan fuerte como la morfina pero libre de los efectos secundarios. Fueron probados JNT por sus propiedades analgésicas usando como modelo el ratón. Claramente los efectos analgésicos fueron dependientes de la dosis de los JNT, de acuerdo al comportamiento. Los efectos analgésicos de cada uno

de los JNT del grupo, fueron estadísticamente significativos, comparados con los del grupo control. Los datos a partir de este experimento indicaron claramente que los JNT fueron capaces de hacer que los animales tuvieran más tolerancia al dolor.

Actividad inmunológica

El extracto alcohólico de la fruta inhibió la producción del factor alfa de necrosis tumoral (TNA-a), el cual es un promotor endógeno de tumoración. Por lo tanto, el extracto en alcohol podría inhibir a los promotores de tumoración por el efecto de TNF-a (Hokama, 1993). Hirazumi y Furusawa (1999), encontraron que estos extractos contienen una sustancia rica en polisacáridos que inhibe los efectos tóxicos en cultivos adaptados de células de cáncer de pulmón, con capacidad de activar células de exudado peritoneal, confiriendo profunda toxicidad en cultivos de células tumorales. Esto sugiere la posibilidad de que los extractos de noni podrían suprimir el crecimiento de tumores através de la activación del sistema inmune huésped. También son capaces de estimular la liberación de varios mediadores a partir de células murinas, incluyendo TNF-a, interleucinas-1 beta (IL-1b), IL-10, IL-12, interferón-gama (IFN-g) y oxido nítrico (NO) (Hirazumi y Furusawa, 1999). Hokama (1993) separaron y precipitaron fracciones de jugo de fruto maduro del noni 50% acuoso: alcohol que estimularon células del timo (^{3}H) en un análisis de timidina. Esto sugiere la inhibición de tumores de pulmón en ratón y la estimulación de células T de respuesta inmune. Wang *et al.* (2002), observaron que el timo de animales tratados con JNT creció. El peso neto de los timos fue 1.7 veces mayor que el peso de los timos control de animales que durante 7 días tomaron JNT al 10% en el agua de beber. El timo es un órgano importante del cuerpo para el sistema inmune, el cual genera células T, involucrado en el proceso de envejecimiento y funciones celulares del sistema inmune. Los JNT pueden potenciar la respuesta del sistema inmune, por la estimulación de crecimiento del timo y por lo tanto afecta las actividades antiedad y anticáncer,y protegiendo a las personas de otras enfermedades degenerativas.

Alergias y toxicidad

La fruta del noni ha sido consumida de manera segura en otras partes del mundo por varios cientos de años (Whistler, 1992; Bruggnecate, 1992; Terra, 1996). Los JNT han demostrado ser seguros para el consumo en humanos, ya que han sido evaluados extensivamente mediante análisis químicos, microbiológicos y toxicológicos.

Estudios realizados por *Morinda* Inc, de los JNT, estuvieron enfocados a investigar la toxicidad acumulada. Se administraron cerca de 15,000 mg/kg en conejillos de indias. Los animales no mostraron signos clínicos adversos y no se observaron características de intoxicación al observar los órganos después de una necropsia. En otro estudio, usando conejillos de indias para evaluar el riesgo alergenico de los JNT, incluyendo una fase de inducción y un periodo de descanso, no se encontraron reacciones alérgicas (Kaaber, 2000).

Un estudio de toxicidad oral similar en ratas de 13 semanas, no mostró efectos adversos. A los animales se les administraron 20 ml de JNT concentrado/kg/día, 4 veces al día. Esto es equivalente a 80 ml de JNT kg/día. Esta cantidad representó 8% del peso del cuerpo del animal (Sang *et al.*, 2001).

Actividad antioxidante

En general el consumo de frutas y vegetales reduce el daño oxidativo inducido por la formación de radicales libres y la consecuente peroxidación de lípidos y por lo tanto se reduce el riesgo de desarrollar cáncer (Diplock *et al.*, 1998). Se cree que las frutas y vegetales son la principal fuente de antioxidantes (Weisburer *et al.*, 1997; Nishikimi *et al.*, 1972). El jugo del fruto del Noni contiene niveles significativos de antioxidantes que contrarrestan a los radicales aniones de súper oxidación (SAR) y grupos peróxidos de lípidos (LPO), esto evaluado por ensayos TNB y LMB respectivamente (Auerbach *et al.*, 1992, Wang y Su, 2001). La actividad de SAR fue determinada por el ensayo *in vitro* por medio del azul de nitrotetrazolium. La actividad de SAR determinada de los JNT fue comparada con tres antioxidantes conocidos; vitamina C, polvo de semillas de uva y picogenol a dosis diarias recomendadas por la USDA o recomendaciones de manufactura. Bajo condiciones experimentales la determinación de la actividad del SAR de los JNT mostró ser 2.8 veces mas antioxidante que la vitamina C, 1.4 veces más que el picogenol y 1.1 veces mas que el polvo de semillas de uva. Por lo tanto los JNT han tenido un gran potencial para determinar los radicales libres reactivos al oxígeno (Wang y Su, 2001).

Actividad antiinf amatoria

Existen evidencias que indican la inhibición del COX-2, que podrían estar involucrados en el desarrollo de cáncer de pecho, colon y pulmón (Yau *et al.*, 2002; Takahashi *et al.*, 2002; Langman *et al.*, 2000). Investigaciones sobre actividad

antiinflamatoria han mostrado que la inhibición selectiva de COX-2 es comparable con la de Celebrex. El descubrimiento de la inhibición selectiva del COX-2 por los JNT es muy significativo, mientras JNT es a partir de jugo de frutos naturales sin efectos secundarios, la cual es la primera evidencia científica fuerte de actividad antiinflamatoria en JNT, y que puede ser uno de los mecanismos de prevención del cáncer (Zhang *et al.*, 1994).

También se ha observado actividad antiinflamatoria en daño agudo de hígado en un modelo de ratas hembra inducido por CCl4. La disminución de la inflamación de los linfocitos, en áreas cercanas, se observó a las 6 horas post inducción de CCl4, en animales pretratados con JNT al 10% por 20 días en el agua de bebida, comparados con animales tratados con CCl4 sin JNT (Wang *et al.*, 2002). Investigaciones a partir de pruebas clínicas indican que el humo del cigarro está involucrado en cáncer de pulmón, enfermedades del corazón, y en otras enfermedades degenerativas. Sin embargo, el beber JNT permite prevenir enfermedades del corazón, pulmón, cerebro, así como retrasador del proceso de envejecimiento favoreciendo el mantenimiento de la buena salud.

Conclusiones

El árbol del noni (*Morinda citrifolia*), contiene más de 150 componentes con propiedades nutracéuticas, tales como vitaminas, minerales, micro y macronutrientes, que le confieren diversas propiedades nutricionales y terapéuticas.

El fruto del noni tiene una gran importancia como alimento, por sus nutrientes y en la medicina tradicional. Posee un amplio rango de propiedades terapéuticas, tales como, antibacterianas, antivirales, antitumorales, antiparasitarias, antiinflamatorias, analgésicas, estimuladora del sistema inmunológico, entre otras, por lo cual ha sido empleado para tratar diversos desórdenes de la salud. Por otro lado, otras partes de la planta han sido empleadas para fabricar diferentes productos, tal es el caso de las raíces, con las que se sintetizan colorantes de tonos rojizos y de las hojas se obtienen colorantes cafés. A partir del fruto se han producido, lociones, cremas y jabones corporales, pastas de dientes y tés, empleados para tratar muchas afecciones.

Agradecimientos

Al Fondo Mixto Tamaulipas, al Instituto Politécnico Nacional y a la Comisión de Operación y Fomento de Actividades Académicas.

Referencias

Abbott, I.A. (1992), "La 'Au Hawaii' traditional Hawaiian uses of plants V3. Honolulu, Hawaii", *Bishop Museum Press*, pp. 97-100.

American Chemical Society (2000), *Noni plant may yield new drugs to fight tuberculosis. Press releases the 2000 international chemical congress of Pacific basin societies.*

Aragones, E.G., F.R. Magpayo and S. U. Foronda (1997), *Three economically important dye plants in Southern Philippines.* J. FPRDI. 23, pp. 87-95.

Auerbach, B.J., J. S. Kiely and J. A. Comicell (1992), "A spectrophotometric microtitre based assay for the detection of hydroperoxyderivatives of linoleic acid", *Annal Biochem*, 952, pp. 161-8.

Bruggnecate, J. T. (1992), *Native plants can heal your wounds. Honolulu Star-Bulletin local news.*

Chunhieng, M.T. (2003), "De' veloppement de nouveaux aliments sante' tropicale: application a' la noix du Brc' sil Bertholettia excelsa et au fruit de Cambodge, *Morinda citrifolia*", Ph. D. thesis, INPL, France.

Diplock, A.T., J. L. Charleux, G. Crozier, C. Rice, M. Roberfroid and W. Stahi (1998), "Functional food science and defense against reactive oxidative species", *Br. J. Nutr.* 80, Suppl 1, pp. S77-112.

Dittmar, A. (1993), "*Morinda citrifolia* L: Use in Indigenous Samoan Medicine", *Journal of Herbs and Medicinal Plants*, 1 (3), pp. 77-92.

Dixon, A.R., H. McMillen, N. L. Etkin (1999), "Ferment this: the transformation of Noni, a traditional Polynesian medicine (*Morinda citrifolia, Rubiaceae*)", *Ecological Botany.* 53, pp. 51-68.

Dualatabad, C.D., G. M. Mulla and A. M. Mirajikar (1989), *Riconoleic acid in Morinda citrifolia seed oil. Oil technologist's association of India*, 21, pp. 26-7.

Duke, J.A. (1992), *Hand book of phytochemicals*, Boca Raton, FL. CRC publishing.

Duncan, S.H., H. J. Flint, C. S. Stewart (1998), "Inhibitory activity of gut bacteria against *Escherichia coli* O157 mediated by dietary plant metabolites", *FEMS Microbiology Letters*, 164, pp. 258-283.

Farine, J.P., L. Legal, B. Moreteau, J. L. Le Quere (1996), "Volatile components of ripe fruits of *Morinda citrifolia* and their effects on *Drosophila*", *Phytochemistry*, 41(2), pp. 433-438.

Gerlach, J. (1996), "Native or introduced plant species? Phelsuma", 4, pp. 70-74.

Heinicke, R. M. (1985), "The pharmacologically active ingredient of Noni", *Bulletin of the National Tropical Botanical Garden*, 15, pp. 10-14.

Hiramastsu, T., M. Imoto, T. Koyano and K. Umezawa (1993), "Induction of normal phenotypes in ras transformed cells by damnacanthal from *Morinda citrifolia* L.", *Cancer lett*, 73, pp. 161-166.

Hirazumi, A. and E. Furusawa (1999), "An immunomodulatory polysaccharide rich substance from the fruit juice of *Morinda citrifolia* (Noni) with antitumour activity", *Phytother. Res.*, 13, pp. 380-7.

Hokama, Y. (1993), *The effect of Noni fruit extract (Morinda citrifolia, Indian mulberry) on thymocytes of BALB/c mouse*, FASEB J. 7, p. A866.

Jayasinghe, U.L.B., C.P. Jayasooriya, B.M.R. Bandara, S.P. Ekanayake, L. Merlini, and G. Assante (2002), "Antimicrobial activity of some Srilankan *Rubiaceae* and *Meliaceae*", *Fitoterapia*, 73, 5, pp. 24-427.

Kaaber, K. (2000), *Tahitian Noni® Juice: active systemic anaphylaxis test in the Guinea pig*, feb 18. Scantox Biologisk Laboratorium A/S, D K -426, Lille Skensved, Denmark.

Krauss, B. (1993), *Plants in Hawaiian culture*, Honolulu, University of Hawaii, pp. 103-252.

Langman, M.J., K. K. Cheng, E. A. Gilman and R. J. Lancashire (2000), *Effect of anti-inflammatory drugs on overall risk on common cancer: case control study in general practice research database*, BMJ. 320, pp. 1642-6.

Leach, A.J., D. N. Leach and G. J. Leach (1988), *Anti bacterial activity of some medicinal plants of Papua New Guinea*, Sci., New Guinea, 14, pp. 1-7.

Levand, O. and H. O. Larson (1979), "Some chemical constituents of *Morinda citrifolia*", *Planta Med.*, 41, pp. 433-8.

Liu, G., A. Bode, W. Y. Ma, S. Sang, C. T. Ho, Z. Dong (2001), "Two novel glycosides from the fruits of *Morinda citrifolia* (Noni) inhibit AP-1 transactivation and cell transformation in the mouse epidermal JB6 cell line", *Cancer Research*, 61, pp. 5749-5756.

Locher, C.P., M.T. Burch, H. F. Mower, H. Berestecky, H. Davis, B. Van Polel, A. Lasure, D.A. Vander Berghe, A.J. Vlieti-Nick (1995), "Anti-microbial activity and anti-complement activity of extracts obtained from selected Hawaiian medicinal plants", *Journal of Ethnopharmacology*, 49, pp. 23-32.

Infecciones por consumo de alimentos marinos

a) Infección por cólera

El cólera es una enfermedad diarreica con una gran trascendencia histórica. El agente responsable es el *Vibrio cholerae*, un bacilo curvo Gram negativo, del cual sólo los subtipos del cero grupo O1 y O139 han sido asociados a esta infección. El primer serogrupo es el responsable de prácticamente todas las epidemias, del cual se han descrito 3 serotipos y dos biotipos. El segundo serogrupo, apareció en 1992 y hoy es el causante de la enfermedad en gran parte de Asia (Lafuente *et al.*, 2006). Esta bacteria se concentra en moluscos filtradores como almejas, ostiones, mejillones, entre otros. Una vez que estos son consumidos por el hombre, se presentan las siguientes manifestaciones clínicas: diarrea acuosa que puede provocar deshidratación de intensidad variable, dolor abdominal, vómitos, calambres generalizados y oliguria. La sintomatología puede aparecer al cabo de 2 o 3 días de haber ingerido el producto contaminado. Su cuadro clínico suele durar de uno a pocos días (Lafuente *et al.*, 2006).

En cuanto al tratamiento, el objetivo principal es restaurar las pérdidas de líquido y electrolitos con rehidratación oral o endovenosa dependiendo de la gravedad. Los fármacos antimicrobianos (tetraciclina y doxiciclina) desempeñan un papel secundario reduciendo el volumen y la duración de la diarrea (Lafuente *et al.*, 2006).

b) Paragonimosis

Es una infección causada por trematodos del género *Paragonimus*. Esta enfermedad es común en el Sudeste Asiático, América Latina y África, en donde se han reportado un poco más de 21 millones de personas infectadas (Quijada *et al.*, 2005). El ciclo evolutivo del *Paragonimus* tiene como primer hospedador intermediario a un molusco gasterópodo (caracol) y como segundo, a un cangrejo de agua dulce. La enfermedad se adquiere a través del consumo del cangrejo crudo o insuficientemente cocido. Las especies de hospederos intermediarios varían de acuerdo a la ubicación geográfica. El *Paragonimus* parasita los pulmones del ser humano, donde induce síntomas frecuentemente confundidos con la tuberculosis. En la fase aguda de la infección (invasión y migración), los síntomas clínicos son: diarrea, dolor abdominal, fiebre, tos, urticaria y hepatoesplenomegalia (agrandamiento del hígado y el bazo). La fase crónica (infección pulmonar) tiene como principales síntomas la tos, hemoptisis (presencia de san-

gre en el esputo), dolor pulmonar y anormalidades radiológicas que pueden persistir muchos años después de la cura. Las localizaciones extrapulmonares del parásito, principalmente en el cerebro, pueden llevar a manifestaciones clínicas más graves. El tratamiento clínico recomendado es la administración de un antihelmíntico antiparasitário de amplio espectro.

c) Heterofidosis

Es una infección causada por trematodos de la familia *Heterophyidae*. Son parásitos del intestino del hombre. La infección es en general asintomática o presenta síntomas leves, si bien existen especies que son capaces de causar disturbios clínicos más severos. En América Latina el único género de importancia es *Phagicola*, descrito en el ser humano solamente en infecciones ocurridas en Brasil (Quijada *et al.*, 2005). La *Phagicola* presenta varios hospederos intermediarios y su hospedador final o definitivo es un mamífero o un ave. Los huevos embrionados se expulsan en las heces del hospedador definitivo y eclosionan cuando se ingieren por el primer hospedador intermediario, que es siempre un molusco como el caracol. Por consiguiente, el consumidor puede contraer esta enfermedad cuando ingiere caracoles o moluscos contaminados con este parásito. Las manifestaciones clínicas más comunes tras el consumo de estos caracoles son: diarrea, dolores abdominales y adelgazamiento, dependiendo de la susceptibilidad de individuo. El tratamiento clínico recomendado es la administración de un antihelmíntico antiparasitario de amplio espectro.

d) Gnatostomiosis

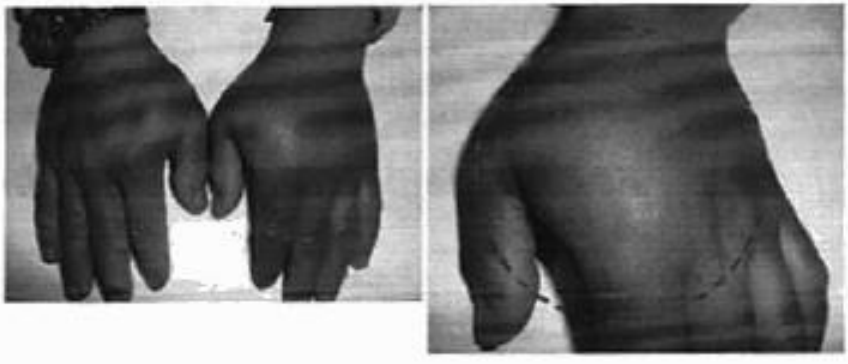
La gnatostomiosis es una enfermedad causada por el parásito *Gnathostoma spinegerum*, el cual es un nemátodo de forma cilíndrica. Esta especie se ha considerado por mucho tiempo como la única especie transmisora de la infección al ser humano. Esta enfermedad se pensaba que por los hábitos alimentarios de la gente, solo existía en Asia, particularmente en Tailandia y Japón, sin embargo, se ha detectado su presencia en Ecuador y México (Quijada *et al.*, 2005). Esta enfermedad se considera una ictiozoonosis emergente que está afectando a un número creciente de personas. En México, en el año 2000 se registraron más de 1500 casos en solo siete estados.

El mecanismo de infestación es el siguiente: los huevos del parásito en agua dulce se transforman en larvas que se ingieren por el primer hospedador intermediario

que son los copépodos del género *Cyclops*. Los copépodos infestados son consumidos por el segundo hospedador intermediario, un pez de agua dulce o un anfibio, en el cual la larva del *Gnathostoma* se desarrolla hasta su tercer estadio. Cuando el humano consume productos contaminados con este parásito puede adquirir la enfermedad. En este caso, en el humano la larva *Gnathostoma* en su tercer estadio no se desarrolla hasta la etapa adulta, por lo que migra a través de los tejidos humanos, preferentemente la piel, dando origen a la llamada "larva migrans" (Quijada *et al.*, 2005).

El diagnóstico de esta infección se basa en antecedentes epidemiológicos, cuadro clínico y pruebas serológicas de apoyo. En algunos casos, el paciente señala la ubicación del parásito, identificándolo como un cuerpo extraño, superficial, semejante a un "grano de arroz". La gran mayoría de los pacientes se infectan por consumo de pescados de agua dulce crudos, mal cocidos, salados o ahumados, presentando manifestaciones clínicas como erupciones serpiginosas y/o eritemas (enrojecimiento de la piel y alteración de la circulación superficial de la piel) (figura 1) móviles en la piel provocadas por la migración de la larva del parásito. Una migración accidental de la larva, puede llevarla a un órgano vital, resultando en una enfermedad muy grave o fatal. El tratamiento clínico recomendado es la administración de un antihelmíntico antiparasitario de amplio espectro (Quijada *et al.*, 2005).

Figura 1. Alteración de la circulación superf cial de la piel



Fuente: disponible en www.otm.oxfordmedicine.com

e) Anisakidosis

Es una infección producida por la larva del nematodo *Anisakis simplex* (también se relaciona con los nematodos *Anisakis spp., Contracaecum osculatum, Pseudoterranova decipiens y Phocanema spp.).* Para esta infección, el hombre actúa como hospedador intermediario de manera accidental cuando consume la larva infectante enquistada que está presente en los tejidos de peces o cefalópodos como: arenque (*Clupea harengus*), bacalao (*Gadus spp.*), caballa (*Scomber spp.*), salmón (*Oncorhynchus spp.*), mero (*Epinephalidae*), calamar y muchas otras. Esta infección es causada por la ingestión de pescado crudo, mal cocido o inadecuadamente salado o ahumado. En la figura 2 se presenta un filete de pescado contaminado con este parásito.

La anisakidosis es una enfermedad del tracto gastrointestinal que puede presentar síntomas muy variables, desde náuseas hasta fuertes dolores abdominales. La patología se presenta con un cuadro clínico de dos tipos. En el síndrome gástrico agudo, sobreviene un fuerte cólico epigástrico, con náuseas y vómitos que se presentan cuatro a seis horas después de la ingestión del pescado infectado. Algunas veces se requiere una intervención quirúrgica, en otros casos, la evolución puede ser de hasta dos años. Cuando se afecta el intestino delgado, ocurre la aparición brusca de náuseas, vómitos, cólicos y fiebre; todo esto en unos siete días después de la ingestión de las larvas. Adicionalmente, se pueden presentar cuadros alérgicos (anafilaxia), caracterizados por urticaria, angioedema facial (hinchazón del rostro) (figura 2), angioedema, sintomatología gastrointestinal, respiratoria (edema de glotis, broncoconstricción); y, en casos más severos, choque anafiláctico. El tratamiento para la mayor parte de las infecciones es la remoción quirúrgica de los parásitos (Buendía, 2000).

Figura 2. Filete contaminado con anisakis, angioedema facial (hinchazón del rostro) y urticaria producidas por este parásito



Fuente: disponible en http://nuestrocuerpo-hogardeparasitos.blogspot.mx/2011/06/anisakis-spp.html

Intoxicaciones por el consumo de alimentos marinos

Las intoxicaciones alimentarias se definen, como las enfermedades generadas al ingerir un alimento en el que se encuentra la toxina o veneno formado en tejidos de plantas o animales o como producto metabólico de los microorganismos. Entre las intoxicaciones producidas por alimentos en general se pueden mencionar la intoxicación por la toxina del botulismo, estafilocócica o por toxinas producidas por hongos o especies marinas. Asimismo, se encuentran las causadas por sustancias químicas incorporadas al alimento en forma accidental o intencionalmente, como plaguicidas, metales pesados u otras (Jay, 2002).

Un alimento puede ser intoxicante cuando: *a)* Contiene naturalmente la toxina; tal es el caso de la solanina en las papas, las toxinas de macrohongo, o las biotoxinas marinas. *b)* Contiene residuos químicos tóxicos como metales, plaguicidas, dioxinas u otros; estos elementos pueden estar presentes en el alimento por contaminación directa o llegar a través de la cadena alimentaria. *c)* Ha sido contaminado con microorganismos que al multiplicarse produce una exotoxina (*Clostridium botulinum, Staphylococcus aureus, Bacillus cereus* tipo emético). En estos casos el alimento debe presentar condiciones apropiadas para permitir la reproducción del microorganismo y la liberación de toxinas. En esta categoría se pueden considerar alimentos contaminados con bacterias de los géneros (*Proteus* y *Klebsiella)* que degradan la histidina y producen histamina, tal como ocurre con la escombrotoxina en pescado (Jay, 2002).

En la actualidad las intoxicaciones identificadas se clasifican de acuerdo a la incidencia y a los síndromes que causan. A continuación se describirán algunas de las intoxicaciones más importantes generadas por el consumo de los productos marinos, así como la fuente de intoxicación, el cuadro clínico que se presentan y por último los tratamientos clínicos que normalmente se aplican para contrarrestar dicha intoxicación.

a) Intoxicación paralítica por mariscos (PSP)

La intoxicación paralítica por mariscos (PSP por sus siglas en inglés: paralytic shellfish poison), se genera por el consumo de la toxina saxitoxina (figura 3-a), la cual está constituida por un grupo de 21 tetrahidropurinas, cuya toxicidad difiere ampliamente. Estos compuestos a su vez están divididos en cuatro subgrupos: a) carbamato y gonyautoxina; *b)* N-sulfocarbamoil; *c)* Decarbamoil y *d)* Compuestos de desoxidecarbamoil (Cabrera *et al.*, 2008; Van Egmont *et al.*, 2005; Lovatelli *et al.*, 2008; COFEPRIS, 2012).

Los principales responsables de la producción de estas toxinas son los dinoflagelados del género *Alexandrium catenella* (conocido como *Gonyaulax* o *Protogonyaulax*); otras fuentes productoras de saxitoxina son *Alexandrium tamarensis, A. minutum, A. excavata, A. fraterculus, A. fundyense* y *A. cohorticula.* Asimismo, pueden ser producidas *Pyrodinium bahamense* y *Gymnodinium catenatum,* los cuales se encuentran en zonas de clima tropical o templadas. Estas toxinas también pueden ser producidas por ciertas bacterias, cianobacterias y algas verde-azuladas. Esta toxina es una de las ficotoxinas que contribuyen a la intoxicación paralítica por mariscos, la cual se produce principalmente por el consumo de moluscos bivalvos, ostras y mejillones contaminados (Cabrera *et al.*, 2008; Van Egmont *et al.*, 2005; Fusetani y Kem, 2009).

La sintomatología ocasionada por el consumo de organismos contaminados con saxitoxina consiste en hormigueo peribucal, malestar general, pérdida de fuerza generalizada, entumecimiento o picazón leve hasta la parálisis respiratoria completa, que en casos fatales ocurre entre dos y doce horas después de la ingestión (Van Egmont *et al.*, 2005; Cabrera *et al.*, 2008). El tratamiento para la intoxicación PSP, consiste en llevar a cabo un lavado gástrico para eliminar las fuentes de toxinas aún no absorbidas. En un medio ácido como el gástrico, las toxinas PSP tienen mucha carga y el carbón activado las absorbe eficazmente. Estos pasos son de suma importancia en el tratamiento de niños intoxicados ya que la gravedad de la intoxicación es directamente proporcional a la concentración de toxinas en el cuerpo. En

casos moderadamente graves, el objetivo primordial es mantener respirando al paciente. La insuficiencia respiratoria se debe a distintos grados de parálisis de los nervios y músculos respiratorios, por lo que se recomienda someter al paciente a respiración artificial con presión positiva. La acidosis que pudiera presentar el paciente se corrige con terapia de fluidos, que además facilitan la excreción renal de toxinas (COFEPRIS, 2012).

b) Intoxicación diarreica por mariscos (DSP)

La intoxicación diarreica por mariscos (DSP por sus siglas en inglés: diarrhetic shellfish poison) es una enfermedad asociada al consumo de las toxinas ácidas como el ácido okadaico (figura 3-b) y sus derivados, las dinofisistoxinas; las toxinas neutras y compuestos tipo poliéter lactona del grupo de las pectenotoxinas; así como también al grupo que está integrado por los poliéteres sulfatados y sus derivados, las yesotoxinas. Todas estas toxinas son poliéteres termoestables y son compuestos liposolubles que se acumulan en los tejidos adiposos de los bivalvos, como mejillones, ostras, vieiras y almejas (Daranas *et al.*, 2001; Camacho *et al.*, 2007; Suárez *et al.*, 2004).

Los productores de estas toxinas diarreicas son dinoflagelados de los géneros *Dinophysis spp.* y *Prorocentrum spp.* En condiciones ambientales favorables, estas algas pueden reproducirse rápidamente y causar floraciones (Fusetani y Kem, 2009; COFEPRIS, 2012).

La DSP está muy extendida en su distribución, con la aparición esencialmente estacional en Europa y Japón. Cuando una persona consume organismos contaminados con esta toxina puede presentar las siguientes manifestaciones clínicas: una alteración gastrointestinal aguda, náuseas, vómitos y dolores abdominales. Los síntomas, que nunca son letales, comienzan a aparecer entre 30 minutos y un par de horas luego de la ingestión de los mariscos contaminados, y se observa una recuperación completa en un lapso de tres días. La intensidad de los síntomas varía según la cantidad de toxinas ingerida y generalmente no es necesario hospitalizar al paciente, por lo que no se requiere de un tratamiento clínico específico para contrarrestas los síntomas (Van Egmont *et al.*, 2005; COFEPRIS, 2012).

c) Intoxicación amnésica por mariscos (ASP)

La intoxicación amnésica por mariscos (ASP por sus siglas en inglés: amnesic shellfish poison), se caracteriza por la pérdida de memoria a corto plazo (Mos, 2001; Sobel y

Painter, 2005). Esta intoxicación se produce por la ingestión de ácido domoico (figura 3-c), el cual es un compuesto natural perteneciente a la categoría de los cainoides, aislados de diversas fuentes marinas, como: las macroalgas *Chondria armata*, microalgas como las diatomea *Pseudonitzschia ssp* en sus diferentes variedades, *Pungens multiseries*, *Pseudonitzschia australis*, *Pseudo-nitzschia Pseudodelicatissima* y *Pseudo-nitzschia seriata*. Asimismo, se ha encontrado en el tejido adiposo de los moluscos bivalvos (Daranas *et al.*, 2001; Mos, 2001; Fusetani y Kem, 2009).

El ácido domoico es una potente neurotoxina estimulante de los neurotransmisores, que se unen a proteínas receptoras específicas en las neuronas, causando su despolarización continua hasta la ruptura celular (García *et al.*, 2009; Álvarez, 2009; Álvarez y Santiago, 2006). La ingesta de esta toxina presentan las siguientes manifestaciones clínicas: los síntomas más comunes son nausea, vómitos, calambres abdominales, dolor de cabeza, diarrea y pérdida de memoria. La pérdida de memoria y la edad se correlacionan bien; aquellos con menos de 40 años son más susceptibles a diarreas y los mayores de 50 años a pérdida de memoria. La pérdida de memoria es fundamentalmente de corto plazo. Los síntomas leves son principalmente gastrointestinales. Los casos más serios presentan déficit neurológico severo (García *et al.*, 2009; COFEPRIS, 2012). El tratamiento para la intoxicación ASP consiste en realizar un lavado gástrico con carbón activado, o eliminación del tóxico con diuresis forzada, alcalina o neutra y aplicar una dosis inicial del antídoto e iniciar un tratamiento sintomático (Rivero *et al.*, 2006).

d) Intoxicación neurológica por mariscos (NSP)

La intoxicación neurológica o neurotóxica por mariscos (NSP por sus siglas en inglés: neurotoxic shellfish poison), es causada por brevetoxinas poliéteres cíclicas (figura 3-d), producidas por el dinoflagelado marino *Gymnodinium breve* (también llamado *Ptychodiscus breve* y desde el año 2000, llamado *Karenia brevis*), el cual ha sido implicado en la muerte masiva de peces, aves marinas, y ha demostrado recientemente ser directamente responsable de la mortalidad de mamíferos marinos como los manatíes y delfines (Yasumoto, 2005). La NSP se consideraba endémica en el Golfo de México y la costa este de la Florida, de donde se han informado "mareas rojas" desde 1844. Una característica poco común de la *Karenia brevis* es la formación de aerosoles tóxicos por acción de las olas, estos aerosoles pueden resultar en síntomas similares al asma en los seres humanos (COFEPRIS, 2012). Por otro lado, la NSP se produce por consumo de mariscos crudos o cocidos, como las almejas, ostras, y mejillones contaminados con estas toxinas. Esta intoxicación se caracteriza por pre-

sentar náuseas, vómitos, diarrea, escalofrío, sudoraciones, cambios de temperatura, hipotensión, arritmias, entumecimientos, hormigueo, parestesia labial de la cara y de las extremidades, calambres, broncoconstricción, parálisis, ataques y puede llegar a producir coma. Sin embargo, no se han informado síntomas crónicos o mortalidad (COFEPRIS, 2012), también puede causar un síndrome tóxico algo similar a las intoxicaciones PSP y ciguatera, aunque menos severo (Pérez y Band, 2011), las cuales aparecen entre los 30 min y las tres horas después de su consumo. El tratamiento consiste en administrar medicamentos para detener el vómito y la inyección de líquidos por vía intravenosa para reemplazar los líquidos perdidos por el vómito y la diarrea (Van Egmont *et al.*, 2005).

e) Intoxicación por azaspiracida (AZP)

La intoxicación azaspiracida (AZP por sus siglas en inglés: azaspiracid poison), es producida por el consumo de la toxina azaspiracida (figura 3-e) y sus análogos, estas toxinas están formadas por anillos azaspiro de 5 y 6 miembros, uno de ellos conteniendo nitrógeno. Son toxinas que afectan al intestino originando sintomatologías similares al DSP, así como a otros órganos como el sistema inmune por lo que se postula que pueden suponer un riesgo mayor para el hombre (Palacios, 2007; Twiner *et al.*, 2008). Si bien el origen del azaspirácido no está totalmente esclarecido, su aparición estacional y su estructura molecular hicieron sospechar que el agente productor era un dinoflagelado marino, siendo el principal responsable de este tipo de intoxicaciones *Protoperidinium crassipes* (Palacios, 2007; James *et al.*, 2002; Elgarch *et al.*, 2008).

Por otro lado, se ha reportado que la AZP se produce tras el consumo de mariscos como los mejillones (*Mytilus edulis)*, ostiones *(Crassostrea gigas),* otras *(Ostrea edulis)*, almejas *(Tapes philipinarum)*, navajas *(Ensis siliqua)*, berberechos (*Cerastoderma edule)* y pectínidos (*Pecten maximus),* así como también en cangrejos (*Cancer pagurus)* (Twiner *et al.*, 2008). En los EU se estableció un límite máximo de este compuesto para asegurar la salud humana, el cual consiste en consumir hasta 160 µg AZA/kg (Twiner *et al.*, 2008). En la literatura se ha observado que en humanos que consumieron mejillones contaminados con azpirácidos presentaron síntomas como náuseas, vómitos, diarrea grave y calambres en el estómago, estos síntomas pueden persistir hasta por 2-3 días (Draisci *et al.*, 2000; COFEPRIS, 2012; Twiner *et al.*, 2008).

f) Intoxicación por ciguatera (CFP)

La intoxicación por ciguatera (CFP por sus siglas en ingles: ciguatera fish poison), es provocada por la ingestión de la toxina llamada ciguatoxina, la cual esta constituida por compuestos poliéteres liposolubles formados por 13 a 14 anillos unidos por enlaces éter, con una estructura muy rígida de tipo escalera (figura 3-f) (Lehane y Lewis, 2000; Field *et al.*, 2008). En la literatura se ha descrito que la ciguatoxina es un metabolito de la gambiertoxina 4B (Fusetani y Kem, 2009), de ella se deriva el resto de las variaciones o transformaciones oxidativas que ocurren cuando transitan a través de la cadena trófica, entre las cuales se encuentran las ciguatoxinas, maitotoxinas, dinophysistoxina, dinophysistoxina-2, cooliatoxina, ostreoxina (palitoxina) y gambierol (Arencibia *et al.*, 2009). Estas toxinas se producen por microalgas marinas unicelulares como *Gambierdiscus toxicus*, que crecen en zonas próximas a los arrecifes de coral. Generalmente no resultan tóxicas para los peces que las consumen, de manera que la toxina se introduce en la cadena alimentaria cuyo último eslabón es el ser humano (microalgas>peces herbívoros>peces carnívoros>hombre) (García *et al.*, 2009).

La intoxicación por ciguatoxina representa un importante problema de salud pública en las regiones del Caribe, Pacífico e Índico (Valle y Lucas, 2000; García *et al.*, 2009; Field *et al.*, 2008; Fusetani y Kem, 2009). Por otro lado, entre los peces tropicales y subtropicales involucrados con mayor frecuencia en esta intoxicación se incluyen la barracuda, mero, atún, lenguado, serrano, morena, bacalao, emperador y caballa, aunque en realidad cualquier especie puede ser causa de intoxicación (Valle y Lucas, 2000).

Las personas intoxicadas con ciguatoxina presentan problemas a nivel gastrointestinal, neurológico y cardiovascular (cuadro 1). El tratamiento para la intoxicación por ciguatoxina consiste en llevar a cabo un lavado gástrico, seguido de un tratamiento con carbono activado, administración de manitol en la fase aguda, sin embargo, se ha demostrado clínicamente, que no es efectivo si se administra pasadas 48 horas de la aparición de los síntomas, también pueden requerirse infusiones cristaloides intravenosas y agentes vasoactivos, en el caso de deshidratación e hipotensión (COFEPRIS, 2012; Fiel y Calderón, 2008).

Cuadro 1. Principales síntomas descritos en la intoxicación por ciguatoxina

Gastrointestinales	Náuseas, vómitos, diarrea, dolor abdominal, pérdida de las sensaciones en las extremidades y los alrededores de la boca y salivación excesiva.
Neurológicos	Supersensibilidad al frío, inversión de las sensaciones de frío y calor, entumecimiento en las extremidades, mareo, ataxia, temblores, rigidez en los músculos, depresión, alucinaciones visuales y auditivas, convulsiones y parálisis intestinales vértigo, visión borrosa, cefalea, sabor metálico, dolor y sensación de caída de dientes, parálisis de nervios periféricos y en caso extremo la muerte.
Cardiovasculares	Pulso lento, irregular o acelerado, reducción de la tensión arterial y taquicardia.
Otros	Síntomas depresivos, aborto espontáneo, parto prematuro, dolor con la eyaculación y erupción cutánea.

Fuente: García *et al.* (2009); Arencibia *et al.* (2009); Valle y Lucas (2000).

g) Intoxicación por tetradotoxina (por pez globo o fuguismo)

La tetradotoxina (figura 3-g), es uno de los tóxicos naturales que posee una gran capacidad letal, está asociada al consumo de pez globo "fugu", que pertenece a la familia *Tetraodontidae*. Este pez acumula la toxina en ovarios, hígado, intestino, piel y hueva. Esta toxina resulta ser estable al calor, encontrándose a niveles peligrosos aún después de ser procesado a 100 °C durante 10 min. Recientemente, se han reportado nuevas estructuras asociadas a la tetrodotoxina y a los derivados del ácido tetradónico, la 4 epi-tetrodotoxina y la anhidrotetrodotoxina. Estas toxinas fueron aisladas del pez globo (*Takifugu pardalis* y del *Takifugu poecilanotas*), sin embargo, se ha descrito que son menos potentes que la tetrodotoxina (Field *et al.*, 2009).

Esta intoxicación está asociada con el consumo del pez globo, procedente de las aguas de las regiones Indo-Pacíficas, pero se han detectado casos de intoxicaciones, incluyendo muertes por pez globo procedente del Océano Atlántico, el Golfo de México, y el Golfo de California. La intoxicación por el pez globo es un problema continuo para Japón, por lo que se ha tratado de controlar, permitiendo que sólo personas especializadas puedan manipular y cocinar el "fugu", los cuales pueden eviscerar al pez sin que queden restos de toxinas (Valle y Lucas, 2000). Produce síntomas que generalmente aparecen entre los 20 min y las 3 horas después de inge-

rir el pez globo venenoso. Entre los principales síntomas se encuentran el entumecimiento de los labios, la lengua, la cara y las extremidades, sensación de luminosidad o de estar flotando, mareos, dolor de cabeza, vómitos, dolor abdominal, diarrea, lenguaje bulbar, dificultad para caminar y debilidad muscular extensiva. El tratamiento consiste en limitar la absorción de la toxina por el cuerpo, aliviar los síntomas, y tratar las complicaciones que ponen en peligro la vida. No existe un antídoto conocido para la tetrodotoxina.

h) Intoxicación por histamina o escombroidosis

La escombroidosis es un tipo de intoxicación que se produce después de comer pescado que contiene altos niveles de histamina (figura 3-h). Ésta es una amina compuesta por un anillo imidazólico y un grupo etilamino como cadena lateral. Químicamente, la histamina es 2-(4-imidazol) etilamina. Es el producto de la descarboxilación de la histidina, una reacción catalizada por la enzima L-histidin descarboxilasa (Fiel y Calderón, 2008; Kim *et al.*, 2002; McLauchlin *et al.*, 2006).

La histamina se forma por la proliferación de bacterias tales como: *Vibrio* sp, *Clostridium* sp, *Lactobacillus* sp, *Salmonella* sp, *Klebsiella, Pneumoniae, Proteus,* entre otros. Esta intoxicación se produce por el consumo de peces de aguas tropicales y templadas de carne oscura como lo es el atún, la caballa y el bonito, así como también con el consumo de salmón y sardinas, dado que este tóxico se desarrolla *postmortem* sin importar el lugar donde haya sido pescado, el factor de intoxicación es el tiempo que se encuentre al aire libre sin refrigeración (FDA, 2009). La sintomatología que presentan las personas intoxicadas con esta toxina, incluyen problemas principalmente neurológicos y cutáneos, como: erupciones, urticaria y inflamación localizada, asimismo, pueden presentar náuseas, vómito, diarrea, dolor epigástrico, cólicos, cefalea, hormigueo, calambres, sensación de calor peribucal y pérdida de visión. Las manifestaciones suelen aparecer 5 min después de la ingesta o puede tardar varias horas en manifestarse, todo esto depende de las concentraciones de histamina que se encuentren en el pescado (Beckeret *et al.*, 2001; Attaran y Probst, 2002).

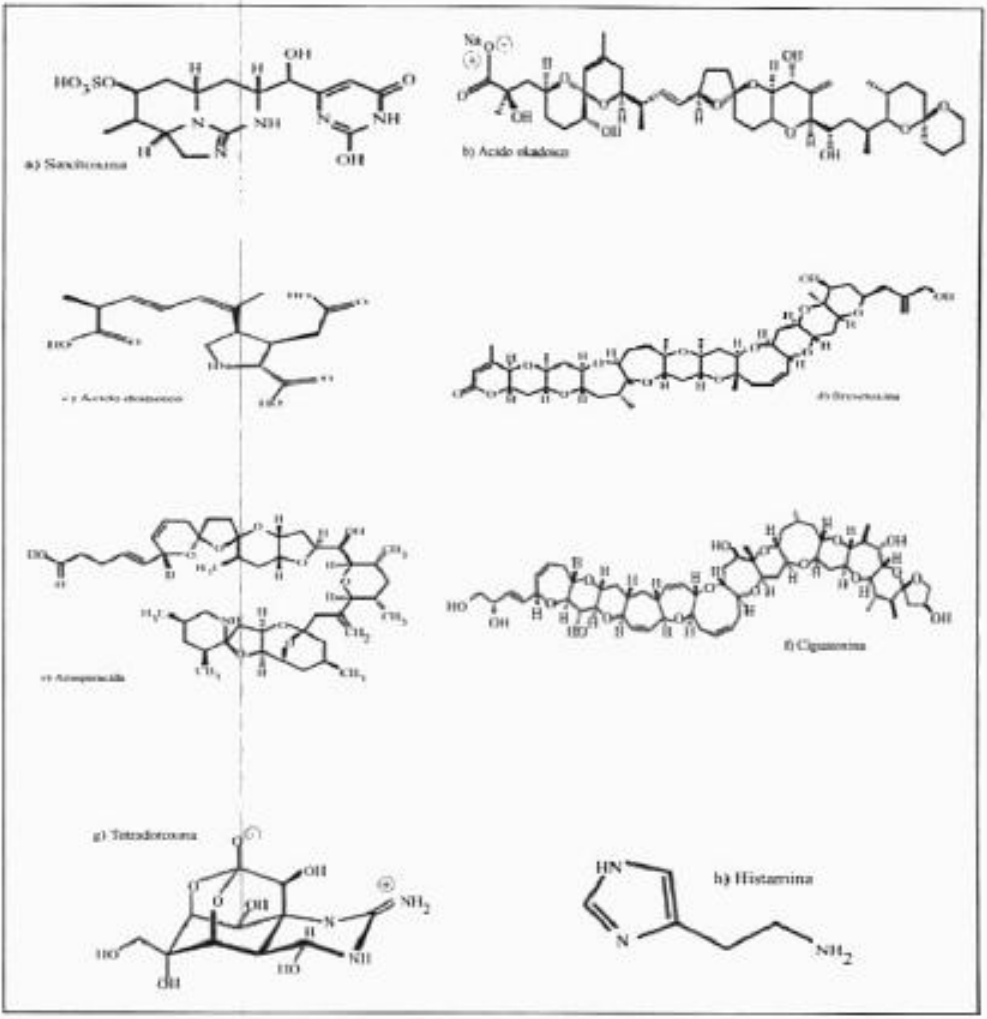
El tratamiento consiste en uso de antihistamínicos como la difenhidramina (Benadril) y la cimetidina (Tagamet). Se puede prevenir manteniendo los pescados a bajas temperaturas, evitar el consumo de clases de pescado potencialmente peligrosos que no hayan recibido tratamientos adecuados, manipular de forma higiénica los alimentos, especialmente las conservas si van a ser consumidas varias horas fuera del envase y envasar adecuadamente los productos (Attaran y Probst, 2002).

Intoxicación por metilmercurio

Esta intoxicación se produce después de consumir pescado y mariscos provenientes de aguas contaminadas con metilmercurio (Long y Nelson, 2004). El metilmercurio es un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo por bioacumulación, y acumularse en la cadena alimentaria (PNUMA, 2005). Igualmente se puede formar en el agua cuando otras formas de mercurio se utilizan por bacterias como *Polygonum densiflorum y Eichhornia crassipes* (Sánchez, 2005). Entre los organismos marinos que presentan grandes cantidades de este compuesto se encuentran el tiburón, cazón, pez espada, bacalao negro, atún de aleta azul, lobina, entre otros. Por otro lado, el metilmercurio es un compuesto que se absorbe casi en su totalidad por vía pulmonar y gastrointestinal, mientras que por vía dérmica su absorción es moderada. Este compuesto se acumula en ciertos órganos internos como el hígado y los riñones, aunque su acumulación más severa es en el sistema nervioso, por lo que se considera neurotóxico (Long y Nelson, 2004). Se estima que la vida media de este compuesto tóxico en el cuerpo humano es de 40-50 días.

Las manifestaciones clínicas más comunes de la neurotoxicidad observadas en los adultos son: parestesia, ataxia, alteraciones sensoriales, temblores, problemas de audición, constricción del campo visual y dificultad para caminar. Especialmente durante el embarazo, los efectos de la exposición al metilmercurio son preocupantes, ya que el feto puede tener una variedad de anormalidades en el desarrollo neurológico, similares a los encontrados en la parálisis cerebral, e incluyen retraso para caminar y en la comunicación verbal (Long y Nelson, 2004). El daño causado por el metilmercurio es irreversible, por lo que el tratamiento está determinado por la gravedad de la afección y es similar al administrado en los casos de parálisis cerebral. Se debe retirar al paciente de la fuente de exposición. El tratamiento puede implicar: el uso de carbón activado (en caso de ingestión), líquidos y electrolitos, y diálisis (Long y Nelson, 2004).

Figura 3. Estructura química de las toxinas presentes en los productos de la pesca



Fuente: Fusetani y Kem (2009), (a), (f). Suarez *et al.* (2004), (b). Disponible en http://www.nwfsc.noaa.gov/hab/habs_toxins/marine_biotoxins/da/index.html, (c). Disponible en http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5221763.htm, (d). Disponible en http://www.enzolifesciences.com/ALX-350-366, (e). Valle y Lucas (2000), (g). Field y Calderón (2008), (h).

Sobre los autores

Nathaly Montoya Camacho,[1] Víctor Manuel Ocaño Higuera,[1] Enrique Márquez Ríos,[2] Abril Zoraida Graciano Verdugo,[1] Cesar Benjamin Otero León,[1] Dalila Fernanda Canizales Rodríguez,[1] Francisco Javier Castillo Yáñez.[1]* [1]Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, [2]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México,* Tel/Fax: + 52 (662)2592163, correo electrónico jcastillo@guayacan.uson.mx

Referencias

Álvarez, F. P. P. and C. C. A. Santiago (2006), "Ausencia de biotoxina ácido domoico en los pantanos de Villa Chorrillos, Perú", *Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 5(2), pp. 167-170.

Álvarez, F. P. P. (2009), "Ácido domoico e intoxicación amnésica por moluscos en salud pública", *Revista Peruana de Medicina Exp. y Salud Pública*, 26(4), pp. 505-516.

Arencibia, C. G., P. J. E. Mancera and M. G. Delgado (2009), *La ciguatera un riesgo potencial para la salud humana: Preguntas frecuentes*, Colombia.Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, p. 64.

Attaran, R. R. and F. Probst (2002), "Histamine fish poisoning: a common but frequently misdiagnosed condition", *J. Emergency Medicine*, 19(5), pp. 474-475.

Becker, K., K. Southwick, J. Reardon, R. Berg and J. N. MacCormack (2001), "Histamine poisoning associated with eating tuna burgers", *Journal of the American Medical Association*, 285(10), pp. 1327-1330.

Buendía, E. (2000), "¿Cuándo se producen reacciones alérgicas por Anisakis simplex?", *Journal of Alergologyc Immunology Clinic*, 15, pp. 221-222.

Cabrera, F. F., P. F. Domínguez, B. R. Cruz-Conde, A. G. Téllez and G. A. G. Quesada (2008), "Intoxicación paralítica por consumo de marisco", *Nota clínica. Emergencias*, 21, pp. 306-308.

Camacho, F. G., J. G. Rodríguez, A. S. Mirón, M. C. C. García, E. H. Belarbi, Y. Chisti and E. M. Grima (2007), "Biotechnological significance of toxic marine dinoflagellates", *Journal of Biotechnology Advances*, 25, pp. 176-194.

COFEPRIS (2012), "Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios", disponible en http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Marea%20Roja/CaracteristicasGeneralesBiotoxinas.aspx.

Daranas, A. H., M. Norte and J. J. Fernández (2001), "Toxic marine microalgae", *Toxicon*, 39, pp. 1101-1132.

Draisci, R., L. E. Palleschia, A. Ferrettia, K. J. Fureyb, B. James and M. Satakec (2000), "Development of a method for the identification of azaspiracid in shellfish by liquid chromatography–tandem mass spectrometry", *Journal of Chromatography*, 871, pp. 13-21.

Elgarch, A., P. Vale, S. Rifai and A. Fassouane (2008), "Detection of diarrheic shellfish poisoning and azaspiracid toxins in moroccan mussels: comparison of the LC-MS method with the commercial immunoassay kit", *J. of Marine Drugs*, 6, pp. 587-594.

Field, C. J. and C. R. Calderón (2008), "Escombroidosis, intoxicación por histamina", Boletín Clínico Hospital Infantil Estado de Sonora, 25(2), pp. 91-94.

Field, C. J., C. R. Calderón and L. G. Rábago (2008), "Intoxicación por Ciguatera", Boletín Clínico Hospital Infantil Estado de Sonora, 25(2), pp. 95-98.

Field, C. J., C. R. Calderón and M. J. L. Seijo (2009), "Envenenamiento por pez globo", Boletín Clínico Hospital Infantil del Estado de Sonora, 26(1), pp. 28-32.

FDA (2009), "Food and Drug Administration. Potential Vertebrate Species-Related Hazards", disponible en http://www.fda.gov/Food/Guidance Compliance Regulatory Information/GuidanceDocuments/Seafood/ucm091085.htm.

Fusetani, N. and W. Kem (2009), "Marine toxins as research tools. Progress in Molecular and Subcellular Biology", *Marine Molecular Biotechnology*, 46, pp. 1-44.

García, A., S. E. Aguiló, M. García, E. Vázquez and S. Nogué (2009), "Urgencias por toxiinfecciones y alergias alimentarias", Sección de Toxicología Clínica y Servicio de Urgencias, Hospital Clínico, Barcelona.

James, K. J., M. Lehane, C. Moroney, P. P. Fernández, M. Satake, T. Yasumoto and A. Furey (2002), "Azaspiracid shellfish poisoning: unusual toxin dynamics in shellfish and the increased risk of acute human intoxications", *Journal of Food Additives and Contaminants*, 19(6), pp. 555-561.

Jay, J. M. (2000), "Taxonomy, role, and significance of microorganisms in foods" en M. D. Gaithersburg, *Modern food microbiology*, (6ª ed.), Aspen Publishers, Inc., Estados Unidos de América.

Kim, S. H., R. J. Price, M. T. Morrissey, K. G. Field, C. I. Wei and H. An (2002), "Histamine production by *Morganella morganii* in mackerel, albacore, mahimahi, and salmon at various storage temperatures", *J. Food Science*, 67(4), pp. 1522-1528.

Lafuente, S., A. Vilella, B. Serrano, R. Gonzalez, and L. Bruni (2006), "El cólera. Medicina preventiva", Hospital Clínic de Barcelona, 8(1), pp. 10-15.

Lehane, L. and R. J. Lewis (2000), "Ciguatera: recent advances but the risk remains", *J. Food Microbiology*, 61, pp. 91-125.

Long, H. and L. S. Nelson (2004), "Metals and metalloids" en J. E. Tintinalli, G. D. Kelen, J. S. Stapczynski. O. J. Ma, y D. M. Cline (eds.), *Emergency Medicine: A Comprehensive Study Guide*. 6th ed., New York, McGraw-Hill, p. 184.

Lovatelli, A., A. Farías and I. Uriarte (2008), "Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura. Factores que afectan su sustentabilidad en América Latina", Actas de pesca y acuicultura, FAO, Roma, p. 377.

McLauchlin, J., C. L. Little, K. A. Grant and v. Mithani (2006), "Scombrotoxic fish poisoning", *Journal of Public Health*, 28(1), pp. 61-62.

Mos, L. (2001), "Domoic acid: a fascinating marine toxin", *Environment Toxicology Pharmacology*, 9, pp. 79-85.

Palacios, J. L. (2007), "Estudio de la biodiversidad microbiana asociada a cultivos de *Alexandrium minutum* y sus posibles efectos sobre el crecimiento y la toxicidad algal", tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, España, p. 132.

Pérez, E., P. Aguiar, R. Salvatella, A. Ribetto and A. Castro (2004), *Vigilancia de las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA): su importancia en la caracterización de riesgos*, Asociación Argentina de Microbiología.

Pérez, M. A. and S. C. J. Band (2011), "Brevetoxinas en las costas de México: efectos potenciales en la salud pública", *CICIMAR, Oceánides*, 26(2), pp. 59-68.

NÁUSEAS (2005), "Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.Evaluaciónmundial sobre el mercurio", disponible en http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf

Quijada, J., C. A. Lima dos Santos, and N. Avdalov (2005), "Enfermedades parasitarias por consumo de pescado. Incidencia en América Latina", *Rev. INFOPESCA Internacional*, 6, pp. 16-23.

Rivero, R. R., G. C. García, O. O. Lima and A. C. A. Rodríguez (2006), "Intoxicaciones exógenas", *Revista de las Ciencias de la Salud de Cienfuegos*, 11(1), pp. 105-110.

Sánchez, A. S. R. (2005), "Distribución de bacterias sulfato reductoras y metilmercurio en sedimentos de laguna de inundación del rio Beni, Amazonia Boliviana", tesis de maestría, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia, p. 117.

Sobel, J. and J. Painter (2005), "Illnesses caused by marine toxins", *Journal of Food Safety*, 41, pp. 1290-1296.

Suárez, G. B. R. (2004), "Estudio sobre toxinas marinas de naturaleza polietérea. Aislamiento, elucidación estructural y evaluación de su potencial farmacológico", tesis doctoral, España, p. 127.

Twiner, J. M., N. Rehmann, P. Hess and G. J. Doucette, (2008), "Azaspiracid Shellfish Poisoning: A Review on the Chemistry, Ecology, and Toxicology with an Emphasis on Human Health Impacts", *Journals of Marine Drugs*, 6, pp. 39-72.

Valle, V. P. and F. B. Lucas (2000), *Toxicología de alimentos*, Instituto Nacional de Salud Pública, México, p. 267.

Van Egmond, H. P., M. E. Van Apeldoorn and G. J. A. Speijers (2005), "Biotoxinas marinas", *FAO: Alimentación y Nutrición*, Roma, p. 278.

Yasumoto, T. (2005), "Chemistry, etiology, and food chain dynamics of marine toxins", *Proc. Japan Acad. Ser.*, 81, pp. 43-51.

Importancia y control de aminas biogénicas en los alimentos

Maria Cristina Cueto Wong, Luz Adriana García de la Riva, Gabriela Ramos Clamont Montfort, Nagamani Balagurusamy, Silvia Guadalupe Fernández Michel

Resumen

Las aminas biogénicas son bases orgánicas de bajo peso molecular que poseen actividad biológica y pueden ser formadas y degradadas durante el metabolismo normal de plantas, animales y microorganismos. El modo más común de la síntesis de estos compuestos en los alimentos es mediante la descarboxilación de aminoácidos libres; esta reacción puede ser llevada a cabo por bacterias ácido lácticas o enterobacterias. La importancia de su estudio radica en dos aspectos: el primero consiste en el consumo de alimentos que contienen altas concentraciones de aminas biogénicas, que pueden causar efectos adversos en la salud de los consumidores y el segundo por su papel como indicadores de calidad y/o aceptabilidad en algunos alimentos. Por lo anterior, durante los últimos años se han desarrollado diversos métodos para su detección y cuantificación, así como para limitar su formación o aumentar su degradación.

Palabras claves: aminas biogénicas, aminoácido descarboxilasa, bacterias productoras de aminas biogénicas.

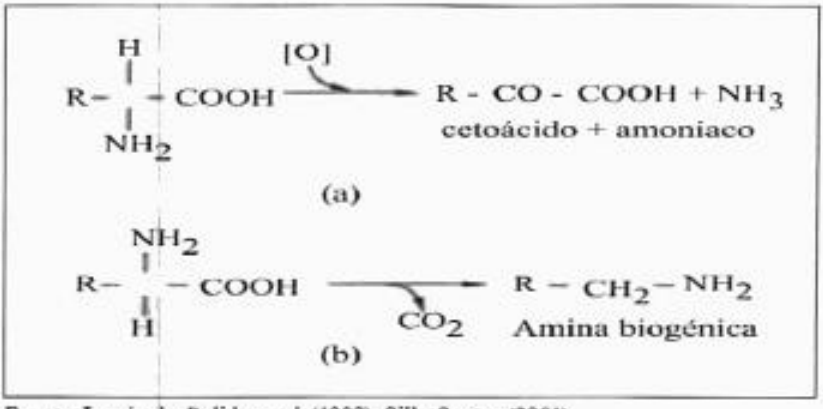
Introducción

La formación de aminas biogénicas en alimentos fermentados como vino, cerveza, queso y productos cárnicos, se debe a la presencia de bacterias ácido lácticas, mientras que en alimentos no fermentados, se atribuye a las bacterias responsables del deterioro de alimentos. Histamina, tiramina, triptamina, cadaverina y putrescina son producidas a partir de la descarboxilación de histidina, tirosina, triptófano, lisina y ornitina, respectivamente. Los síntomas que pueden presentar las personas cuando consumen alimentos con elevadas concentraciones de histamina, son cefalea, náuseas, vómito, diarrea, sensación de ardor bucal o sabor a pimienta, urticaria, erupciones en la piel e hipotensión. Por otra parte, a la tiramina se le considera responsable de graves efectos adversos en pacientes que toman antidepresivos inhibidores de la monoaminooxidasa (IMAO). El nivel de aminas biogénicas en los alimentos depende del tipo, la calidad de la materia prima, la clase y grado de contaminación, del procesamiento, de la distribución y de las condiciones del almacenamiento. Por lo anterior, la detección y cuantificación de aminas biogénicas en alimentos es un indicador de la calidad higiénica de los mismos. El capítulo describirá la formación de aminas biogénicas, su presencia en diferentes alimentos así como los efectos que produce su consumo en el organismo. Se destacarán las principales técnicas para detectarlas; y se presentarán las estrategias científicas y tecnológicas desarrolladas para evitar su formación o promover su degradación.

Formación de aminas biogénicas en alimentos

La degradación de los aminoácidos puede realizarse mediante dos vías: la desaminación oxidativa y descarboxilación (figura 1). En la desaminación oxidativa, un aminoácido se transforma al correspondiente cetoácido produciendo amoniaco. En la reacción de descarboxilación actúan enzimas específicas llamadas descarboxilasas y se lleva a cabo mediante la liberación del grupo *a*-carboxilo de los aminoácidos para producir aminas biogénicas y bióxido de carbono (Teijón, 2001).

Figura 1. Desaminación oxidativa (a) y descarboxilación de aminoácidos (b)



Fuente: Izquierdo-Pulido *et al.* (1999); Silla-Santos (2001).

Las aminas biogénicas son de carácter básico, de bajo peso molecular, no volátiles y se clasifican de acuerdo a su estructura química como alifáticas, aromáticas y heterocíclicas. En relación al número de grupos amino en su molécula, son catalogadas como *mono*, *di* y *poliaminas* (cuadro 1).

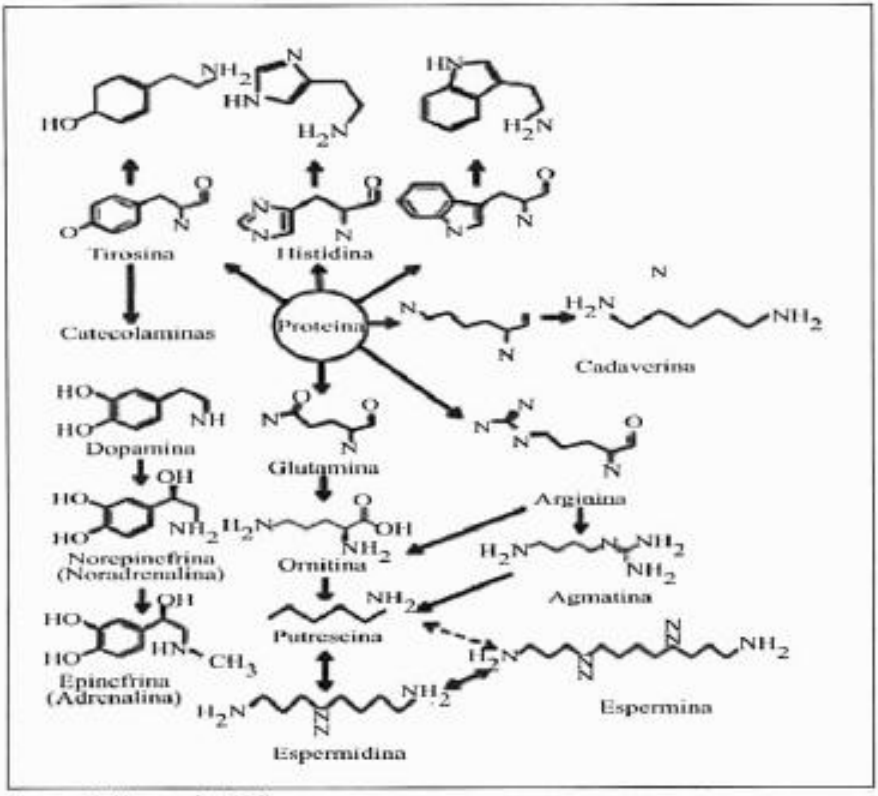
Cuadro 1. Clasif cación de las principales aminas biogénicas en alimentos

Nombre	*Clasificación*
Histamina	Monoamina, heterocíclica
Tiramina	Monoamina aromática
ß-Feniletilamina	Monoamina aromática
Triptamina	Monoamina, heterocíclica
Putrescina	Diamina alifática
Cadaverina	Diamina alifática
Espermidina	Poliamina alifática
Espermina	Poliamina alifática
Agmatina	Poliamina alifática

Fuente: Koutsoumanis *et al.* (2010).

Las aminas biogénicas poseen actividad biológica y pueden ser formadas y degradadas durante el metabolismo normal de plantas, animales y microorganismos (Brink *et al.*, 1990). Los nombres de la mayoría de las aminas biogénicas derivan sus aminoácidos precursores (figura 2).

Figura 2. Formación de aminas biogénicas



Fuente: Halász *et al.* (1994).

Los alimentos pueden ser clasificados en dos grupos, en función del origen de las aminas biogénicas: (a) productos en los que las aminas se producen durante el proceso de fermentación/maduración y (b) productos donde las aminas son una consecuencia del proceso de deterioro del mismo (Izquierdo-Pulido *et al.*, 1999).

Para que se formen las aminas biogénicas en los alimentos, se requiere de aspectos, como: disponibilidad de aminoácidos libres, presencia de microorganis-

mos descarboxilasa-positivos y que se cuente con las condiciones ambientales que permitan el desarrollo bacteriano (por ejemplo, valores de pH elevados, bajo contenido en SO_2, etcétera) y la síntesis y actividad de las descarboxilasas (Silla-Santos, 2001). La concentración de aminas biogénicas en los alimentos depende del tipo, la calidad de la materia prima, la clase y grado de contaminación, del procesamiento, de la distribución y de las condiciones del almacenamiento (Koutsoumanis *et al.*, 2010). Es por esto que su presencia en los alimentos es considerada como indicador de calidad y/o aceptabilidad de los mismos (Ruiz-Capillas y Moral, 2001).

Microorganismos responsables de la síntesis de aminas biogénicas

En alimentos fermentados como vino, cerveza, queso y productos cárnicos, la presencia de aminas biogénicas se debe a la actividad descarboxilasa de bacterias ácido lácticas (BAL), mientras que en alimentos no fermentados, principalmente pescado, carne y productos cárnicos, se atribuye a las bacterias responsables del deterioro de alimentos. En los cuadros 2 y 3 se presentan las principales bacterias ácido lácticas y enterobacterias, reportadas recientemente como responsables de la síntesis de aminas biogénicas en alimentos.

Cuadro 2. Bacterias ácido lácticas (BAL) responsables de la síntesis de aminas biogénicas

Bacteria(s) ácido láctica(s)	*Producto*	*Amina biogénica*	*Referencia*
Lactobacillus lactis, Lactobacillus curvatus, Lactobacillus helveticus	Queso semiduro tipo Holandés.	HIS	Burdychova y Komprda (2007).
Lactobacillus paracasei, Leuconostoc mesenteroides, , Lactobacillus lactis, Lactobacillus curvatus, Leuconostoc lactis, Lactobacillus fermentum, Lactobacillus plantarum, Lactobacillus rhamnosus, enterococcus faecalis, Enterococcus faecium	Carne, embutidos fermentados y quesos.	PUT, CAD, HIS, TIR	Pircher *et al.* (2007).
Leuconostoc sp.	Quesos Italianos tipo "Asino"	TIR	Innocente *et al.* (2009).
Oenococcus oeni	Vinos Griegos.	HIS, MET, ETI, TIR, FEN, PUT	Pramateftaki *et al.* (2006).

Enterococcus faecium, Enterococcus faecalis	Queso fresco, queso de leche de vaca cruda y queso semiduro.	TIR	Kuccrová *et al.* (2009).
Lactobacillus sakei, Lactobacillus farciminis	Embutidos fermentados.	TRI, FEN, PUT, CAD, HIS, TIR, ESP, EPD	Lu *et al.* (2010).
Lactobacillus farciminis	Embutidos secos fermentados durante la maduración.	HIS, TIR, TRI, PUT, CAD, EPD, ESP	Komprda *et al.* (2004).

Fuente: elaboración propia. HIS; histamina, PUT; putrescina, CAD; cadaverina, TIR; tiramina, TRI; triptamina, ESP; espermina; EPD; espermidina, FEN; feniletilamina, MET; metilamina, ETI; etilamina.

Cuadro 3. Enterobacterias responsables de la síntesis de aminas biogénicas

Enterobacteria (s)	*Producto*	*Amina biogénica*	*Referencia*
Serratia liquefaciens, Enterobacter cloacae, Citrobacter freundii, Serratia marcescens, Klebsiella oxytoca	Salchichas españolas de puerco fermentadas	CAD, PUT	Bover-Cid *et al.* (2001).
Citrobacter freundii, Escherichia coli, Escherichia fergusonii, Enterobacter aerogenes, Enterobacter taylorae, Escherichia vulnaris, Hafnia alvei, Providencia alcalifaciens, Proteus mirabilis, Proteus penneri, Providencia stuartii, Serratia grimesi Morganella morganii,	Carne picada y hamburguesas	FEN, CAD, PUT, TIR, ESP, EPD, HIS, TRI	Durlu-Ozkaya *et al.* (2001).
Hafnia alvei, Serratia liquefaciens, Enterobacter cloacae, Klebsiella terrigena, Escherichia coli, Enterobacter aerogenes, Klebsiella oxytoca, Klebsiella ornitholytica, Citrobacter freundii	Carne, salchichas fermentadas y quesos	HIS, TIR, CAD, PUT	Pircher *et al.* (2007).

Enterobacter aerogenes, Enterobacter sp.	Pescado	PUT, CAD, HIS, DOP, SER, TIR, EPD, NOR	Kim *et al.* (2009).
Hafnia alvei, Serratia liquefaciens, Enterobacter cloacae, Citrobacter braakii, Proteus vulgaris, Klebsiella terrigena, Rahnella aquatilis, Salmonella arizonae, Citrobacter youngae, Escherichia coli.	Botillo (salchicha española) al final del proceso de manufactura	HIS,TIR,CAD, PUT	Lorenzo *et al.* (2010).
Citrobacter freundii, Hafnia alvei, Morganella morganii, Providencia heimbachae, Morganella morganii, Enterobacter hormaechei, Hafnia paralvei, Enterobacter hormaechei, Klebsiella oxytoca, Pseudomona grp putida, Serratia grimesii, Proteus grp vulgaris.	Queso tipo Livarot. Munster, Epoisses y leche	HIS, FEN, CAD, TRI, PUT, TIR	Coton *et al.* (2012).

Fuente: elaboración propia. DOP; dopamina, SER; serotonina, NOR; noradrenalina

Presencia de aminas biogénicas en alimentos

Las aminas biogénicas han sido detectadas en diversos alimentos, en diferentes concentraciones. Histamina, putrescina, cadaverina, tiramina, triptamina, ß-feniletilamina, espermina y espermidina, son las aminas biogénicas más frecuentemente detectadas en alimentos.

Aminas biogénicas en carne y productos cárnicos

La carne y los productos cárnicos están entre los alimentos más estudiados para detectar la presencia de aminas biogénicas, por lo que sus niveles son utilizados como índice de calidad no deseado (Martuscelli *et al.*, 2000). A pesar de esto, las aminas biogénicas han sido detectadas en una gran variedad de estos productos en concentraciones variables (cuadro 4).

Cuadro 4. Principales aminas biogénicas en carne y productos cárnicos

Producto	*Aminas Biogénicas*	*Referencia*
Carne para hamburguesa.	HIS, TIR, TRI, CAD, PUT, ESP, EPD	Durlu-Ozcaya *et al.* (2001).
Productos cárnicos españoles.	TIR, HIS, PUT, CAD, AGM, EPD, ESP	Ruiz-Capillas y Jiménez-Colmenero (2004).
Carne para hamburguesa.	ESP, EPD, CAD, SER	Izquierdo *et al.* (2004).
Jamón	FEN, PUT, CAD, HIS, ESP, EPD	Min *et al.* (2004).
Filete de carne reestructurados	TIR, HIS, PUT, CAD, AGM, EPD, ESP	Ruiz-Capillas *et al.* (2004).
Salchichón tipo Milano.	CAD, PUT, TIR, HIS	Izquierdo *et al.* (2006).
Salchicha seca fermentada (sucuk).	PUT,CAD, TIR, ESP, EPD	Kurt y Zorba (2010).
Chorizo	TIR, FEN, PUT, CAD, EPD, ESP	Ruiz-Capillas, *et al.*, (2011).

Fuente: elaboración propia. AGM; agmatina

Pescado y productos del mar

El interés por la detección de aminas biogénicas en pescado y productos del mar, se relaciona con los problemas toxicológicos ocasionados principalmente por el consumo de histamina. De hecho, las concentraciones de histamina detectadas son, en algunos casos, cercanos al nivel límite de tolerancia establecido por la FDA (Izquierdo *et al.*, 2007). En México, el límite máximo permitido de histamina es de 100 mg kg^{-1} y sólo está reportado para peces de las familias *Clupeidae, Scombridae, Scombresocidae, Pomatomidae* y *Coryphaenidae* (atún, bonito, macarela y sardinas) (NOM-242-SSA1-2005). Otros productos en los que se han detectado aminas biogénicas se presentan en la cuadro 5.

Cuadro 5. Principales aminas biogénicas detectadas en pescado y productos de mar

Producto	*Aminas Biogénicas*	*Referencia*
Lisa (*Mugil curéma*)	HIS	Millan *et al.* (2003).
Anchoas de la India	HIS	Rodtong *et al.* (2005).
Sardina (*Sardina pilchardus*) fermentada con ácido láctico bacteriano	HIS	Ndaw *et al.* (2007).
Salsa de pescado	PUT, CAD, HIS	Zaman *et al.* (2010).
Atún fresco y enlatado de Brazil	HIS	Silva *et al.* (2010).
Empanadas de atún	HIS, TIR, CAD, PUT	Chen *et al.* (2008).
Atún enlatado	HIS	Izquierdo *et al.* (2007).
Cubos de pescado frito (*Tetrapturus angustirostris*)	CAD, EPD, ESP, HIS, TIR	Chen *et al.* (2010).
Filetes de pescado (*Scomberomorus commerson*) empacados con O_2	PUT, CAD, HIS, EPD, ESP	Mohan *et al.* (2009).
Pescado, calamares y mariscos	HIS, PUT, CAD	Kim *et al.* (2009).
Merluza empacada en atmósferas modificadas	PUT, CAD, HIS, TIR	Ruiz-Capillas y Moral (2002).
Sub productos de camarón	HIS, TIR	Bueno-Solano *et al.* (2012).

Fuente: elaboración propia.

Aminas biogénicas en queso

Dentro de los productos lácteos, el queso destaca por su variable contenido de aminas biogénicas. Existen estudios basados en la elaboración de quesos modificando algunos aspectos como el empleo de leche cruda y pasteurizada, tiempo de maduración y la incorporación de hieras aromáticas (cuadro 6).

Cuadro 6. Principales aminas biogénicas detectadas en diferentes tipos de queso

Tipo de Queso	*Aminas Biogénicas*	*Referencia*
Semi-suave elaborado con leche pasteurizada y cruda	HIS, TIR, FEN, PUT, CAD	Schneller *et al.* (1997).
Quesos italianos tipo blue-veined con 70 días de añejo	HIS, TIR, CAD, PUT	Marino *et al.* (2000)
Turcos tipo Civil, Urfa, Mihaliç, Ka□ar (añejado), Otlu (con hierbas), Ka□ar (fresco), Örgü	FEN, PUT, CAD, HIS, TIR, EPD	Durlu-Özkaya *et al.* (2002).
Queso Goat madurados (hasta 45 d) y elaborados con leche presurizada y pasteurizada	TIR, HIS, TRI (No detectado en queso pasteurizado), FEN, CAD, PUT, ESP, EPD	Novella-Rodríguez *et al.* (2002).
"Tulum" producido en Turquía con leche cruda	TIR, TRI	Öner *et al.* (2004).
Quesos esterilizados y pasteurizados, almacenados de 22-57 a 8° y 22°C	TRI, FEN, HIS, TIR, PUT, CAD, EPD, ESP	Komprda *et al.* (2005).
Turco "Otlu" madurado con hierbas	HIS	Ekici *et al.* (2006).
Manchego, Parmesano y Brie	HIS, TIR, TRI, PUT, CAD, EPD, ESP	Contreras *et al.* (2007).
Semiduro tipo Holandés	HIS, TIR	Burdychova y Komprda (2007).
Tipo Australiano	HIS, TIR, CAD, PUT	Pircher *et al.* (2007).
Italianos "Asino" y "Salmuerie"	TRI, FEN, PUT, CAD, HIS, TIR	Innocente *et al.* (2009).
"Percorino di Farindola" madurado 90 días	HIS, TIR, FEN, PUT, CAD, EPD	Shirone *et al.* (2011).

Fuente: elaboración propia.

Aminas biogénicas en vino y cerveza

El problema del consumo de aminas biogénicas en vino radica en su combinación con el etanol, ya que este inhibe la acción de las enzimas amino oxidasas, que a su vez catalizan la desaminación oxidativa de las aminas biogénicas produciendo aldehídos,

agua oxigenada y amoniaco (Pérez, 2006). Los vinos rojos generalmente muestran concentraciones mayores que los blancos y rosados (Landete *et al.*, 2005). Histamina es la amina biogénica encontrada con mayor frecuencia. Su producción se atribuye a la bacteria ácido láctica *O. oeni* (Lovaud-Funel, 2001). Otras bebidas alcohólicas en donde han sido reportadas aminas biogénicas se muestran en la cuadro 7.

Efectos toxicológicos

La importancia del estudio de la presencia de aminas biogénicas en alimentos radica principalmente en su implicación como agentes causantes de un gran número de episodios de envenenamiento y por desencadenar diversas reacciones fisiológicas (cuadro 8).

Cuadro 7. Principales aminas biogénicas detectadas en bebidas alcohólicas

Producto	*Aminas Biogénicas*	*Referencia*
Vinos Griegos	HIS, MET, ETI, TIR, FEN, PUT	Pramateftaki *et al.* (2006).
Vino y sidra	AGM, TIR, HIS, PUT	Coton *et al.* (2010).
Vinos tintos Turcos	PUT, HIS, FEN, TIR, CAD, ESP, EPD, AGM	Anli *et al.* (2004).
Vinos de diferentes regiones de Francia y España	HIS, TIR, PUT	Nanneli *et al.* (2008).
Vinos chinos elaborados a base de arroz	HIS, ESP, EPD, CAD, TIR	Yongmei *et al.* (2009).
Sidras naturales de España y Francia	CAD, PUT, HIS, TIR	Ladero *et al.* (2011).
Cervezas Polacas tipo Lager, Pilsner, Strong, Stout y sin alcohol	PRO, PYR, TRI, FEN, PUT, CAD, HIS, TIR, EPD	Slomkowska y Ambroziak, (2002).
Cervezas embotelladas tipo Light y Pielsen	HIS, TRI	Camacho *et al.* (2007).

Fuente: elaboración propia.

El cuerpo humano, bajo condiciones normales, es capaz de actuar con rapidez en la absorción de aminas biogénicas presentes en los alimentos a través de la acción de las enzimas amino oxidasas. Este proceso de desintoxicación puede ser afectado por una alta ingesta de aminas o por inactivación de la enzima monoaminooxidasa (MAO) como resultado de los tratamientos con mono-amino inhibidores (IMAO) (figura 3), trastornos asociados con edad avanzada o efecto sinérgico con alcohol. En estas circunstancias, las aminas biogénicas se acumulan en el cuerpo y causan serios problemas toxicológicos (Halász *et al.*, 1994; Mencías y Mayero 2000).

Cuadro 8. Aminas biogénicas en alimentos y sus efectos farmacológicos

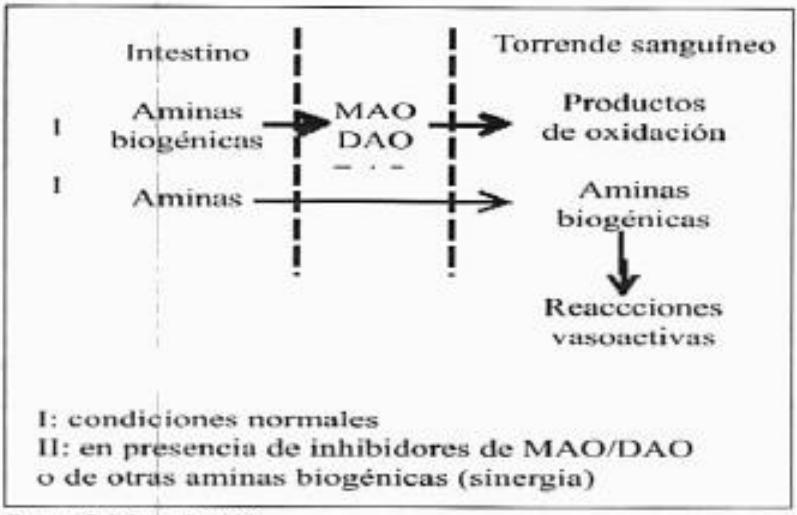
Amina	*Efecto fisiológico*
Histamina	Liberación de adrenalina y noradrenalina. Estimulación de los músculos lisos del útero, el intestino y el tracto respiratorio. Estimulación de las neuronas sensoriales y motoras. Control de la secreción del ácido gástrico.
Tiramina	Vasoconstricción periférica. Aumento del gasto cardiaco. Lagrimeo y salivación. Aumento de la respiración. Aumento del nivel de azúcar en la sangre. Causa migraña.
Putrescina y cadaverina	Hipotensión. Bradicardia. Contracción sostenida de los músculos maseteros.
Feniletilamina	Aumento de la presión arterial. Causa migraña. Liberación de noradrenalina en el sistema nervioso simpático.
Triptamina	Aumento de la presión arterial.

Fuente: Shalaby (1996).

La intoxicación por aminas biogénicas se origina después de la ingestión de alimentos con elevadas concentraciones. Estos compuestos pueden conferir toxicidad a los alimentos incluso antes de ser considerados organolépticamente inaceptables

(Escriche y Doménech, 2006). Histamina (intoxicación histamínica), tiramina (reacción al queso) y feniletilamina, son las aminas más peligrosas para la salud de los humanos, mientras que el resto de las aminas como putrescina y cadaverina pueden contribuir a potencializar la acción de las anteriores (Pérez, 2006). Además son precursoras de nitrosaminas carcinogénicas (si existen en los alimentos agentes nitrosables de manera simultánea) (Biver-Cid y Holzapfel, 1999).

Figura 3. Representación esquemática de la acción del sistema de amino oxidación en ausencia y presencia de agentes inhibidores



Fuente: Brink *et al.* (1990).

A la tiramina también se le considera responsable de los graves efectos adversos observados en pacientes que toman inhibidores de IMAO, por lo que éstos deben consumir menos de 5 mg por día de tiramina. La crisis desencadenada por la interacción de IMAO y tiramina, se caracteriza por un rápido incremento de la presión arterial, cefalea, palidez y mareos. En otras ocasiones predomina el síndrome más cardiovascular en su expresión (palpitaciones, dolor torácico, cefalea y síncope) que puede terminar en colapso. También se ha descrito hemorragia intracerebral (Velasco y Basir-Fer, 2008).

Intoxicación histaminica o por escómbridos

La histamina esta compuesta por un anillo imidazólico y un grupo etilamino como cadena lateral (Flórez *et al.*, 2005). Puede ser producida durante la elaboración y/o almacenamiento de productos alimenticios generalmente por medio de la acción de bacterias contaminantes (Lawley *et al.*, 2008). Dentro de las familias de pescados implicadas en esta intoxicación se encuentran el atún, el bonito y la caballa, entre otros. El músculo rojo de estos productos resulta ser rico en histidina libre, la cual bajo ciertas condiciones, por acción de la enzima histidina-decarboxilasa presente en bacterias histamino-formadoras, puede ser descarboxilada produciendo altos niveles de histamina. El inicio de la intoxicación suele presentarse de 10 min a 1 hora después de su consumo (Ansdell, 2008). Los síntomas son variables e incluyen sabor a pimienta o metálico, entumecimiento bucal, dolor de cabeza, mareos, palpitaciones, presión arterial baja y dificultad para tragar (Taylor, 1986), además de síntomas típicos de alergia como erupción cutánea, enrojecimiento e hinchazón facial (Kim, 1979; Taylor *et al.*, 1989). Estos síntomas pueden permanecer hasta 24 horas (Shibamoto y Bjeldanes, 2009).

Métodos de análisis

Se han reportado diversos métodos para su detección, cada método tiene sus propias ventajas e inconvenientes. Los criterios considerados para la selección del método son la resolución, la sensibilidad y el tiempo de obtención de los resultados. Entre los métodos que se emplean con mayor frecuencia destacan los siguientes:

Métodos de detección a través de medios diferenciales

Inicialmente los métodos empleados fueron cualitativos, basados en el uso de medios diferenciales con peptona, extracto de levadura o carne, sales y/o glucosa, aminoácidos precursores e indicadores de pH, como púrpura y verde de bromocresol, rojo cresol y rojo clorofenol (Yamani y Untermann, 1985; Bover-Cid y Holzapfel, 1999).

Métodos enzimáticos

Los métodos enzimáticos han sido reportados para detectar principalmente histamina en pescado y vino. Este método se basa en la actividad secuencial de dos enzimas: (1) la diaminooxidasa (DAO), que cataliza la degradación de la histamina produciendo peróxido de hidrógeno y (2) la peroxidasa (HRP), que en presencia de peróxido de hidrógeno oxida al leuco cristal violeta (incoloro) a cristal violeta (coloreado) (Lerke *et al.*, 1983). Este método ha sido modificado por López-Sabater *et al.*, (1993), Rodríguez-Jerez *et al.* (1994) y Landete *et al.* (2004) (cuadro 9).

Cuadro 9. Diferencias entre métodos enzimáticos empleados para detectar histamina

	López-Sabater *et al.* (1993).	Rodríguez-Jerez *et al.* (1994).	Landete *et al.* (2004).
Cromógeno	Leuco cristal violeta	Leuco cristal violeta	3,3-diaminobenzidina
Tiempo de incubación	2 h	15 min	1.33-5.5 h
Longitud de onda	596	580	400

Fuente: elaboración propia.

Métodos cromatográficos

Los métodos empleados son: la cromatografía de capa fina (TLC) y la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Mediante la técnica de TLC sólo es posible detectar su presencia, mientras que con el empleo de HPLC se logra además su identificación (Fallon *et al.*, 2000). La técnica de HPLC ha sido optimizada mediante el empleo de diferentes reactivos derivatizantes y con detección en UV o en fluorescencia. Numerosas investigaciones reportan los reactivos derivatizantes más utilizados: el ortoftaldehído (OPA) (Bover-Cid y Holzapfel, 1999; Tapia *et al.*, 2000) y el cloruro de dansilo (Marino *et al.*, 2000; Durlu-Özkaya *et al.*, 2001). Los métodos TLC son sencillos y los costos de operación son bajos. Las técnicas de HPLC requieren equipo sofisticado y uso de solventes y accesorios, por lo que resultan costosas; sin embargo, se ha reportado que estos métodos son más eficientes, sensibles y reproducibles comparados con otros métodos analíticos (Marcobal *et al.*, 2006).

Métodos de inhibición de formación de aminas biogénicas

Existen diferentes métodos para limitar la formación de las aminas biogénicas o aumentar su degradación. La refrigeración ha sido empleada para inhibir la formación de aminas biogénicas en carne de pollo (Baston y Barna, 2010), calamar, pulpo y mejillones (Prester *et al.*, 2010). Por otra parte, las altas presiones hidrostáticas han sido utilizadas para conservar productos elaborados con carne de cerdo (Hugas *et al.*, 2002). Por este método, se ha logrado la reducción de bacterias productoras de aminas biogénicas en chorizo (Ruiz-Capillas, 2007). Otro método utilizado es la irradiación, que aplicada en carne de pollo, reduce el contenido de aminas biogénicas (Min *et al.*, 2007) y en pescado alarga su vida de anaquel hasta 90 días (Ahmed *et al.*, 2009). El uso de empaques en atmósferas modificadas, con mezclas de gases como O_2, CO_2 y/o N_2 es otro método utilizado para disminuir el tiempo de formación de aminas biogénicas en diversos productos como en pechuga de aves de corral (Gallas *et al.*, 2010). De igual manera, se ha usado O_2 para reducir el nivel de aminas biogénicas y extender la vida de anaquel en filetes de pescado (Mohan *et al.*, 2009).

El uso de cultivos iniciadores se ha empleado en salchichas fermentadas para disminuir la actividad antimicrobiana de bacterias formadoras de aminas biogénicas (Lu *et al.*, 2010) y para disminuir el pH en salchichas de carpa, suprimiendo con esto, la acumulación de aminas biogénicas (Yongjin *et al.*, 2007). *Staphylococcus xylosus* No. 0538; posee la capacidad de degradar histamina y tiramina en Myeolchi-jeot (plato fermentado salado, hecho con anchoas de la cocina coreana) (Mah *et al.*, 2009a). La inhibición de la formación de aminas biogénicas también puede realizarse con el empleo de conservadores, los cuales actúan sobre la célula del microorganismo, destruyendo su membrana o bloqueando su actividad enzimática (Rodríguez y Simón, 2008). Dentro de los inhibidores de origen químico se tiene a la glucosa, nitrito de sodio, nitrato de sodio, ascorbato de sodio y citrato de sodio. Estos compuestos son capaces de lograr una disminución de aminas biógenas en lacón, que es un producto español curado y seco (Lorenzo *et al.*, 2007). Mah y Hwang (2009b) utilizaron cloruro de sodio, sucrosa, glucosa, D-sorbitol, glicina, ácido láctico, ácido cítrico, ácido sórbico y glicina. Con glicina los contenidos de putrescina, cadaverina, histamina, tiramina y espermina fueron reducidos. El ácido láctico también se ha utilizado para conservar carne de bovino, reduciendo las concentraciones de putrescina y tiramina (Signori y Guerrero-Legarreta, 2009).

Productos naturales como jengibre, ajo, cebolla verde, pimiento rojo, clavo y canela se han utilizado para inhibir la formación de aminas biogénicas. Con el extracto de ajo se obtiene un efecto inhibitorio mayor sobre la formación de putrescina, cadaverina, histamina, tiramina y espermidina (Mah *et al.*, 2009c). Paramasivam *et al.* (2007), reporta el efecto inhibitorio de los extractos de ajo, cúrcuma y jengibre, sobre bacterias productoras de histamina; las cuales en su totalidad son inhibidas por el extracto de ajo y la cúrcuma a una concentración del 5%. También se ha determinado que los tratamientos con cúrcuma, pimienta y cardamomo inhiben todas las aminas biogénicas y en particular la histamina en la caballa (pez de la familia *Scombridae*) (Shakila *et al.*, 1996).

Conclusiones

Teniendo en cuenta los efectos potenciales de las aminas biogénicas en la salud, su detección en alimentos es relevante desde los puntos de vista tecnológico y de calidad alimentaria. Es por este motivo, que su presencia en alimentos es utilizada como indicador de la calidad higiénica de las materias primas y de las condiciones de elaboración y almacenamiento de los alimentos. Dada su importancia, durante los últimos años, el avance en el desarrollo de herramientas analíticas ha permitido la detección y cuantificación de un mayor número de aminas biogénicas, con un mejor grado de precisión y sensibilidad, con la finalidad de implementar diferentes métodos para limitar su formación o aumentar su degradación.

Sobre los autores

María Cristina Cueto Wong,[1]*, Luz Adriana García de la Riva,[1] Gabriela Ramos Clamont Montfort,[2] Nagamani Balagurusamy,[1] Silvia Guadalupe Fernández Michel.[1] [1]Departamento de Ciencia de los Alimentos Orientados a la Salud, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Coahuila, [2]Laboratorio de Bioquímica de Proteínas y Glicanos, Coordinación de Ciencia de los Alimentos. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México, autor para correo electrónico cueto16@gmail.com

Referencias

Ahmed, K., M. Hasan. J. Alam, N. Ahsan, M. Islam and S. M. Akter (2009), "Effect of gamma radiation in combination with low temperature refrigeration on the chemical, microbiological and organoleptic changes in *Pampus chinensis* (Euphrasen, 1788)", *World Journal of Zoology*, 4, pp. 9-13.

Ansdell, v. (2008), "Food-borne illness" en J. S. Keystone, P. E. Kozarsky, D. O. Freedman, H. D. Nothdurft, B. A. Connor (eds.), *Travel Medicine*, Mosby, Philadelphia, pp. 475-484.

Anli, R., N. Vural, S. Yilmaz and Y. Vural (2004), "The determination of biogenic amines in Tukish red wines", *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, pp. 53-62.

Baston, O. and O. Barna (2010), "Biogenic amines variation from refrigerated white and red chicken meat", *Lucrări ştiinţifice*, 53, pp. 147-150.

Bover-Cid, S. and W. H. Holzapfel (1999), "Improved screening procedure for biogenic amine production by lactic acid bacteria", *International Journal of Food Microbiology*, 53, pp. 33-41.

Bover-Cid, S., M. Hugas, M. Izquierdo-Pulido and M. C. Vidal-Carou (2001), "Amino acid-decarboxylase activity of bacteria isolated from fermented pork sausages", *International Journal of Food Microbiology*, 66, pp. 185-189.

Brink, B., C. Damink, H. Joosten and J. Huis in't Veld (1990), "Occurrence and formation of biologically active amines in food", *International Journal of Food Microbiology*, 11, pp. 73-84.

Bueno-Solano, C., J. López-Cervantes, D. I. Sánchez-Machado and O.N. Campas-Baypoli (2012), "HPLC Deernibation of Histamine, Tyramine and Amino Acids in Shrimp By-Products", *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23, pp. 96-102.

Burdychova, R. and T. Komprda (2007), "Biogenic amine-formation microbial communities in cheese", *FEMS Microbiology Letters*, 276, pp. 149-155.

Camacho, M., G. Torres, P. Izquierdo, B. Benitez, M. Allara and E. Céspedes (2007), "Determinación de aminas biógenas en cervezas que se expenden en la ciudad de Maracaibo-Venezuela", *Multiciencias*, 7, pp. 276-281.

Chen, H., H. Kung, W. Chen, W. Lin, D. Hwang, Y. Lee, and Y. Tsai (2008), "Determination of histamine and histamine-forming bacteria in tuna dumpling implicated in a food-borne poisoning", *Food Chemistry*, 106, pp. 612-618.

Chen, H., Y. Huang, H. Hsu, C. Lin, W. Chen, C. Lin and Y. Tsai (2010), "Determination of histamine and biognic amines in fish cubes (*Tetrapturus angustirostris*) implicated in a food-borne poisoning", *Food Control*, 21, pp. 13-18.

Contreras, M., P. Izquierdo, M. Allara, A. García, G. Torres and E. Céspedes (2007), "Determinación de aminas biógenas en quesos madurados", *Revista Científica*, FCV-LUZ/, 1, pp. 89-95.

Coton, M., A. Romano, A. Spano, K. Ziegler, C. Vetrana, C. Desmarais, A. Lovaud-Funel, P. Lucas and E. Coton (2010), "Occurrence of biogenic amine-forming lactic acid bacteria in wine and cider", *Food Microbiology*, 27, pp. 1078-1085.

Coton, M., C. Delvés-Paus, F. Irlinger, N. Desmasures, A. Le Fleche, M. Stahl, Valérie Montiel and E. Coton (2012), "Diversity and assessment of potencial risk factors of Gram-negative isolates associated with French cheeses", *Food Microbiology*, 29, pp. 88-98.

Durlu-Özkaya, F. (2002), "Biogenic amine content of some Turkish cheeses", *Journal of Food Procesing Preservation*, 26, pp. 259-265.

Durlu-Özkaya, F., K. Ayhan, and N. Vural (2001), "Biogenic amines produced by *Enterobacteriaceae* isolated from meat products", *Meat Sciences*, 58, pp. 163-166.

Ekici, K., H. Coskun, Z. Tarakci, E. Ondul and R. Sekeroglu (2006), "The contribution to the accumulation of histamine in "Otlu" cheese", *Journal of food Biochemistry*, 30, pp. 362-371.

Escriche, R.I. and A. M. E. Doménech (2006), *Peligros Abióticos en Alimentos. Gestión de Autocontrol en la Industria Agroalimentaria*, Universidad Politécnica de Valencia, España, p. 60.

Fallon, C., R.F.G. Booth and L. D. Bell (2000), *The origins and development of liquid chromatography. Laboratory Techniques in Biochemistry and Molecular Biology. Applications of* HPLC *in Biochemistry*, Burdon, R. H y Knippenberg (eds), EL SEVIER, United States of America, pp 1-7.

Flórez, J., A. Armijo and A. Mediavilla (2005), *Farmacologia Humana*, MASSON. España, p. 325.

Gallas, L., E. Standarová, I. Steinhauserová, L. Steinhauser and L. Vorlová (2010), *Formation of biogenic amines in chicken meat stored under modified atmosphere*, Acta Veterinaria, BRNO, 79, pp. 107-116.

Halász, A., Á. Baráth, L. Simon-Sarkadi and W. Holzapfel (1994), *Biogenic amines and their production by microorganisms in food. Trends in Food Science &Technology*, 5, pp. 42-49.

Hugas, M., M. Garriga and J. M. Monfort (2002), "New mild technologies in meat processing: high pressure as a model technology", *Meat Science*, 62, pp. 359-371.

Innocente, N., M. Marino, G. Marchesini and M. Biasutti (2009), "Presence of biogenic amines in traditional salted Italian cheese", *International Journal of Dairy Technology*, 62, pp. 154-160

Izquierdo-Pulido, M., M.T. Veciana-Nogués, A. Mariné-Font and M. C. Vidal-Carou (1999), *Polyamine and biogenic amine evolution during food prossesing. Polyamines in Health and Nutrition*, Bardócz, S., y A. White (eds), United States of America, p. 139.

Izquierdo, P., M. Allara, G. Torres, M. Sánchez, G. Peña and M. Sangronis (2004), "Aminas biógenas y crecimiento bacteriano en carne de hamburguesas", *Revista Científica-FCV-LUZ*, 14, pp. 7-12.

Izquierdo, P., M. Allara, A. García, G. Torres, E. Rojas and M. Y. Piñero (2006), "Aminas biógenas y bacterias en salchichón tipo milano: efecto del tiempo de almacenamiento", *Revista Científica-FCV-LUZ*, 16, pp. 186-194.

Izquierdo, P., A. García, D. Rivas, A. García, M. Allara and P. González (2007), "Análisis proximal y determinación de histamina en atún enlatado", *Revista Científica-FCV-LUZ*, 6, pp. 647-652.

Kim, M., J. Mah and H. Hwang (2009), "Biogenic amine formation and bacterial contribution in fish, squid and shellfish", *Food Chemistry*, 116, pp. 87-95.

Kim, R., (1979), *Flushing syndrome due tomahi-mahi (scombroid) poisoning. Archives of Dermatology*, 115, pp. 963-965.

Komprda, T., D. Sm□lá, P. Pechová, L. Kalhotka, J. □tencl and B. Klejdus (2004), "Effect of starter culture, spice mix and storage time and temperature on biogenic amine of dry fermented sausage", *Meat Science*, 67, pp. 607-616.

Komprda, T., K. Novicka, L. Kalhotka and D. Smela (2005), "Biogenic Amine Content AND Pasteurised Long-Term Stored Processed Cheese", *Czech Journal of Food Science*, 23, pp. 209-216.

Koutsoumanis, K., C. Tassou and G.J.E. Nychas (2010), *Biogenis Amines in Foods. In: Pathogens and Toxins in Foods: Challenges and Interventions. Juneja, V.J. y Sofos*, J.N. ASM., United States of America, p. 249.

Kurt, S. and Ö. Zorba (2010), "Biogenic amine formation in Turkish dry fermented sausage (sucuk) as affected by nisin and nitrite", *Journal of Science Food and Agriculture*.

Ku□erová, K., H. Svobodová, □. Túma, I. Ondra□ková and M. Plocková (2009), "Production of biogenic amines by Enterococci", *Czech Journal of Food Science*, 27, pp. 50-55.

Ladero, v., M. Coton, M. Fernández, N. Buron, M. Martín, H. Guichard, E. Coton and M. Alvarez (2011), "Biogenic amines content in Spanish and French natural ciders: Appliocation of qPCR for quantitative detection of biogenic amine-producers", *Food Microbiolobiology* 28, pp. 554-561.

Landete, J.M., S. Ferrer and I. Pardo (2004), "Improved enzymatic method for the rapid determination of histamine in wine", *Food Aditives and Contaminants*, 21, pp. 119-1154.

Landete, J.M., S. Ferrer, L. Polo and I. Pardo (2005), "Biogenic amines in wines from Three Spanish Regions", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, pp. 1119-1124.

Lawley, R., L. Curtis and J. Judy (2008), *The Food Safety Hazard Guidebook*, Royal Society of Chemistry, RSC Publishing, United States of America, pp. 279-281.

Lerke, P.A., M. N. Porcuna and H. B. Chin (1983), "Screening Test for Histamine in Fish", *Journal of Food Science*, 48, 155-157

López-Sabater, E.I., J. J. Rodríguez-Jerez, A. X. Roig-Sagues and M. T. Mora-Ventura (1993), "Determination of histamine in fish using an enzymic method", *Food Additives and Contaminants*, 10, pp. 593-602.

Lorenzo, J.M., S. Martínez, I. Franco and J. Carballo (2007), "Biogenic amine content during the manufacture of dry-cured lacón, a Sapanish traditional meat product: Effect of some additives", *Meat Science*, 77, pp. 287-293.

Lorenzo, J., A. Cachaldora, S. Fonseca, M. Gómez, I. Franco and J. Carballo (2010), "Production of biogenic amines "*in vitro*" in relation to the growth phase by *Enteroacteriaceae* species isolated from traditional sausages", *Meat Science*, 86, pp. 684-691.

Lovaud-Funnel, A. (2001), "MiniReview Biogenic amines in wines: role of lactic acid bacteria", *FEMS Microbiology Letters*, 199, pp. 9-13.

Lu, S., X. Xu, G. Zhou, Z. Zhu, Y. Meng and Y. Sun (2010), "Effect of starter cultures on microbial ecosystem and biogenic amines in fermented sausage", Food Control, 21, pp. 444-449.

Mah, J. H. and H. J. Hwang (2009a), "Inhibition of biogenic amine formation in a salted and fermented anchovy by *Staphylococcus xylosus* as a protective culture", *Food Control* 20, pp. 796-801.

Mah, J.H. and H. J. Hwang (2009b), "Effects of food additives on biogenic amine formation in Myeolchi-jeot, a salted and fermented anchovy (*Engraulis japonicus*)", *Food Chemistry*, 114, pp. 168-173.

Mah, J.H., Y. J. Kim and H. J. Hwang (2009c), "Inhibitory effects of garlic and other spices on biogenic amine production in Myeolchi-jeot, Korean salted and fermented anchovy product", *Food Control*, 20, pp. 449-454.

Marcobal, A., B. de las Rivas and R. Muñoz (2006), "Methods for the Detection of Bacteria Producing Biogenic Amines on Foods: A Survey", *Journal of Consumers Protection and Food Safety*, 1, pp. 187-196.

Marino, M., M. Maifreni, S. Moret and Rondinini (2000), *The capacity of Enterobacteriaceae to produce biogenic amines in cheese. Letters in Applied Microbiology*, 31, pp. 169-173.

Martuscelli, M., M.A. Crudele, F. Gardini and G. Suzzi (2000), "Biogenic amine formation and oxidation by *Staphylococcus xylosus* strains from artisanal fermented sausages", *Letters in Applied Microbiology*, 31, pp. 228-232.

Millan, R., P. Izquierdo, M. Allara, G. Torres, A. García and Y. Barboza (2003), "Efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre la calidad microbiológica y la producción de histamina en lisa (*Mugil curema*)", *Revista Científica*, FCV-LUZ/, 5, pp. 339-346.

Mencías, R.E. and F. L. M. Mayero (2000), "Manual de Toxicología Básica", *Díaz de Santos*, España, p. 186.

Min, J.S., S. O. Lee, A. Jang, M. Mooha Lee, and Y. Kim (2004), "Quantitative Analysis of Biogenic Amines in Raw and Processed Foods of Animal Origin on Korean Domestic Market", *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 17, pp. 1764-1768.

Min, J.S., S. O. Lee, A. Jang, C. Jo and M. Lee (2007), "Control of microorganisms and reduction of biogenic amines in chicken breast and thigh by irradiation and organic acids", *Poultry Science*, 86, pp. 2034-2041.

Mohan,C., C. Ravishankar, G. Srinivasa, K. Kumar and K. Lalitha (2009), "Biogenic amines formation in seer fish (Scomberomorus commerson) steaks packed with O_2 scavenger during chilled storage", *Food Research Iinternational*, 42, pp. 411-416.

Nannelli, F., O. Claisse, E. gindreau, G. de Revel, A. Lovaud-Funel and P. Lucas (2008), "Determination of lactic acid bacteria producing biogenic amines in wine by quantitative PCR methods", *Letters in Applied Microbiology*, 47, pp. 594-599.

Ndaw, A., A. Zinedine, M. Faid and A. Bouseta (2007), "Assessment of histamine formation during fermentation of Sardine (*Sardine pilchardus*) with lactic acid bacteria", *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 2, pp. 42-48.

Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-242-SSA1-2005, Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.

Novella-Rodríguez, S., M. Veciana-Nogués, A. J. Trujillo-Mesa and M. C. Vidal-Carou (2002), "Profile of Biogenic Amines in Goat Cheese Made from Pasteurized and Pressurized Milks", *Journal of Food Science*, 67, pp. 2940-2944.

Öner, Z., O. Sa□diç and B. □im□ck (2004), "Lactic acid bacteria profiles and tyramine and tryptamine contents of Turkish Tulum cheeses", *European Food Research and Technology*, 219, pp. 455-459.

Paramasivam, S., T. Thangaradjou and L. Kannan (2007), "Effect of natural preservatives on the growth of histamine producing bacteria", *Journal of Environmental Biology*, 28, pp. 271-274.

Pérez, T.J. (2006), *Resultados de aminas biógenas en vinos de variedades canarias.* III *Jornadas Enológicas de Canarias*, Lanzarote, pp. 1-13.

Pircher, A., F. Bauer and P. Paulsen (2007), "Formation of cadaverine, histamine and tyramine by bacteria isolated from meat, fermented sausages and cheeses", *European Food Research and Technology*, 226, pp. 225-231.

Pramateftaki, P., M. Metafa, S. Kallithraka and P. Lanaridis (2006), "Evolution of malolactic and biogenic amines during spontaneous malolactic fermentations in a Greek winery", *Letters in Aplied Microbiology*, 43, pp. 155-160.

Prester, L., T. Orct, J. Macan, J. Vukusic and D. Kipcic (2010), "Determination of biogenic amines and endotoxin in squid, musky octopus, Norway lobster, and mussel stored at room temperature", *Archives of Industrial Higyene Toxicology*, 61, pp. 389-397.

Rodríguez-Jerez, J.J., M.A. Grassi and C. Tiziana (1994), "A Modification of Lerke Test for Histamine Quantification", *Journal of Food Protection*, 57, pp. 1019-1021.

Rodríguez, R.v. and M. E. Simón (2008), "Bases de la alimentación humana", Netbiblo, La Coruña, España. pp. 279.

Rortong, S., S. Nawong and Yongsawatdigul (2005), "Histamine accumulation and histamine-forming bacteria in Indian anchovy (*Stolephorus indicus*)", *Food Microbiology*, 23, pp. 475-482.

Ruiz-Capillas, C. and A. Moral (2001), "Production of Biogenic Amines and Their Potential Use as Quality Control Indices forHake (Merluccius *merluccius, L.)* Stored in Ice", *Journal of Food Science*, 66, pp. 1030-1032.

Ruiz-Capillas, C. and A. Moral (2002), "Effect of controlled and modified atmospheres on the production of biogenic amines and free amino acids during storage of hake", *Euro Food Research Tecnology*, 214, pp. 476-481.

Ruiz-Capillas, C. S. Cofrades, A. Serrano and F. Jiménez-Colmenero (2004), "Biogenic Amines in Restructured Beef Steaks as Affected by Added Wainuts and Cold Storage", *Journal of Food Protection*, 67, pp. 607-609.

Ruiz-Capillas, C. and F. Jiménez-Colmenero (2004), "Biogenic amine content in Spanish retail market meat products treated with protective atmosphere and high pressure", *European Food Reserch and Technology*, 218, pp. 237-241.

Ruiz-Capillas, C., C. F. Jiménez, A. V. Carrascosa and R. Muñoz (2007), "Biogenic amine production in Spanish dry-cured "chorizo" sausage treated with high-pressured and kept in chilled storage", *Meat Science*, 77, pp. 365-371.

Ruiz-Capillas, C., T. Pintado and F. Jiménez-Colmenero (2011), "Biogenic amine formation in refrigerated fresh sausage "chorizo" keeps in modified atmosphere", *Journal of Food Biochemistry*, ISSN, pp. 1-9;1745-4514

Shakila, R.J., T. S. Vasundhara and D. Vijaya Rao (1996), "Effect of spices on the biogenic amine formation and other quality characteristics of Indian mackerel during refrigerated storage", *Asian Fisheries Science*, 9, pp. 191-199.

Schneller, R., P. Good and M. Jenny (1997), *Influence of pasteurized milk, raw milk and different ripening cultures on biogenic amine concentrations in semi-soft cheeses during ripening*, Z Lebensm Unters Forsch A., 204, pp. 265-272.

Shalaby, A. R. (1996), "Significance of biogenic amines to food safety and human health", *Food Research International*, 29, pp. 675-690.

Shibamoto, T. and L. F. Bjeldanes (2009), *Introduction to Food Toxicology*, ELSEVIER, USA, p. 119.

Shirone, M., R. Tofalo, G. Mazzone, A. Corsetti and G. Suzzi (2011), "Biogenic amine content and microbiological profile of Percorino di Farindola cheese", *Food Microbiology*, 28, pp. 128-136.

Signori, M.L. y Guerrero-Legarreta (2009), "Producción de aminas biogénicas en carne de bovino conservada con ácido láctico de origen químico y bacteriano", *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8, pp. 41-49.

Silla-Santos, M.S. (2001), "Toxic nitrogen compounds produced during processing: Biogenic amines, ethyl carbamides, nitrosamines" en M. R. Safety Adams y M. J. R. Nout, *Fermentation and Food Aspen Publication*, USA, p. 119.

Silva, T., P. Sabani, W. Evangelista and M. Gloria (2010), "Ocurrence of histamine in Brazilian fresh and canned tuna", *Food Control*, 22, pp. 323-327.

Slomkowska, A. and W. Ambroziak (2002), "Biogenic amine profile of the most Polish beers", *Euro Food Research Technology*, 215, pp. 380-383.

Tapia, S.M., T.K. Smith and A. Harris (2000), "High-Performance Liquid Chromatographic Method for Determination of Biogenic Amines in Feedstuffs, Complete Feeds, and Animal Tissues", *Journal of Food and Chemistry*, 48, pp. 1708-1712

Taylor, S. L. (1986), "Histamine food poisoning: toxicology and clinical aspects", *Critical Reviews in Toxicology*, 17, pp. 91-128.

Taylor, S.L., J. E. Stratton, J. A. Nordlee (1989), "Histamine poisoning (scombroid □sh poisoning): an allergy-like intoxication", *Clinical Toxicology*, 27, pp. 225-240.

Teijón, R.J.M. (2001), *Bioquímica Estructural*, Tébar, España, p. 67.

Yamani, M. and F. Untermann (1985), "Development of a histidine decarboxylase medium and its application to detect other amino acid decarboxylases", *International Journal of Food Microbiology*, 2, pp. 273-278.

Yongmei, Lu., C. Xiaohong, J. Mei, L. v. Xin, N. Rahman, D. Mingsheng and G. Yan (2009), "Biogenic amines in Chinese soy sauce", *Food Control*, 20, pp. 593-597.

Zaman, M., F. Bakar, J. Sclamat and J. Bakar (2010), "Occurrence of biogenic amines and amines degrading bacteria in fish sauce", *Czech Journal of Food Science*, 28, pp. 440-449.

Aspectos de los procedimientos de muestreo para determinar la inocuidad de los alimentos

María Isabel Silveira Gramont, Fabiola Gabriela Zuno Floriano, María Lourdes Aldana Madrid

Resumen

Debido al incremento en el comercio mundial de alimentos, los organismos internacionales y nacionales, responsables del control de su inocuidad, buscan armonizar criterios y procedimientos de muestreo, que sean suficientemente confiables para garantizar la seguridad alimentaria en la producción, proceso, y/o consumo de los alimentos. En este capítulo se describirán los métodos y procedimientos de muestreo que se han usado para detectar residuos de plaguicidas en alimentos, los problemas planteados en torno a la incertidumbre sobre los resultados en la determinación de residuos de plaguicidas, la cual comienza desde la recolección de la muestra del alimento, hasta el resultado final de la medición, así como los principales factores que afectan la validez y confiabilidad de las estadísticas de los resultados analíticos sobre la inocuidad.

Palabras clave: Incertidumbre, plan de muestreo, normas y procedimientos de muestreo.

Introducción

En los últimos 20 años, la inocuidad de los alimentos ha sido objeto de cuidadosa revisión y considerables controversias, tanto a nivel internacional como entre países productores, importadores y exportadores de productos alimenticios. Debido al incremento en el comercio mundial de alimentos, los diferentes actores (productores, gobiernos, organismos especializados y consumidores) han buscado una armonización entre los requisitos de producir y/o procesar alimentos inocuos y los de asegurar su inocuidad para los consumidores.

La inocuidad de los alimentos se define como la ausencia de elementos extraños al alimento (microorganismos, hongos, sustancias químicas y/o físicas) que puedan afectar la salud de la persona que los consume; esta es particularmente importante en sectores de población especialmente vulnerables, tales como los lactantes, embarazadas, y personas de la tercera edad (Codex, 2006).

La contaminación del alimento puede ser de tipo biológico (microrganismos, hongos u otros patógenos), químico (sustancias químicas extrañas y/o tóxicas, como plaguicidas, fertilizantes, o metales pesados), o físico (cuerpos extraños como vidrio, clavos, trozos de aluminio u otros). La naturaleza compleja de la inocuidad alimentaria, comprende lograr la producción de alimentos suficientes y seguros para la subsistencia de la población, e implementar programas de vigilancia y control para una producción y proceso inocuo del alimento (Codex, 2006).

Para alcanzar una armonización de criterios entre los diversos países actores en la producción, importación y exportación de alimentos, se deben buscar normas que sean respetadas en forma conjunta. Es por ello, que las dos dependencias de las Naciones Unidas, la FAO y la OMS, se unieron en la formación del *Codex Alimentarius* (*Codex*), para emitir en forma conjunta la normatividad relativa a la inocuidad en la producción, proceso, transporte y preparación de alimentos (Codex, 2001). Diferentes organizaciones nacionales e internacionales, a su vez, han establecido y actualizado las normas sobre inocuidad alimentaria de productos importados, procesados y/o exportados dentro de sus respectivas circunscripciones.

En el aspecto del control y vigilancia de la inocuidad alimentaria se establecen programas continuos (llamados también monitoreos) de muestreo de los alimentos "*in situ*", que permitan asegurar que el alimento importado, producido o procesado es inocuo.

El muestreo de un determinado alimento se realiza para obtener un subconjunto de unidades de la población llamado "muestra", con la cual se pueda estimar la contaminación de la población de alimentos examinados. Esta muestra debe obtenerse

de tal forma que represente a la población en estudio, que la probabilidad de ocurrencia de una característica particular en la muestra, sea determinada únicamente por su probabilidad de ocurrencia en la población (aleatoreidad), y que el tamaño de la muestra sea suficiente para obtener estadísticos (media, desviación estándar, proporción) confiables de la población (Hubbard, 1990; Cox, 2002).

Tanto el muestreo del producto, cultivo o alimento, como las operaciones necesarias en el laboratorio para llevar a cabo la medición de la contaminación, generan cierta variabilidad en el resultado de la medición (generalmente medida por la desviación estándar). Esta variabilidad se traduce en cierta "*incertidumbre*" en el resultado final, la cual se expresa por límites de confianza estadísticos alrededor del promedio (o proporción), estimados de la medición de interés en la población estudiada.

La incertidumbre se genera por la variabilidad entre las unidades de la muestra, tanto en el muestreo del producto, como en el manejo de laboratorio y/o en los métodos e instrumentos de medición. En estos aspectos, los organismos nacionales e internacionales, han establecido algunas directrices que intentan armonizar procedimientos, para evitar que la incertidumbre de los resultados resulte inadmisible tanto para el comercio internacional de alimentos, como para la seguridad alimentaria (FAO/OMS, 2006c; Codex, 2011).

En este capítulo se describen los principios, procedimientos y mecanismos de muestreo que se han usado para detectar residuos de plaguicidas en alimentos (se incluyen como ejemplo frutas y verduras), así como los problemas planteados en torno a la incertidumbre que se genera, desde la muestra del alimento, hasta el resultado de la medición; además, se revisan los principales factores que afectan la validez y confiabilidad de las inferencias estadísticas de los resultados analíticos sobre la inocuidad (FAO/OMS, 2004; Comisión Europea, 2002; Cox, 2002; Levy y Lemeshow, 1999).

Normas sobre inocuidad

Debido a la considerable importancia que tiene la seguridad e inocuidad de los alimentos, se han establecido programas de monitoreo nacionales e internacionales que por medio de muestreo detectan la posible contaminación de los alimentos; además, se han llevado a cabo diferentes estudios científicos que se realizan por medio de muestreos (también experimentos), sobre el cultivo o sobre el alimento (o producto alimenticio) de interés.

De acuerdo a las directrices sobre manejo de datos de la FAO (FAO, 1999a), los puntos críticos de un estudio de muestreo de alimentos constan de lo siguiente: *1)*

Los objetivos del muestreo de alimentos. *2)* El alcance demográfico/geográfico del estudio. *3)* Establecer prioridades en la selección de los alimentos que se han de muestrear y en los componentes que se han de analizar. *4)* Determinar si el muestreo se hará con el alimento crudo, cocido o elaborado. *5)* Obtener una muestra representativa del alimento seleccionado para ser analizado. *6)* Determinar el número de muestras necesarias. *7)* Contar con un protocolo para la toma de muestras, que comprenda un plazo breve de conservación, transporte y almacenamiento de la muestra, desde el lugar de la selección hasta el laboratorio. *8)* Elaborar un sistema de codificación para la identificación de todas las unidades de muestra.

Las normas tanto nacionales como internacionales abarcan dos aspectos: *a)* Normas de prevención de la contaminación de los alimentos. *b)* Normas de control para el aseguramiento de la inocuidad de los alimentos. En este último aspecto, tanto el *Codex*, como los organismos nacionales e internacionales, han establecido recomendaciones para efectuar muestreos que tengan alto grado de confiabilidad.

A nivel internacional, para residuos químicos en alimentos se han diseñado e implementado programas para prevenir, evaluar y supervisar la presencia de residuos de plaguicidas en los productos agrícolas y en el ambiente (Codex, 2001; Semarnat, 2006; Comisión Europea, 2002; Codex, 2008). Además, se han establecido límites máximos de residuos (LMR) en los productos alimenticios (FAO/OMS, 2002), y normas de buenas prácticas agrícolas (FAO, 2003), para reducir el impacto de los contaminantes tanto en el ambiente como en la seguridad de los alimentos para el consumidor. Dentro de los alimentos, se ha dado especial atención a productos frescos como frutas y verduras, ya que la mayoría de éstas se consumen crudas, y los programas de nutrición y salud estimulan el consumo más frecuente de éstos alimentos (OMS, 2004). Atendiendo a diversos convenios internacionales en México se creó el 15 de octubre de 1987 la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). Dicha comisión se encarga de los procedimientos para la resolución de solicitudes de registro, autorizaciones (permisos y registros), relativos a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (en materia de: explotación, elaboración, fabricación, formulación, mezclado, acondicionamiento, envasado, manipulación transporte, distribución, aplicación, almacenamiento, comercialización tenencia, uso y disposición final).[1] Actualmente CICOPLAFEST forma parte de COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). La COFEPRIS es responsable de la regulación, control y fomento sanitarios en los términos de la Ley General de Salud y demás disposiciones aplicables.[2]

[1] Disponible en http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/CI/CICOPLAFEST.pdf

[2] Disponible en http://www.cofepris.gob.mx.

Sin embargo, hasta el momento en México no están implementados programas regulares de monitoreo de plaguicidas en alimentos. Se cuenta con dos fuentes que podrían producir bases de datos en residuos de plaguicidas: *1)* Las investigaciones realizadas por la SAGARPA, Secretaría de Salud, SEMARNAT, u otras dependencias, cuando ocurre un incidente de contaminación conocido. Esta fuente puede variar en los datos recogidos según sea el incidente, o los resultados pueden no estar disponibles al público. *2)* Estudios de investigación realizados por instituciones públicas y/o privadas relacionados con residuos de contaminantes en alimentos (Albert, 2004).

Muestreo en alimentos

Para establecer el diseño y plan de muestreo en estudios de inocuidad de alimentos, se requiere conocer el (o los) objetivos del muestreo. Hay estudios donde el objetivo es estimar el riesgo específico y/o acumulado de un plaguicida o de varios (Berger y Von Holst, 2001; Hjorth *et al.*, 2011; Waliszewski e Infanzón, 2003; Aldana *et al.*, 2010). Existen estudios que combinan varios objetivos, como es el caso del estudio de Rawn *et al.*, (2004), donde se estudiaron los residuos en ciertos alimentos, y se determinó la frecuencia de consumo de los mismos. Burgos-Hernández *et al.*, (2006), estudiaron los residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el agua y sedimentos de un estuario del oeste de Sonora, México y de una granja acuícola de camarón, ubicada en las inmediaciones del estuario. Además, determinaron los residuos de los mismos plaguicidas en camarones cultivados en dicha granja. En un estudio realizado por Aldana *et al.* (2008b), el objetivo fue detectar la presencia de residuos de malatión, paratión metílico, diazinón y clorpirifos en nopal fresco y deshidratado, producido en el municipio de Hermosillo, Sonora, México.

En estudios por muestreo es necesario definir claramente la población objetivo, la unidad de población (y de muestreo) considerada, y las características básicas de la muestra que se va a seleccionar.

Población. Una población, es el conjunto de valores individuales de una variable o medición de interés, realizadas sobre las unidades de población definidas en un estudio o investigación (Cochran, 1977; Kish, 1995; Lohr, 1999).

Las poblaciones a las que se refiere en particular este escrito son las relacionadas con la inocuidad de alimentos. Así por ejemplo, en un estudio sobre residuos de plaguicidas en frutas y hortalizas importadas de Sudamérica (Hjorth *et al.*, 2011), la población objetivo abarcó la presencia y concentración de residuos de 327 plaguicidas, en 46 especies de frutas y vegetales importados de ocho diferentes países

de Sudamérica a países nórdicos durante el año 2007, mismas que se encontraban en bodegas de importadores y/o en mercados mayoristas o minoristas.

Unidades de la población. Algo importante en la definición de la población consiste en establecer el elemento o unidad de dicha población. En el estudio de Hjorth *et al.* (2011), la unidad considerada fue una fruta o un vegetal, de acuerdo a las normas establecidas por la Comunidad Económica Europea (Comisión Europea, 2002), que establecen que para frutas y hortalizas frescas "Cada fruta, hortaliza o racimo natural (por ejemplo, uvas) entero, constituirán una unidad, salvo en el caso de que sea pequeño. Los huevos, frutas y hortalizas frescas no deberán cortarse ni romperse para obtener unidades". En la práctica, si lo que se midió fueron los residuos de 327 plaguicidas, y debido a que las pruebas de laboratorio son destructivas, la unidad de población pudo ser más que una fruta (por ejemplo 3 frutas).

En un estudio para determinar residuos de plaguicidas organoclorados, organofosforados y piretroides en grano de trigo almacenado en Sonora, en el período del 2002 al 2003 (Aldana *et al.*, 2008a), la población objetivo fueron los residuos de plaguicidas en lotes de trigo almacenados en dicho periodo. Los residuos se midieron en una unidad primaria formada por 5 kg de grano de trigo extraído de un lote del grano, de acuerdo a las normas oficiales para calidad de trigo (SCFI, 1996).

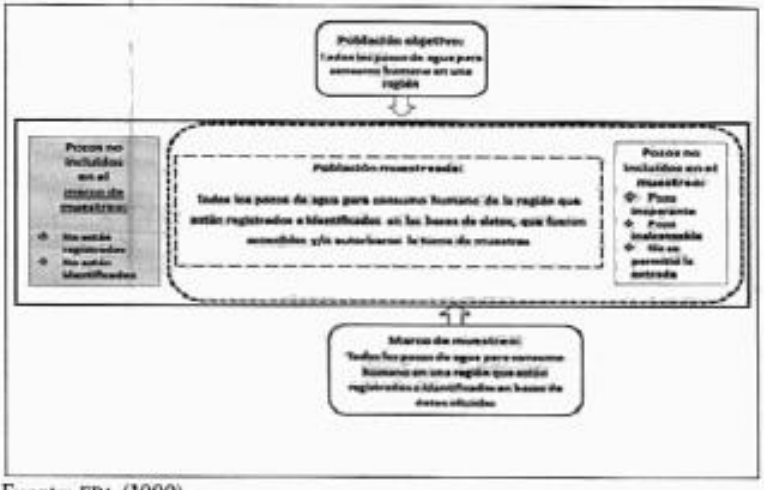
En el proceso de la definición de la población a estudiar, surge el aspecto práctico de la enumeración de las unidades o elementos de la población, sin el cual será imposible tomar una muestra. A esta definición práctica de la población, se le llama marco de muestreo o marco de referencia. Se considera que un buen marco de muestreo debe cubrir al menos el 85% de la población, y no presentar sesgos con respecto a la población estudiada (Kish, 1995). Los marcos de muestreo se elaboran a partir de la información que generan los censos, los sistemas de información y las bases de datos sobre agricultura, acuacultura, ganadería, producción y/o proceso de alimentos, importación y exportación de alimentos o productos alimenticios, entre otros. De acuerdo con Kish (1995), se pueden elaborar dos tipos de marcos de muestreo básicos: marco de lista y marco de área. En el marco de lista se tienen listas de campos agrícolas, granjas acuícolas, empresas procesadoras de alimentos, u otros de interés en el estudio. El marco de muestreo de área, se forma mediante imágenes satelitales o de GPS (Global Positioning System) y el uso de software interpretativo como el CASS (EPA, 1990; González, 2006). En la actualidad el marco de muestreo más usado es una combinación de ambos tipos (FAO, 1998). Según señala Lohr (1999), la población final es la definida como *población muestreada*, o sea aquella en donde las unidades muestrales tienen una probabilidad definida de ser seleccionadas en la muestra. Como ejemplo, en la figura 1 se puc-

den ver las poblaciones objetivo, el marco de muestreo y la población muestreada en el estudio sobre plaguicidas que realizó la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1990), cuyo objetivo era determinar residuos de plaguicidas y nitratos en pozos de agua para consumo humano en el territorio de Estados Unidos.

En el ejemplo de Aldana *et al.* (2008a), este esfuerzo se tuvo que realizar "*a priori*", mediante un marco de muestreo de lista de almacenes de granos primarios (almacenes que reciben los granos directamente de la cosecha del productor), así como encuestas y obtención de permisos especiales para visitar los sitios y tomar muestras del grano de trigo.

Muestra. Una muestra es un subconjunto de elementos de la población definida. La muestra está formada por varias unidades, de tal forma que ésta represente en la mejor forma posible a la población objetivo. Se debe recordar que las propiedades distribucionales de la población se verán reflejadas en la muestra. Para que la inferencia estadística que se obtenga de una muestra sea válida, se requiere que la muestra sea aleatoria,suficiente y representativa. Una muestra aleatoria se define como una muestra obtenida de tal forma, que cada elemento o unidad de la población tiene una probabilidad definida de estar en la muestra. Una muestra es completamente aleatoria (muestreo simple al azar) cuando cada elemento o unidad de la población tiene igual oportunidad de ser seleccionado en la muestra.

Figura 1. Población objetivo, marco de muestreo y población muestreada del estudio sobre plaguicidas en pozos de agua para consumo humano



Fuente: EPA (1990).

Se debe recordar que los criterios de definición de la población en estudio se verán reflejados en los datos que proporciona la muestra. La heterogeneidad de un lote en lo que respecta a la variable que se está midiendo, es el aspecto de mayor consideración en la selección de la muestra (Cox, 2002; Ambrus, 2009). En muestreos de residuos químicos en productos a granel, como los granos y cereales, la costumbre de mezclar el grano durante la descarga tiene una considerable influencia en la distribución de los residuos de plaguicidas, generando una variabilidad adicional en la estimación de los residuos promedio de un lote de grano. Si un lote o volumen de grano es heterogéneo, puede haber falta de representatividad de la muestra con respecto a la población y ocasionar que se rechace el lote, si la muestra tomada al azar contiene mayores residuos que los que tiene el lote en promedio (Hill, 2000).

Se considera que una muestra es suficiente cuando el número de unidades muestrales que la integra es suficiente para obtener un resultado representativo de la población. El tamaño de la muestra se puede determinar usando los métodos recomendados por la FAO o por la ISO 24333 (FAO/OMS, 2004; ISO 24333, 2009). Pero si la población es heterogénea, una muestra del mismo tamaño generará una mayor "incertidumbre" en el resultado (límites de confianza demasiado amplios), por lo que habrá que aumentar el tamaño de la muestra con los consiguientes tiempos y costos extra que eso representa. En las normas CAC/GL 50-2004 y CAC/GL 59-2006 se presentan tablas con los tamaños de muestra suficientes para alcanzar una confiabilidad determinada en las estimaciones de la población.

Métodos y protocolos de muestreo

Los métodos y diseños de muestreo están descritos en la mayoría de los textos sobre muestreo estadístico y se mencionan también en los documentos de la FAO, así como en otras normas internacionales. En este escrito se describen los métodos más usados en el muestreo de alimentos para la determinación de residuos de plaguicidas.

Muestreo simple al azar. En el muestreo simple al azar, todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Dependiendo de la característica a medir y de la unidad de muestra, el plan y/o el procedimiento de muestreo puede tener sus variaciones. Por ejemplo, para un muestreo de residuos de plaguicidas en un lote de grano "a granel", los procedimientos aceptados por las normas (FAO/OMS, 2004; ISO 24333, 2009), indican que se divide imaginariamente al lote en "regiones", y para cada región se escoge un punto al azar donde se coloca la sonda de profundidad, tomando partes iguales de cada profundidad y éstas

se depositan en una bolsa grande para posteriormente mezclarlas con el fin de obtener una muestra primaria única. Cuando se trata de unidades físicas diferenciadas (lechugas en un supermercado), se puede hacer una enumeración teórica de las cajas de lechugas, y escoger por ejemplo, 3 cajas mediante números aleatorios, luego escoger una lechuga al azar dentro de la caja. En el caso de productos agrícolas en el campo, es común recurrir al muestreo de áreas que consiste en seleccionar al azar "puntos" del mapa o fotografía seleccionados por el muestreo de áreas (FAO, 1998; FAO, 1999b). Cuando el muestreo se realiza durante la cosecha, se pueden muestrear los contenedores que se están usando para colectar la cosecha. Existe software para computadoras personales que permite combinar la información de los mapas de GPS con números aleatorios generados con software acompañante. Vanden *et al.*, (2007), concluyen en su estudio que el uso de las computadoras de mano con GPS, acompañada de una selección adecuada de los números aleatorios necesarios para obtener una muestra al azar (se puede usar el Excel), permiten realizar un muestreo eficiente y poco costoso cuando las áreas a muestrear son relativamente pequeñas y localizadas en una región.

Muestreo al azar estratificado. Una población estratificada es aquella compuesta de grupos distintos, con diferentes características. Así, para escoger una muestra de esa población, se consideran los estratos por separado y se realiza un muestreo al azar para cada estrato (Kish, 1995; Levy y Lemeshow, 1999).

Muestreo al azar por conglomerados. El muestreo al azar por conglomerados es una técnica que se usa cuando la población a estudiar está naturalmente dividida en grupos, de los cuales se desconoce si tienen diferencias o no. También se consideran conglomerados cuando la población está físicamente ubicada en lugares diferentes. En este método se seleccionan los elementos de la muestra en forma aleatoria dentro de cada grupo o conglomerado (Cochran, 1977; Kish, 1995). En el ejemplo de residuos de plaguicidas en grano de trigo almacenado en Sonora, Mexico (Aldana *et al.*,, 2008a), se obtuvo una lista de los almacenes de grano primarios en seis de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR). Dentro de cada uno de estos se seleccionaron al azar 1 o 2 almacenes (una vez obtenida la autorización para tomar muestras). Dentro de éstos almacenes se seleccionó al azar la bodega, silo o patio con grano de trigo que se iba a muestrear. Se pueden usar criterios de muestreo de tamaño fijo por grupo o conglomerado, o número de elementos de la muestra proporcionales al "tamaño" del grupo o conglomerado. En cualesquiera de los dos esquemas, el muestreo de conglomerados producirá una estimación de la media poblacional, que es probablemente mucho más exacta que la estimación basada en el muestreo al azar simple del mismo tamaño (Cochran, 1977).

Protocolos de muestreo. Se denomina *protocolo de muestreo* al plan específico que se va a aplicar para seleccionar la muestra de la población objetivo estudiada. Este plan incluye la definición de la unidad de muestreo, las variables a observar y/o medir, el o los métodos de muestreo que se van a emplear, la población muestreada, el tamaño de la muestra, así como especificaciones de los procedimientos de recolección y transporte de las muestras al laboratorio (Lohr, 1999; Cox, 2002; FAO/OMS, 2006a).

Para ilustrar estos conceptos se toma como ejemplo el estudio realizado por Aldana *et al.* (2010), cuyos objetivos fueron: "Determinar la presencia de residuos, cuantificarlos y determinar si exceden los LMR establecidos en el *Codex* en cinco plaguicidas piretroides (cihalotrina, ciflutrina, cipermetrina, fenvalerato y deltametrina), en hortalizas frescas (tomate bola, lechuga, chile verde tipo Anaheim, cebolla blanca, cebollín, papa y tomate saladette), producidos en el estado de Sonora y/o de mayor consumo por la población". Las poblaciones objetivo fueron dos: *a)* Los 7 vegetales producidos en Sonora en el período 2008-2009 y *b)* Las mismas 7 hortalizas que se encuentran para la venta en centros de acopio, mercados de abasto, supermercados, y fruterías de Sonora. En la descripción del diseño y plan de muestreo usados en este estudio se denominará con el término genérico "sitio", al campo, invernadero, centro de acopio, supermercado y/o frutería donde se van a tomar muestras de la hortaliza en estudio.

El muestreo de las hortalizas estudiadas se realizó en dos tipos de sitios: a) de producción y b) de acopio o venta. Debido a que en Sonora la producción y el acopio de las hortalizas consideradas en este estudio se distribuye de acuerdo a los Distritos de Desarrollo Rural que cuentan con zonas de riego (Caborca, Hermosillo, Cajeme, Guaymas, Magdalena y Navojoa), y a que la producción de algunas de las hortalizas consideradas (papa y cebolla) es estacional, se seleccionó el siguiente diseño de muestreo: Muestreo en dos épocas (marzo-abril y septiembre-octubre), por conglomerados (donde los conglomerados son los DDR), con muestreo al azar de sitios dentro de los conglomerados, y muestreo completamente al azar de la hortaliza estudiada dentro del sitio.

Muestreo en sitios de acopio o venta. Para establecer los planes de muestreo para centros de acopio y/o venta, se consideró un marco de lista (listados de estos sitios obtenidos de bases de datos de Internet y de INEGI) y una encuesta previa con cuestionario sobre el volumen de las hortalizas y el origen de los lotes. Los centros de acopio o venta puede tener las hortalizas almacenadas en diferentes modalidades: a granel, en cajas o en bolsas. Cuando el almacenamiento era a granel y los lotes estaban mezclados, se investigó el lugar de donde procedían los lotes mezclados y se evitó muestrear productos cuya procedencia no se pudo establecer de antemano.

Se denomina "unidad muestral" al número de hortalizas o legumbres que las normas establecen como la muestra del producto para fines de análisis de residuos de plaguicidas (FAO/OMS, 1993). El número de unidades muestrales que se escogieron fue proporcional al número de lotes y al volumen total de los lotes, el cual se anotó en el cuestionario del sitio.

En el caso de centros de acopio o venta, si la hortaliza tenía más de un lote de diferente procedencia, se tomó una unidad muestra l por lote (o sub-lote, en el caso de que estos fueron de diferentes características que el resto del lote). El *Codex* (FAO/OMS, 2006a), señala que si se tienen lotes de menos de 50 empaques (50 kilos a granel, 50 cajas o 50 bolsas) se considere una sola muestra (unidad muestral). La unidad muestral para estas hortalizas se escogió de acuerdo a los cuadros 1 y 2.

Si el lote de lechuga o el atado de cebollines era menor a 50 kg, se tomó una sola unidad muestral que consiste en una lechuga o un atado de cebollines (de 7 a 10 cebollines). Cuando el lote de hortalizas era mayor a 50 kg, se tomaron unidades muestrales proporcionales al tamaño del lote; se tomó al menos una unidad muestral por lote de procedencia diferente.

Cuadro 1. Peso y cantidad mínima de la muestra para la detección de LMR de residuos de plaguicidas en muestreo de campo

Tipo de vegetal	*Ejemplos*	*Peso y cantidad mínimo*
Vegetales de raíz (grandes)	Remolacha, cebolla, papas, camotes,	5 kg (al menos 5 unidades)
Vegetales de raíz (pequeños)	Zanahorias, cebollas chicas (cebollines)	2 kg
Vegetales de hojas y tallos (grandes)	Repollo, coliflor, brócoli, lechuga	5 kg (al menos 5 unidades)
Vegetales de hojas y tallos (pequeños)	Espárrago, col de bruselas, lechuga, espinaca	2 kg
Vegetales de frutos (grandes)	Pepinos, melón, calabazas	5 kg (al menos 5 unidades)
Vegetales de frutos (pequeños)	Cebollas, pimientos, chiles, tomates	5 kg (al menos 5 unidades)
Leguminosas	Frijoles, garbanzo, habas, chícharos	2 kg

Fuente: FAO/OMS (2006a).

Los elementos que integran la unidad muestral se seleccionaron al azar de diferentes puntos del lote. Por ejemplo, se seleccionaron tres cajas de un lote (superior, central, y del fondo), como se ve en la figura 3.

Cuadro 2. Peso y cantidad mínima de la muestra para la detección de LMR de residuos de plaguicidas en muestreo de vegetales en puntos de venta

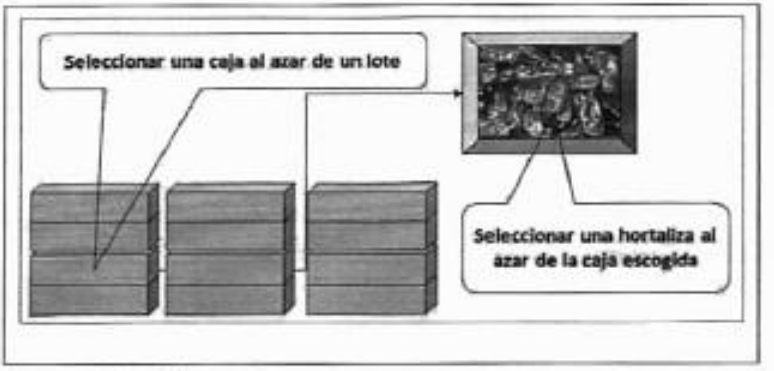
Tipo de vegetal	*Ejemplos*	*Peso y tamaño mínimo*
Productos frescos de tamaño pequeño unidades < de 25 g.	Apio, lechuga, espinacas, bayas, chichatos y aceitunas.	1 kg.
Productos frescos de tamaño medio, unidades de 25 a 250 g.	Tomate, manzanas, naranjas, peras, melocotones, otras.	1 kg. (10 unidades al menos).
Productos frescos de tamaño grande, unidades > 250 g.	Coles, pepinos, racimos de uvas, melones, piña, papaya y remolacha.	2 kg. (5 unidades al menos).
Leguminosas	Soya, frijol, habas, chícharos.	1 kg.

Fuente: FAO/OMS (2006a).

A continuación se ilustra el procedimiento de selección de la unidad muestral, que dependerá fundamentalmente del tipo de almacenamiento del lote (a granel, en cajas o en bolsas), y de su tamaño.

Se seleccionaron al azar 5 cajas o bolsas según sea el caso, y de cada caja o bolsa se seleccionaron al azar una (o dos) unidad (es) del producto (ejemplo: un tomate). Se contó con varios esquemas dibujados, para hacer una selección diferente para cada lote o sitio.

Figura 2. Ejemplo de la selección de unidades muéstrales dentro del lote en productos empacados en cajas



Fuente: elaboración propia.

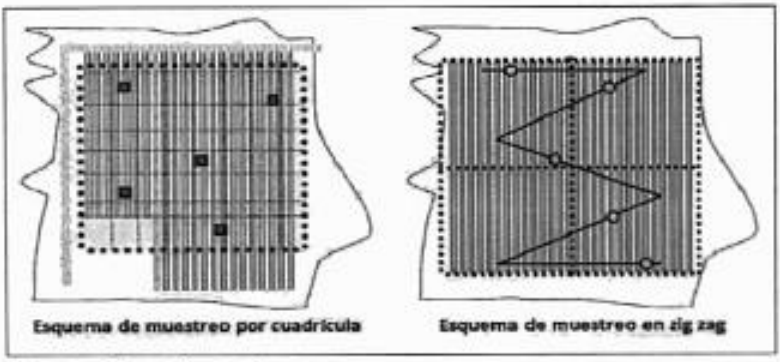
Muestreo en sitios de producción. Los sitios de producción de las hortalizas estudiadas fueron campos agrícolas, invernaderos o casas-sombra. En este trabajo se usó un marco de muestreo de lista, ya que se requería permiso de los encargados para entrar al campo. Dentro del sitio se usó un esquema en zig-zag o un esquema de cuadrícula (figura 4), con puntos seleccionados con números aleatorios (para las hileras y para las plantas en la hilera).

Se evitó muestrear en lugares inaccesibles y en las orillas del cultivo, o inmediatas a zonas de trabajo. En los casos en que el muestreo fue sobre el producto ya cosechado, se usó un esquema similar al de los centros de acopio, seleccionando diferentes contenedores y hasta 3 productos de cada contenedor. En estos casos la muestra primaria fue compuesta. Tanto para la toma de muestras, así como su almacenamiento, transporte y manejo en el laboratorio, se siguieron las especificaciones indicados en el Codex (FAO/OMS, 2006a), así como en las Normas Mexicanas apropiadas (FAO/OMS, 2004; FAO/OMS, 2006a). Se llevaron varios esquemas dibujados para escoger uno de ellos al azar en el momento de tomar las muestras. En cada punto marcado se tomó un producto al azar de una planta o la planta completa según fuera el caso. El producto escogido se colectó y se colocó en una bolsa hermética de poliestireno con baja permeabilidad, para evitar el deterioro de los plaguicidas, se colocó una etiqueta en la bolsa con el código de la muestra y las bolsas se almacenaron en un recipiente refrigerado para reducir al mínimo la evapotranspiración del producto, y su deterioro por temperatura.

Incertidumbre en el muestreo

Según FAO/OMS (2006a), la incertidumbre "es una estimación agregada al resultado de una medición, la cual determina el rango de valores dentro del cual está el verdadero valor del resultado". La determinación de incertidumbre en la medición, va a comprender un rango de valores que están tomando en cuenta los errores aleatorios y sistemáticos que se pueden cometer al efectuar la medición. El concepto de "incertidumbre" guarda relación con la expresión estadística de los resultados de una medición química.

Figura 3. Esquemas de muestreo en zig-zag y en cuadrícula para campo agrícola, casa sombra o invernadero



Fuente: elaboración propia.

Si se obtiene un resultado de residuos de plaguicidas encontrados en un alimento, éste generalmente se expresa por un intervalo de confianza con un nivel de confianza establecido (95 o 99%) o por la media $\bar{x} \pm (s/\sqrt{n})$ de la muestra seguido de un signo de mas/menos y la desviación estándar de la media (), donde s es la desviación estándar de la muestra, y n es el número de muestras estudiadas, en el caso de mediciones continuas; para el caso de proporciones se expresa como $p \pm \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$, donde p es la proporción de muestras con residuos y n es el número de muestras estudiadas.

Las mediciones que se realizan para medir o determinar la inocuidad de alimentos pueden incluir variables por atributos o variables cuantitativas. En variables por atributos el muestreo se realiza según el procedimiento de "conformidad" donde el resultado se expresa como el porcentaje de alimentos conformes (o no conformes) con las normas (Roy *et al.*, 1997; Fuentes–Matus *et al.*, 2010). En variables cuantitativas (cuantificación de residuos), los resultados se expresan como intervalos de confianza o como el límite superior de un intervalo de confianza (LSC) (Aldana *et al.*, 2008a; Pérez *et al.*, 2009).

Debido al carácter numérico rígido que adoptan las normas de inspección de los alimentos, hay considerables controversias respecto a la incertidumbre de los resultados. Por ejemplo, el *Codex* (FAO/OMS, 2006a), establece que el LMR para deltametrina en papa es de 0.01 μg kg^{-1}. Si se encuentra una muestra de un lote de papas de la cual el límite superior de confianza al 95% es mayor a 0.01 μg kg^{-1}, se puede rechazar el lote, si las normas del país así lo establecen. En estos aspectos, se han establecido algunas directrices que intentan armonizar procedimientos para evitar que la incertidumbre de los resultados resulte inadmisible tanto para el comercio interna-

cional de alimentos como para la seguridad alimentaria (FAO/OMS, 2006c; Codex, 2011; EURACHEM/EUROLAB/CITAC/Nordtest, 2007).

La gran mayoría de documentos sobre incertidumbre en las mediciones de residuos de plaguicidas en alimentos, coinciden en que sus principales fuentes son el muestreo, el tratamiento de la muestra en el laboratorio y el proceso de medición final (FAO/OMS, 2006c). Investigadores que se han dedicado al estudio de la variabilidad en el muestreo, señalan que los principales factores de variabilidad se originan en la heterogeneidad de los lotes debido a prácticas agrícolas variables, en la falta de sistemas de rastreabilidad de alimentos (FAO/OMS, 2006b), en el tamaño físico de la unidad muestral, el tamaño de la muestra, el tamaño y forma de la planta (en el caso de productos vegetales), así como en la forma de aplicación del plaguicida (Hill, 2000; Ambrus y Soboleva, 2004; Ambrus, 2006; Ambrus, 2009; Ambrus *et al.*, 2011).

Los documentos del *Codex* y de otros autores internacionales reportan que en la mayoría de los casos el error aleatorio analítico es como máximo un tercio (1/3) del error de muestreo. Cuando el error analítico es mayor, será necesario separar los procedimientos de manejo y tratamiento de la muestra, de los procedimientos de medición propiamente dichos, para conocer si los errores que se están estimando como aleatorios, lo son en realidad, o si hay errores sistemáticos que se agregan a aquellos (FAO/OMS, 2006c).

La definición de incertidumbre juega un papel importante en la determinación de los LMR para los residuos de plaguicidas. Antes de autorizar el uso de un plaguicida se realizan experimentos de campo con las aplicaciones recomendadas por el fabricante, con el fin de conocer qué cantidad de residuos puede quedar en el producto agrícola cuando éste se cosecha (Maclachlan y Hamilton, 2010). La cantidad de residuo que debe quedar, en el alimento fresco o procesado debe ser inferior a los LMR establecidos para el plaguicida en los estudios de toxicidad y en estimaciones de la ingesta diaria admitida (IDA) por una persona.

A continuación se citan algunos trabajos que se han realizado en torno al estudio de la incertidumbre generada en los resultados de residuos de plaguicidas. Bogen *et al.* (2009), realizaron una revisión extensiva de los métodos y técnicas de determinación de la incertidumbre en modelos probabilísticos que se han usado para evaluar la exposición a compuestos químicos. Ellos concluyen que cuando el conjunto de datos de residuos de plaguicidas es pequeño (menos de 50 observaciones) muchas veces la distribución de los datos no es normal. La aplicación de transformaciones como la Log (normal) no mejora la variabilidad generada por los datos, y las estadísticas regulares (media y desviación estándar) no toman en cuenta valores altos extremos del plaguicida. Kennedy *et al.*, (2011), sugieren realizar varios estudios y combinar los

datos para aplicar un modelo Bayesiano jerárquico para mejorar la estimación de los cuantiles superiores de la distribución de residuos y con ello reducir la incertidumbre de las estimaciones cuantitativas de residuos.

El Comité de residuos de plaguicidas del *Codex* (Codex, 2011), ha propuesto nuevas directrices en la estimación de la incertidumbre de los resultados de residuos de plaguicidas en alimentos, las cuales ponen énfasis en la detección de errores sistemáticos y aleatorios en las determinaciones de laboratorio, con nuevas fórmulas para calcular la incertidumbre del resultado.

Conclusiones

De lo expuesto en este capítulo, se concluye que los problemas en torno al muestreo de alimentos o productos para asegurar la inocuidad alimentaria se concretan en dos aspectos: el primero es la definición clara del objetivo y alcance del muestreo, incluyendo la población, la muestra, la unidad de muestreo, así como el protocolo que permitirá obtener la muestra. El segundo se refiere a obtener un esquema de muestreo, de manejo de la muestra en laboratorio y de uso de métodos analíticos apropiados que reduzcan lo más posible la incertidumbre de la medición.

Como medidas de prevención para evitar la aparición de alimentos contaminados es por un lado la concientización de los actores en la cadena alimenticia (productores, procesadores y manejadores de alimentos), de la importancia de su inocuidad (FAO/OMS, 2009). Sánchez y Betanzos (2006), proponen que la concientización sobre la inocuidad alimentaria y el establecimiento de modelos agrícolas y alimentarios más sustentables, deben basarse en la construcción de alianzas estratégicas entre productores, comercializadores y consumidores, de tal forma que los intereses de todos estén contemplados en la cadena alimenticia, y eso abrirá paso a la verdadera aplicación de normas de inocuidad y de los llamados derechos de tercera generación.

Agradecimientos

Proyecto UC MEXUS-CONACYT No. CN-07-55. En Memoria de la Dra. Marion Miller Sears.

Sobre los autores

María Isabel Silveira Gramont,[1] Fabiola Gabriela Zuno Floriano,[2] María Lourdes Aldana Madrid.[1]* [1]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora. Rosales y Blvd. Luis Encinas s/n, Centro. Hermosillo, Sonora. C.P. 83000, México. Tel/Fax (662)259 2207, 08, 09, correo electrónico *laldana@guayacan.uson.mx. [2]Departamento de Toxicología Ambiental, Universidad de California, Davis, One Shields Ave. Davis 95616 (USA). Tel/Fax 001(530)752 2473.

Referencias

Albert, L. A. (2004), "Panorama de los plaguicidas en México", *RETEL Revista de Toxicología en Línea*, disponible en http://www.sertox.com.ar/retel/n08/01.pdf (Revisado 03/04/2012), pp. 1-17.

Aldana-Madrid, M. L. S., S.Valdez-Hurtado, N. D. Vargas-Valdez, N. J. Salazar-Lopez, M. I. Silveira-Gramont, F. G. Loarca-Piña, G. Rodríguez-Olibarria, F. G. Wong-Corral, J. Borboa-Flores y A. Burgos-Hernández (2008a), "Insecticide Residues in Stored Grains in Sonora, Mexico: Quantification and Toxicity Testing", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, pp. 93-96.

Aldana Madrid, M. L., M. C. García Moraga, G. Rodríguez Olibarria, M. I. Silveira Gramont y A. I. Valenzuela Quintanar (2008b), "Determinación de insecticidas organofosforados en nopal fresco y deshidratado, mediante extracción en fase-sólida dispersiva", *Fitotecnia Mexicana*, 31(2), pp. 131-139.

Aldana, M. L., M. Miller, A. I. Valenzuela, M. I. Silveira, P. Grajeda, M. L. Gutiérrez, G. Rodríguez, J. L. Aguiar, P. Álvarez, P. Aranda, M. K. O'Rourke, J. de Zapien y C. Rosales (2010), "Estudio preliminar para el establecimiento del monitoreo de plaguicidas en alimentos en México, con especial atención en aquellos con efectos crónicos irreversibles", Informe Técnico final UC MEXUS-CONACyT, 16 de junio, 2010, Clave No. CN-07-55.

Ambrus, A., y E. Soboleva (2004), "Contribution of sampling to the variability of pesticide residue data", *Journal of AOAC International*, 87, pp. 1368-1379.

Ambrus, A. (2006), "Variability of pesticide residues in crop units", *Pest Management Science*, 62, pp. 693-714.

Ambrus, A. (2009), "Estimation of sampling uncertainty for determination of pesticide residues in plant commodities", *Journalof Environmental Science and-Health, PartB*, 44(7), pp. 627-39.

Ambrus, A., A. Zentai, J. Sali y I. Ficzere (2011), "Hidden contributors to uncertainty and accuracy of results of residue analysis", *A review. Accreditation and Quality Assurance: Journal for Quality, Comparability and Reliability in Chemical Measurement*, 16(1), pp. 3-11.

Berger, B., y C. Von Holst (2001), "Pesticide Residues in Products of Plant Origin in the European Union. Sampling Strategy and Results from the Co-ordinated EU Monitoring Programmes in 1996 and 1997", Environmental Science and Pollution Research, 8(2), pp. 109-112.

Bogen, K. T., A. C. T. Cullen, H. Cullen, H. C. Frey y P. S. Price (2009), "Probabilistic Exposure Analysis for Chemical Risk Characterization", *Toxicological Sciences*, 109(1), pp. 4-17.

Burgos-Hernández, A., M. G. Leyva Zapién, M. L. Aldana Madrid, C. O. García Sifuentes, C. I. Mendívil Gil, E. C. Rosas Burgos y R. Ramírez Olivas (2006), "Presence of insecticides in shrimp farms adjacent to the sea of Cortes: detection, quantification, and toxicity testing", *European Food Research and Technology*, pp. 222; 3-4; 380-384.

Cochran, W. G. (1977), *Sampling Techniques*, John Wiley, New York, USA, pp. 428.

Codex (2001), "Código de Prácticas sobre Medidas Aplicables en el Origen para Reducir la Contaminación de los Alimentos por Productos Químicos Volumen CAC/RCP" disponible en http://www.codexalimentarius.net/web/more_info.jsp?id_sta=373; consultado el 21 de 03 del 2012, pp. 49-2001.

Codex (2006), "Informe del 58ª Período de Sesiones del Comité Ejecutivo del Codex Alimentarius", ALINORM, AL2903A, Ginebra, Suiza, disponible en http://64.76.123.202/CCLAC/documentos/CCLAC/2006/alinorm/al2903As.pdf; consultado el 21 del 03 de 2012.

Codex (2008), "Directrices para la Validación de Medidas de Control de la inocuidad de los Alimentos. CAC/GL" disponible en http://www.codexalimentarius.net/download/standards/11022/cxg_069s.pdf; consultado el 21 del 03 de 2012, pp. 69-2008.

Codex (2011), "Proposed Draft Revision of the Guidelines on the Estimation of Uncertainty of Results for the Determination of Pesticide Residues", (Appendix to the Guidelines on Estimation of Uncertainty of Results CAC/GL 59-2006). FAO/WHO, Roma, Italia, disponible en www.cclac.org/documentos/CCPR/2011/3%20Documentos/Documentos%20Ingles/pr43_10e.pdf; consultado el 03 de 3 del 2012.

Comisión Europea (2002), "Directiva 2002/63/CE de la Comisión de 11 de julio de 2002 por la que se establecen los métodos comunitarios de muestreo para el control oficial de residuos de plaguicidas en los productos de origen vegetal y animal y se deroga la Directiva 79/700/CEE" disponible en http://eurlex.europa.eu/

LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:187:0030:0043:ES:PDF; consultado el 21 del 03 de 2012.

Cox, J. R. (2002), "Sampling for Pesticide Residue Analysis, Chpt 6. In: Grant, I.F. y Tingle, C.C.D. (eds), Ecological Monitoring Methods for the Assessment of Pesticide Impact in the Tropics. Chatham, UK: Natural Resources Institute", disponible en http://www.nri.org/publications/ecological_methods/h_chapter6_en.pdf; consultado el 03 del 03 del 2012.

Environment Protection Agency (EPA) (1990), "National Pesticide Survey. Summary results of EPA's National Survey of Pesticides in Drinking Water Wells. Office of Pesticides and Toxic Substances", disponible en http://www.jillhoffmann.com/EPAPEST_SVY.pdf; consultado el 26 del 03 de 2012, p. 16.

EURACHEM/EUROLAB/CITAC/Nordtest, (2007), "Guide on the Estimation of Measurement Uncertainty Arising from Sampling", disponible en http://www.eurachem.org/guides/UfS 2007.pdf; consultado el 03 del 03 de 2012.

FAO/OMS (1993), *Parte del Producto a la que se Aplican los Límites Máximos del Codex para Residuos y que se Analiza. Codex Alimentarius Commission*, CAC/GL, pp. 41-1993; 10.

FAO (1998), *Encuestas agrícolas con múltiples marcos de muestreo. v. 2: Programas de encuestas agropecuarias basadas en diseños de muestreo con marco de areas o doble marco de selección (de áreas y de lista)*, Colección FAO, Desarrollo Estadístico (FAO), No. 10 / FAO, Rome (Italy), pp. 269.

FAO (1999a), *Informe Final-Tercera Conferencia Internacional de Datos sobre Alimentos*, Servicio de Planificación, Estimación y Evaluación de la Nutrición (ESNA), Departamento Económico y Social (ES), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia, pp. 48.

FAO (1999b), "Segundo Seminario-Taller Regional sobre Diseñó Estadístico de Programas Nacionales de Encuestas Agropecuarias. Encuestas basadas en métodos de muestreo con doble marco de selección: marco de áreas y marco de explotaciones agrícolas. Informe final", Dirección de Estadística, Instituto Nacional de Estadísticas, Santiago, Chile, y FAO, Roma Italia, p. 74.

FAO/OMS (2002), "Assuring Food Safety and Quality: Guidelines For Strengthening National Food Control Systems", Project PFL/INT/857: Global Inventory, Reference Materials and Food Safety Training Programme for Improving the Quality and Safety of Fresh Fruit and Vegetables, Final Report, Joint FAO/WHO Publication, Roma, Italia, p. 78.

FAO (2003), "Elaboración de un marco para las buenas prácticas agrícolas", Comité de Agricultura, Roma, Italia, disponible en http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/006/Y8704S.HTM; consultado el 03 del 03 de 2012.

FAO/OMS (2004), *Directrices Generales sobre Muestreo. Codex Alimentarius Commission*, CAC/GL 50-2004, FAO/WHO, Roma, Italia, p. 73.

FAO/OMS (2006a), "Métodos de Muestreo Recomendados para la Determinación de Residuos de Plaguicidas a Efectos del Cumplimiento de los LMR", *Codex Alimentarius*, Commission. CAC/GL 33-1999 Rev. FAO, Roma, Italia, p. 22.

FAO/OMS (2006b), *Principios para la rastreabilidad/rastreo de productos como herramienta en el contexto de la inspección y certificación de alimentos (CAC/GL 60-2006)*, Roma, Italia, p. 3.

FAO/OMS (2006c), Directrices Sobre la Estimación de la Incertidumbre de los Resultados, CAC/GL 59-2006, Roma, Italia, p. 10.

FAO/OMS (2009), "Food Import and Export Inspection and Certification Systems . Fourth edition-FAO/WHO Codex Alimentarius Commission", Roma, Italia, disponible en http://www.standardsfacility.org/files/Info_donors/STDF_WG_Jun09_Compilation.pdf; consultado el 03 del 03 de 2012.

Fuentes-Matus, C., S. Vega y León, G. Díaz-González, M. Noa-Pérez, R. Gutiérrez-Tolentino (2010), "Determinación de residuos de malatión y malaoxón en mango de las variedades Ataulfo y Tommy Atkins producidos en Chahuites, Oaxaca". *Agrociencia*, 44(2), pp. 215-223.

González Villalobos, A. (2006), Sample Survey Statistics Teaching: an Almost Worldwide Problem on Teaching Agricultural Survey Methods.*Proceedings of the ICOTS 7 (International Conference on the Teaching of Statistics), International Association for Statistical Education (IASE)*, Bahia, Brazil.

Health Canada (2005), "Guidance for Setting Pesticide Maximum Residue Limits Based on Field Trial Data", Pest Management Regulatory Agency, Regulatory Proposal PRO2005-04.Otawa, Ontario, Canada, 30, disponible en http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca/Collection/H113-8-2005-4E.pdf; consultado el 16 del 03 de 2012.

Hill, A. R. (2000), "Residue variability and sampling--practical problems and consequences for residues monitoring", *Food Additives & Contaminants*, 17(7), pp. 539-546.

Hjorth, K. Johansen, K. Holen, B. Andersson, A. Christensen, H. B. Siivinen, K. M. Toome (2011), "Pesticide residues in fruits and vegetables from South America –a Nordic Project", *Food Control*,22(11), pp. 1701-1706.

Hubbard, M. R. (1990), *Statistical Quality Control for the Food Industry*, Van Nostrand Reynhold, New York, p. 282.

ISO 24333 (2009), Cereals and cereal products--Sampling 1ª. ed., Genova, Suiza.

Keikotlhaile, B. M., P. Spanoghe y W. Steurbaut (2010), "Effects of food processing on pesticide residues in fruits and vegetables: A meta-analysis approach", *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), pp. 1-6.

Kennedy, M. C., v. J. Roelofs, C. W. Anderson and J. D. Salazar (2011), "A hierarchical Bayesian model for extreme pesticide residues", *Food and Chemical Toxicology*, 49, pp. 222-232.

Kish, L. (1995), *Survey Sampling*, John Wiley, New York, USA, p. 643.

Levy, P. S., y S. Lemeshow (1999), *Sampling of populations. Methods and applications*, 3rd edition. John Wiley, New York, USA, p. 525.

Lohr, S. L. (1999), *Sampling: Design and Analysis*, Duxbury Press, New York, USA.

Maclachlan, D. J., y D. Hamilton (2010), "A new tool for the evaluation of crop residue trial data (day-zero-plus decline)", *Food Additives & Contaminants Part A*. Chem Anal Control Expo Risk Assess, 27(3), pp. 347-364.

OMS (2004), "Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud", 57th Asamblea Mundial de la Salud, WHA57.17, disponible en http://www.who.int/dietphysicalactivity/strategy/eb11344/strategy_spanish_web.pdf; consultado el 14 del 02 de 2012.

Pérez, M. A., A. Segura, R. García, T. Colinas, M. Pérez, A. Vázquez y H. Navarro (2009), "Residuos de Plaguicidas Organofosforados en Cabezuela de Brócoli (*Brassica oleracea*) Determinados por Cromatografía de Gases", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(2), pp. 103-110.

Rawn, D. F., X. L. Cao, J. Doucet, D. J. Davies, W.F. Sun, R. W. Dabeka y W. H. Newsome (2004), "Canadian Total Diet Study in 1998: Pesticide levels in foods from Whitehorse, Yukon,Canada, and corresponding dietary intake estimates", *Food Additives & Contaminants*, 21(3), disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15195471; consultado el 14 del 02 de 2012, pp. 232-250.

Roy, R. R., P. Wilson, R. R. Laski, J. I. Roberts, J. A. Weishaar, R. L. Bong and N.J. Yess (1997), "Monitoring of domestic and imported apples and rice by the U.S. Food and Drug Administration pesticide program", *Journal of AOAC International*, 80(4), pp. 883-94.

Sánchez Saldaña, K., y P. Betanzos Ocampo (2006), "Aspectos socioeconómicos y culturales en el uso de agroquímicos y plaguicidas en los Altos de Morelos, México", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 3, pp. 33-47.

SCFI Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1996), Norma Oficial Mexicana NOM-057-FITO-1995. Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para emitir el dictamen de análisis de residuos de plaguicidas. Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación 07/30/1996, México, D. F.

Semarnat Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2006), Norma Oficial Mexicana que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos, NOM-052-SEMARNAT-2005, Diario Oficial del 23 de Junio del 2006.

Vanden Eng, J. L., A. Wolkon, A. S. Frolov, D. J. Terlouw, M. J. Eliades, Morgah, Kodjo, v. Takpa, A. Dare, Y. K. Sodahlon, Y. Doumanou, W. A. Hawley y A. W. Hightower (2007), "Use of Handheld Computers with Global Positioning Systems for Probability Sampling and Data Entry in Household Surveys", *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 77(2), pp. 393-399.

Waliszewski, S. M., y R. M. Infanzón (2003), "Diferencia entre concentraciones de plaguicidas organoclorados persistentes en suelo, paja y granos de trigo", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 19, pp. 5-11.

Biotransformación del arsénico inorgánico en niños del sur de Sonora

María Mercedes Meza Montenegro, José de Jesús Balderas Cortés, Iram Mondaca Fernández, Ana María Rentería Mexía, Roberto Rodríguez Ramírez

Resumen

Existe muy poca información sobre el metabolismo de arsénico en poblaciones infantiles, expuestas a bajos niveles de éste metaloide a través del agua de consumo (<50 µg/L). El objetivo de este estudio fue determinar el perfil de excreción de los metabolitos de arsénico en la orina de niños de 9 a 11 años, de comunidades del sur de Sonora, para lo cual se realizó un estudio transversal reclutando 50 niños de cuatro comunidades; Esperanza, Cocorit, Pueblo Yaqui y Campo 47, con valores de arsénico total de 39.9, 16.8, 7.3 y 5.5 µg As/L respectivamente, en su agua de consumo. La excreción de arsénico fue evaluada en la primera orina de la mañana, determinando las concentraciones de arsénico total (In As) y sus especies: arsenato (As V), arsenito (As III), monometil arsénico (MMA) y dimetil arsénico (DMA) mediante HPLC/ICP-MS.

El arsénico total excretado en orina estuvo en el rango de 23.1 a 99.1 µg As/L y esos niveles no variaron por sexo. Los niños expuestos a las concentraciones mas altas de arsénico total en agua, excretaron los niveles más elevados en orina, y las variables como tiempo de residencia y edad también tuvieron contribución significativa. Los niños con el rango de exposición mas bajo de arsénico en el agua (16.8-5.5 µg As/L) tuvieron cantidades similares de arsénico en la orina con valores de 23.1, 28.2, y 32.6 µg As/L respectivamente. El DMA tuvo la mayor proporción en

orina (52.1-74.7%), seguido por arsénico inorgánico (16.3-34.9%) y MMA (4.4-8.4%). Comparando los resultados obtenidos de las especies de arsénico en la orina de éstos niños, con otros reportes, en nuestra población los niños excretaron un bajo porcentaje de MMA con un valor de 6.1%, por el contrario los niños de los pueblos con menores niveles de este metaloide en agua presentaron las proporciones mas altas de arsénico inorgánico y las más bajas de DMA.

Esta variabilidad en la metilación o biotransformación del arsénico inorgánico fue parcialmente explicada por la concentración del arsénico en el agua potable, tiempo de residencia en el poblado y edad, quizá las diferencias genéticas u otras rutas de exposición no consideradas en el presente estudio (inhalación de polvos, ingestión de alimentos, etc) puedan tener mayor efecto en la explicación de la variabilidad obtenida en la capacidad de metilación de éstos niños. En conclusión, los resultados demuestran que a niveles bajos de exposición de los niños a través del agua de consumo su capacidad para metabolizar el arsénico inorgánico no mostró una asociación lineal con las concentraciones de arsénico en el agua, además los niños del sur de Sonora excretaron un porcentaje de MMA mas bajo del esperado.

Palabras clave: arsénico, biotransformación, agua potable.

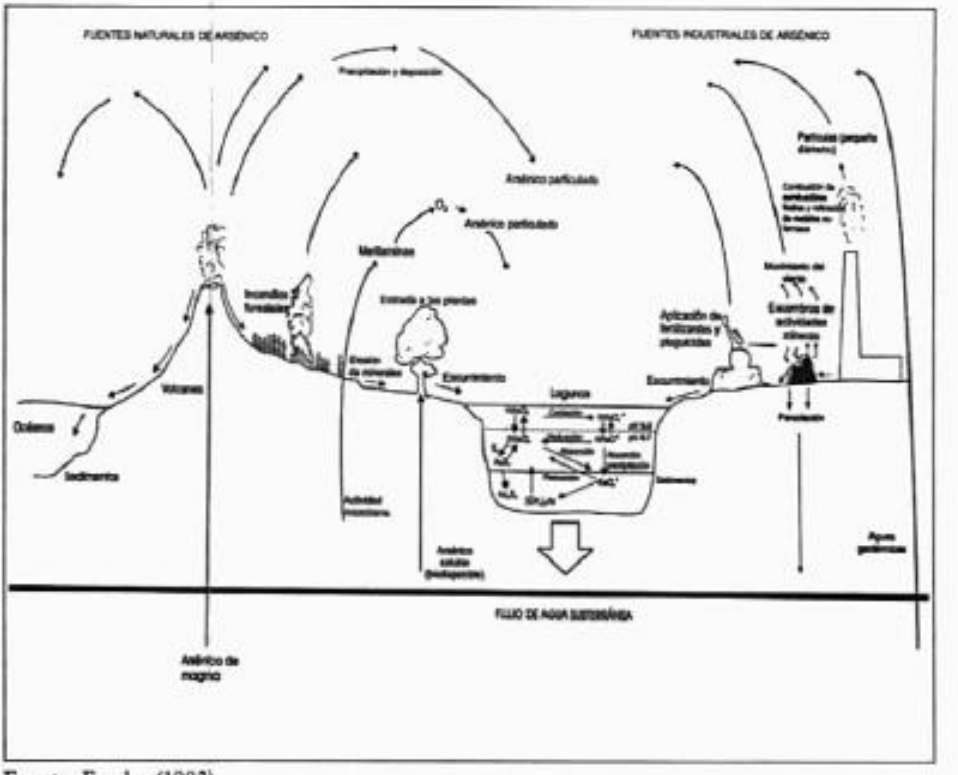
Introducción

El arsénico es un elemento distribuido ampliamente en el ambiente y se encuentra de manera natural en la corteza terrestre aproximadamente a niveles del 0.0001%. Este metaloide se moviliza en el ambiente por una combinación de procesos naturales, entre los principales; el metabolismo bacteriano, la erosión, y las emisiones volcánicas, además de actividades antropogénicas; como la minería, la utilización de plaguicidas, la producción de pigmentos para pinturas y colorantes y la combustión de combustibles fósiles, entre los más importantes (figura 1). El arsénico inorgánico se ha considerado la forma más abundante de éste elemento en agua y se le puede detectar en agua subterránea y superficial, así como en alimentos (Roberge *et al.*, 2012; Meza *et al.*, 2004).

El arsénico es clasificado como un conocido carcinógeno humano y se encuentra dentro de los 20 materiales más peligrosos clasificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América (USA, 2001). La exposición ambiental a arsénico es un grave problema de salud pública ya que afecta a millones de personal en el mundo (Gomez-Rubio *et al.*, 2011). El nivel máximo permisible de arsénico en agua de consumo en USA ha sido reducido de 50 µg/L a 10 µg/L basados en estudios

epidemiológicos realizados en Taiwan, en poblaciones crónicamente expuestas a concentraciones elevadas de este metaloide ya que estas investigaciones mostraron una asociación entre exposición a arsénico y desarrollo de cáncer de piel, vejiga y pulmón (Chiou *et al.*, 1995). Por otro lado, en México, la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA-1994) actualmente especifica niveles de arsénico en agua de consumo de 25 µg As/L, y debido a que la mayoría de los reportes sobre estudios de arsénico en poblaciones expuestas a través del agua potable han sido realizadas en zonas endémicas donde los niveles han sido muy altos (> 100 µg As/L), es necesario realizar mayor investigación en poblaciones expuestas crónicamente pero a bajos niveles de este metaloide, para conocer sus efectos a largo plazo, ya que el destino del arsénico en las poblaciones expuestas y los efectos adversos de este metaloide pueden ser asociadas con la exposición crónica a bajos niveles (Kurttio *et al.*, 1998; Meza *et al.*, 2004).

Figura 1. Ciclo de arsénico en el ambiente



Fuente: Fowler (1983).

El arsénico en orina es generalmente considerado como el indicador más confiable de exposición reciente a arsénico inorgánico y se usa como el principal biomarcador de exposición (Meza-Montenegro *et al.*, 2008). Sin embargo, debido a la toxicidad de varios metabolitos de arsénico, la especiación de éste en orina se considera indispensable para la evaluación del riesgo a la salud, si se compara sólo con la medición del arsénico total en la misma (Chowdhury *et al.*, 2003). Las especies de arsénico inorgánico, arsenato y arsenito, son considerados de mayor toxicidad aguda que las especies orgánicas pentavalentes de arsénico MMA y DMA (Aposhian, 2000). Estudios recientes evidencian que el MMA (III) presenta mayor toxicidad aguda que arsenito y que el DMA (III) es tan citotóxico como el arsenito (Styblo, *et al.*, 2000; Burgess *et al.*, 2007).

El riñón como blanco de toxicidad a arsénico

Los efectos del arsénico sobre el riñón son muy importantes; primero, en individuos expuestos, la mayor parte del arsénico es excretado en la orina (USA, 2001), como consecuencia, éste órgano recibe una significativa exposición a éste tóxico, aún después de exposiciones moderadas. Inmediatamente después de la exposición a arsénico (30 min), la acumulación de As (III) y As (V) puede ser detectada en el riñón. Esta acumulación es temporal, ya que el riñón no acumula compuestos de arsénico. La toxicidad del arsénico ya ha sido demostrada a concentraciones elevadas, pero sus efectos a dosis bajas no son claros, de ahí la importancia del presente estudio.

Además del efecto tóxico directo del arsénico sobre el riñón, su estudio es de interés por la asociación entre exposición a As (III) y cáncer de vejiga (Hopenhayn-Rich *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 2002). Probablemente el metabolismo renal, bioactiva ciertos compuestos de arsénico antes de que éstos alcancen la vejiga. Finalmente, debido a su función en la formación de la orina y cambios moleculares en el riñón, éste provee biomarcadores detectables y potencialmente favorables.

Blancos moleculares de toxicidad de arsénico

Es generalmente aceptado que el arsenito es tóxico debido a su capacidad de enlazarse a los grupos sulfhidrilo (SH), por los que tiene gran afinidad, resultando en inhibición de funciones celulares, incluyendo la respiración y el metabolismo. El arsenito es tóxico debido a su habilidad de desacoplar la fosforilación oxidativa por sustituir al fósforo en la síntesis del ATP. A diferencia del arsenito, el arsenato no

puede unirse directamente a las proteínas o péptidos, sin embargo, dado que el arsenato puede ser reducido a arsenito, como consecuencia, la oxidación de los grupos sulfhidrilo y daño a las proteínas, puede ser también el resultado de la exposición a arsenato.

A pesar del gran número de estudios epidemiológicos existentes a la fecha, el mecanismo específico de toxicidad del arsénico a bajos niveles de exposición aún no es claro. A concentraciones elevadas el arsenito inhibe numerosas enzimas, induce la generación de especies reactivas de oxígeno, estimula la transducción de señales y altera la expresión genética (Kitchin, 2001). Sin embargo, a bajos niveles los efectos de éste metaloide no están bien establecidos. Existes escasas hipótesis para explicar el mecanismo de acción a concentraciones bajas, éstas incluyen la inhibición de proteínas o enzimas, inducción de estrés oxidativo, alteraciones en la expresión genética, disminución en las enzimas de reparación del ADN, entre los más importantes (Kitchin, 2001; NCR, 2001).

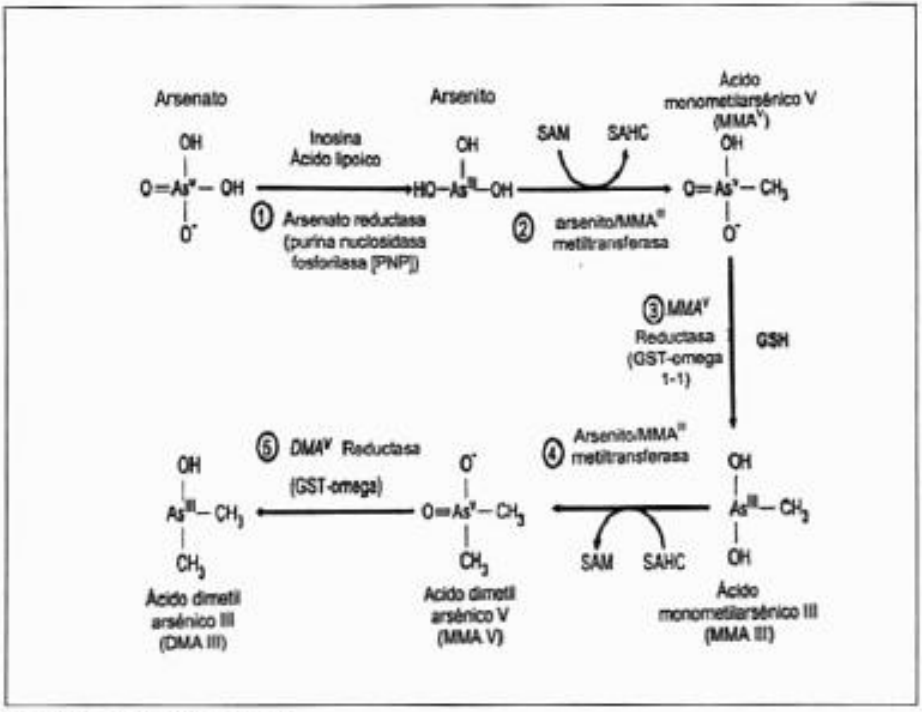
A otro nivel, el arsénico es capaz de producir numerosas perturbaciones en modelos experimentales, incluyendo citotoxicidad, proliferación celular, inhibición o activación de la actividad enzimática y clastogénesis, efectos experimentales en vivo incluyen carcinogénesis transplacentaria y disrupción endocrina (Bredfeldt *et al.*, 2006; Meza *et al.*, 2007). Estudios realizados en poblaciones adultas, han reportado que la capacidad de metilación juega un papel importante en determinar la susceptibilidad a los efectos de la salud producidos por este metaloide, se ha relacionado que altos niveles de MMA incrementa el riesgo de cáncer (Yu *et al.*, 2000; Concha *et al.*, 2002; Steinmaus *et al.*, 2007). Sin embargo, hay solo un reporte de niños en México que mostró que el incremento en la exposición de arsénico a través de agua potable (> 50 µg/L), resultó en un aumento en el porcentaje de MMA y el por ciento de arsénico inorgánico excretado en orina (Del Razo *et al.*, 1999).

Biotransformación de arsénico

El arsénico es fácilmente interconvertido entre varias formas inorgánicas y metiladas (figura 2). La disposición de los compuestos de arsénico juega un papel muy importante en sus efectos fisiológicos y toxicológicos. Una constante interconversión entre As (v) y As (iii) existe dentro de muchas células. El superóxido y el peróxido de hidrógeno, producidos como bioproductos del metabolismo de la xantina oxidasa y otros procesos, son responsables de la oxidación de As (iii) a arsénico (v). En contraste la reducción de As (v) a As (iii) es realizada por la enzima purina nucleosidasa fosforilasa (o también conocida como arsenito reductasa o HNP). Esta

reacción puede ocurrir independientemente del glutatión reductasa (GSH), pero requiere un ditiol como agente reductor como el ácido hidrolipólico. El As (III), pero no el As (V), puede ser subsecuentemente metilado a la forma MMA (V), reacción catalizada por el arsenito metiltransferasa, la cual utiliza S-adenosil-metionina (SAM) (Zakharyan *et al.*, 1995). El MMA (V) puede ser reducido a MMA (III), por la enzima MMA (V) reductasa, recientemente identificada como glutatión-S-transferasa omega (GST w) para producir la especie trivalente DMA (III). En adición al proceso descrito, muchos de esos procesos enzimáticos son catalizados en dirección inversa. Las actividades combinadas de éstas enzimas multifuncionales incluyen también su papel como transportadoras, las cuáles mantienen el equilibrio de los metabolitos del arsénico dentro de las células.

Figura 2. Biotransformación del arsénico inorgánico



Fuente: Marnell *et al.* (2003).

Los metabolitos de la biotransformación del arsénico son ácido momometil arsénico, MMA (III), ácido monometil arsénico, MMA (V), ácido dimetil arsénico, DMA (III), ácido dimetil arsénico, DMA (V), así como también una concentración residual de arsenato y arsenito (Aposhian *et al.*, 2000).

Biomarcadores de exposición a arsénico

Los biomarcadores más comunes empleados para identificar o cuantificar la exposición a arsénico son: arsénico total y sus especies en orina, pelo, uñas y sangre. El arsénico en pelo y uñas se acumula en su forma trivalente en tejidos ricos en queratina, tales como piel, pelo y uñas. Por lo tanto, concentraciones altas de éste metaloide se encuentran en éstos tejidos, comparados con otras partes del cuerpo. La ventaja que presenta éste tipo de muestras es que el muestreo es no-invasivo, aunque éstas pueden sufrir contaminación externa. El contenido de arsénico en las uñas de las manos y los pies ha sido usado como un bioindicador de exposición pasada (en un período de 6 a 12 meses). Se han reportado valores normales de arsénico en uñas, en el rango de 0.02 a 0.05 mg/kg (Takagi *et al.*, 1988). En personas no expuestas se han reportado niveles de arsénico en pelo en el rango de 0.02 a 0.20 mg/kg (Valentine *et al.*, 1979; Kurttio *et al.*, 1998). Estos valores se incrementan en personas expuestas a niveles altos a través del agua de consumo.

Las concentraciones de arsénico en sangre, han sido poco utilizadas como un biomarcador de exposición, ya que el tiempo que permanece en sangre, es sólo un par de horas. Además, la sangre es una matriz compleja para realizar el análisis químico. Los valores típicos en personas no expuestas son menores a 1.0 µg As/L (Valentine *et al.*, 1979). Los niveles de arsénico determinados en sangre no son indicadores confiables de exposición crónica a bajos niveles. En personas expuestas a arsénico en el norte de Argentina, el valor promedio de arsénico total en sangre fue de 10 µg/L (Concha *et al.*, 1998).

La determinación de los niveles de arsénico en orina son generalmente aceptados como el biomarcador mas confiable de exposición reciente. La mayor parte del arsénico que es absorbido por los pulmones y el tracto gastrointestinal, es excretado por la orina en un periodo de 1 a 2 días. La vida media del arsénico inorgánico en humanos es de aproximadamente de 4 días, ya que éste es rápidamente metabolizado en el hígado y excretado en orina, su determinación en éste fluido biológico es el mejor indicador de exposición reciente. Los niveles de arsénico total y la suma de sus metabolitos en orina [As (V) + As (III) + MMA (III) + MMA (V), DMA (III) + DMA (V)], han sido tradicionalmente empleados como biomarcadores de exposi-

ción reciente (Vahter, 1994). Es importante mencionar que las formas metiladas trivalentes de arsénico (MMA y DMA) fueron detectadas en la orina del 17% de los participantes de un estudio para evaluar la exposición a arsénico a través del agua de consumo en residentes de Rumania (Aposhian *et al.*, 2000). En estudios anteriores, la determinación de arsénico total en orina se usó como biomarcador de exposición, pero actualmente éste acercamiento se ha hecho menos común, ya que ciertos organoarsenicales (arsenobetaína y los arsenoazúcares), prácticamente no tóxicos, están presentes en cantidades importantes en ciertos productos marinos como el pescado, crustáceos y organismos bivalvos, siendo excretados sin cambios en la orina. Como consecuencia, la evaluación de la exposición a arsénico inorgánico bajo éstas condiciones puede resultar en una sobre-estimación usando la medición de arsénico total, la mayoría de los estudios recientes cuantifican la suma de los metabolitos de éste metaloide en orina como indicador de exposición reciente. Los valores normales reportados para arsénico total en orina son menores a 50 µg As/L, en la ausencia de alimentos marinos, los valores que exceden 200 µg As/L, son considerados anormales (ATSDR, 1993).

Típicamente el arsénico inorgánico ingerido es excretado en orina como: arsénico inorgánico (10-20%), ácido monometilarsénico (10-15%) y ácido dimetilarsénico (60-75%). Sin embargo, hay una considerable variabilidad y diferencias importantes de la capacidad de la metilación de arsénico entre poblaciones adultas, asociadas a variables tales como; edad, estado nutricional, diversas exposiciones ambientales y factores genéticos (Yu *et al.*, 2003). La variación entre poblaciones es más marcada para el metabolito MMA comparado al DMA (NRC, 2001). Existen estudios que sugieren, que polimorfismos genéticos en las enzimas que participan en la biotransformación del arsénico, causan variaciones en la metilación del mismo ya que se ha observado que diferentes grupos étnicos expuestos a las mismas concentraciones de este metaloide presentan diferentes efectos a la salud y diferente perfil de excreción en orina (Meza *et al.*, 2004).

En el Suroeste de USA y Norte de México, la exposición de arsénico a través del agua potable está principalmente restringida a las poblaciones hispanas. En Sonora, situado en el norte de México, se han reportado niveles altos de arsénico total en el agua potable de pozos de Magdalena, Caborca, Etchojoa y Hermosillo, con concentraciones de 117, 67, 51 y 305 µg As/L respectivamente (Wyatt *et al.*, 1998). Muchos de éstos pozos con el paso del tiempo han dejado de funcionar o están inhabilitados, como es el caso de los que se estudiaron en algunas colonias de Cd. Obregón.

Por otro lado no existen datos acerca de los niveles de arsénico en los principales pozos de agua potable del Valle del Yaqui, por lo que no se conoce el nivel de exposición de la población a éste metaloide a través del consumo de agua. Además, no existe

información referente a los niveles de arsénico excretados en la orina de los residentes del lugar, ni se ha caracterizado su perfil de excreción.

Otro aspecto importante, es que existen muy pocos reportes realizados en poblaciones expuestas a concentraciones bajas de arsénico a través del agua. La mayoría de las investigaciones realizadas a nivel mundial y nacional se han llevado a cabo en poblaciones expuestas a niveles elevados, donde la contaminación del agua con arsénico es un problema endémico y como consecuencia, las personas residentes de éstos lugares presentan manifestaciones clínicas causadas por la exposición a éste metaloide. Dos de esos estudios muestran que los niños tienen mayor capacidad para metabolizar el arsénico inorgánico comparado con los adultos (Chowdhury *et al.*, 2006; Sun *et al.*, 2007).

Los niños con frecuencia son el grupo social mas vulnerable a los diversos contaminantes ambientales debido a su inmadurez fisiológica, susceptibilidad genética y exposiciones ambientales durante periodos criticos de su desarrollo, siendo posible que contribuyan a provocar efectos adversos a la salud durante su niñez y posteriormente en otros estadios de su vida. Reportes recientes muestran que la exposición de los niños a arsénico puede ser relacionada a efectos neurológicos y renales (Von Ehrenstein *et al.*, 2007).

Los residentes del Valle del Yaqui, se caracterizan por ser una población estable, que radica casi toda su vida en el mismo lugar, por lo que la convierte en un grupo de estudio ideal para investigar los posibles problemas a la salud que podria ocasionar el consumo de agua con niveles por debajo de los 50 µg As/L a largo plazo, antes que las evidencias clínicas se manifiesten. Por lo anterior, el propósito de éste estudio fue determinar el perfil de excreción de los metabolitos de arsénico en la orina de niños de comunidades del sur de Sonora expuestos a bajos niveles de arsénico a través del agua de consumo de su localidad.

Estudio de campo

La consideración de los aspectos éticos en estudios poblacionales son obligatorios para asegurar la protección e integridad de los participantes del estudio, y aún las reglamentaciones de éstos organismos son mas estrictas cuando se incluyen grupos vulnerables, como lo son los niños. El protocolo de ésta investigación fue aprobado por los comités de ética de la Universidad de Arizona y de la Secretaría de Salud Pública del Estado de Sonora, obteniendo dos formas de consentimiento; una firmada por el menor y la otra por su padre o tutor, como una garantía de su participación voluntaria. En el estudio se seleccionaron cuatro poblados del sur de

Sonora para ser incluidos, Esperanza y Cocorit situados al Norte del Valle del Yaqui y el Campo 47 y Pueblo Yaqui situados en el centro. En cada uno de éstos pueblos la única fuente de agua de consumo fue el pozo de la localidad con niveles de arsénico inorgánico en el rango de 5.5-39.9 µg/l (cuadro 1). El estudio fue realizado en 50 niños, seleccionados al azar de diferentes hogares de cada comunidad, teniendo como criterios de inclusión el consumo de agua de la llave, además de tener entre 9 y 11 años de edad. A cada participante se le solicitó que excluyera de su dieta el consumo de alimentos marinos al menos 3 días antes de realizar el muestreo de orina. También se aplicaron cuestionarios para obtener información demográfica, recabando además, información relacionada a su salud, hábitos alimenticios y tiempo de residencia en el lugar. Tomando en cuenta, que una de las principales rutas de exposición a arsénico es el agua de consumo, se muestreó agua de cada pozo de la localidad. Las muestras se recolectaron y almacenaron en botes de plástico como se reporta previamente por Meza *et al.* (2004), ante de que el análisis de arsénico total fuera realizado.

Cuadro 1. Características generales y dosis de exposición oral a arsénico a través del agua de consumo en niños del sur de Sonora

Niños					
Localidad	*Esperanza (n=10)*	*Cocorit (n=11)*	*Pueblo Yaqui (n=14)*	*Campo 47 (n=15)*	*[a]valor P*
Sexo					
Masculino (%)	(50)	(55)	(50)	(60)	
Femenino (%)	(50)	(45)	(50)	(40)	
Edad promedio y rango (años)	8.8 (7-11)	9.3 (9-11)	9.4 (7-11)	9.3 (7-11)	0.726
Tiempo promedio de residencia y rango.	8.3 (3-11)	7.4 (1-11)	7.4 (3-11)	8.6 (3-11)	0.543
Promedio de As total en el agua de pozo (µg /L)	39.9±0.1	16.8±.1	7.3±.2	5.5±0.1	
Dosis de exposición oral (µg/kg-día)	[a]2.7 ± 1.3	0.73 ± 0.28	0.50 ± 0.12	0.25 ± 0.07	0.0001

Fuente: Meza-Montenegro y colaboradores (2008). [a]Diferencia estadísticamente la significativa entre Pueblo Yaqui, Cocorit y Campo 47 (Bonferroni < .05). [b]Prueba de ANOVA.

Para evaluar el perfil de metilación o biotransformación del arsénico, se recolectó la primera orina de la mañana de los niños, en recipientes de plástico de 100 mL, colocándose en hieleras para su transporte al laboratorio del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) para su posterior almacenamiento a -40 °C, hasta que el análisis de arsénico total y sus especies fue realizado.

Los análisis de arsénico total en las muestras de agua se llevaron a cabo por duplicado de acuerdo al método de la EPA 3015 realizando algunas modificaciones; el volumen de muestra fue de 3.0 mL y la concentración de ácido nítrico usado fue al 25% w/v. Las muestras de orina también se analizaron por duplicado, procediendo a su procesamiento acorde a la metodología reportada por (Francesconi *et al.*, 2002). El arsénico total y sus metabolitos (As III, AS V, MMA V y DMA V) fueron analizados empleando un equipo HPLC marca Agilent modelo 1100 y un detector ICP-MS Agilent 7500a Los parámetros de operación del equipo fueron los siguientes; R_f power, 1500 W; flujo del plasma, 15 L/min; y flujo del gas acarreador, 1.2 L/min. El arsénico fue medido a 75 m/z. Para el análisis de las especies de arsénico en orina las muestras fueron descongeladas, diluyéndose al doble, utilizando agua grado Milli-Q y filtrándose a través de un filtro Millex-HV filter (0.45 µm, Millipore) antes de la inyección. El equipo utilizado fue un HPLC marca Agilent modelo 1100 (Agilent Technologies, Inc.) con una columna C18 (Prodigy 3 mm ODS (3), 150 x 4.60 mm, Phenomenex, Torrance, CA), y un detector ICP-MS Agilent 7500a para el análisis de las cuatro especies de (As III, As V, MMA V, y DMA V). El control de calidad utilizado durante la realización de los análisis químicos es indispensable para asegurar resultados confiables, por lo que; los límites de detección, precisión y exactitud de éstos métodos analíticos, fueron realizados como previamente se reporta por Meza *et al.* (2004). De forma adicional se utilizaron muestras de orina de referencia (Institut National de Santee Publique Quebec, Quebec, Canada), conteniendo As(III), MMA(V), and DMA(V), obteniendo recuperaciones de éstas especies en el rango del 80-109 por ciento.

El promedio de la dosis de exposición oral a éste metaloide proveniente del agua de consumo de los niños se calculó utilizando el volumen total de agua ingerida por día, su concentración de arsénico en la misma, y el peso de cada participante (cuadro 1). En éste cuadro se observa que las comunidades de Esperanza y Cocorit, tuvieron concentraciones de 39.9 ± 0.07 y 16.8 ± 0.1 µg As/L en el agua de pozo respectivamente, valores por arriba del establecido por la EPA, de 10 µg As/L. Pueblo Yaqui y el Campo 47 presentaron promedios por debajo ésta norma, de 7.3 ± 0.2 y 5.5 ± 0.07 µgAs/L, respectivamente. Todos los participantes tuvieron características comunes respecto a la edad, sexo, altura y tiempo de residencia. El promedio de consumo de agua por los niños fue de 2.0

L/dia (rango 1.5-3.5 L), éste valor fue utilizado para calcular la ingesta de agua diaria por niño, observando que los participantes de Esperanza tuvieron la dosis de exposición oral a arsénico mas alta a través del agua de consumo, comparada con los otros pueblos con un valor de 2.7 ± 1.3 µg As/kg ($P< 0.0001$).

Los niños de Esperanza con la dosis oral mas alta por exposición a arsénico a través del agua de consumo tuvieron las concentraciones mas altas en la orina (suma de las especies de arsénico), con valores de 99.1 µg/L (cuadro 2). La excreción de arsénico en la orina de los niños fue moderadamente asociada con la concentración de arsénico en el agua de consumo ($r = 0.5123$; $P = .0001$). Los niños residentes de Cocorit, Pueblo Yaqui y Campo 47, con concentraciones diferentes en el agua, no tuvieron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de arsénico excretadas en la orina de los niños de las otras comunidades ($P> 0.05$).

El DMA fue la principal especie de arsénico excretada por los participantes, seguida por arsénico inorgánico y MMA (cuadro 2). Aunque los niños de Esperanza tuvieron la más alta concentración de arsénico en agua (39.9 µg As/L), los niños de esa comunidad tuvieron significativamente una proporción mas baja de arsénico inorgánico con un valor de 16.3 por ciento. Los residentes de Pueblo Yaqui y Campo 47, con niveles de arsénico (<10 µg As/L), tuvieron proporciones de arsénico inorgánico mayores al 30 por ciento. Los niños de Esperanza presentaron el mayor porcentaje de MMA, con el 8.4% y esta proporción fue estadísticamente diferente ($P = .0280$) al Campo 47, el cual presentó un porcentaje muy bajo, del 4.4 por ciento.

Cuadro 2. Niveles y distribuciones relativas de las especies de arsénico en orina en niños crónicamente expuestos a bajas concentraciones a través del agua de consumo (intervalo de conf anza del 95 por ciento)

Niños											
Medición	*Esperanza (n= 10)*		*Cocorit (n= 11)*		*Pueblo Yaqui (n=14)*		*Campo 47 (n=15)*		*Total (n=50)*		*Valor "P"*
	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	Media	Rango	
Arsénico total (µg/L)	95.4[a]	(67.0-136.0)	23.6	(16.0-34.8)	31.6	(24.5-40.8)	38.7	(26.7-52.9)	39.3	(31.9-48.2)	0.0001
As inorgánico	16.2[b]	(11.0-23.7)	4.0[d]	(2.5-6.2)	8.7	(5.5-13.9)	11.2	(5.5-22.6)	8.9	(6.7-11.9)	0.6028
DMA V	72.9[b]	(51.3-103.6)	17.3	(10.3-29.0)	15.0	(10.1-22.3)	17.0	(12.0-24.0)	22.0	(17.2-28.3)	0.0001
MMA V	8.3[b]	(4.7-14.5)	1.6	(1.0-2.4)	1.8	(1.3-2.6)	1.4	(0.93-2.2)	2.2	(1.7-2.9)	0.0001
Suma de las especies de As (µg/L)	99.1[a]	(70.0-141.0)	23.1	(14.1-37.7)	28.2	(19.6-40.6)	32.6	(20.1-52.9)	36.2	(28.3-46.4)	0.0001
Proporciones relativas											
% As inorgánico	16.3[a]	(13.0-20.4)	17.2[a]	(14.2-20.7)	31.0	(22.1-43.4)	34.9	(26.1-46.8)	24.8	(21.1-29.1)	0.0001
%MMA	73.5[a]	(69.5-77.7)	74.7[a]	(70.6-79.1)	53.3	(42.6-66.8)	52.1	(41.6-65.1)	69.8	(55.1-67.1)	0.0450
%DMA	8.4[a]	(6.0-11.6)	6.8	(5.3-8.7)	6.5	(4.5-9.3)	4.4	(3.1-6.1)	6.1	(5.2-7.2)	0.0280
MMA/DMA[g]	0.11	(0.08-0.16)	0.09	(0.07-0.12)	0.12	(0.09-0.16)	0.08	(0.06-0.11)	0.1	(0.09-0.12)	0.3561

Fuente: Meza-Montenegro *et al.* (2008). Suma de las especies de As; As +MMA+ DMA; arsénico inorgánico ($As^{+3} + As^{+5}$); MMA, monometilarsenato; DMA, dimetilarsenato. Proporciones relativas de las especies de As (% MMA, %DMA, %As). Porcentaje de la especie de arsénico/suma de todas las especies de arsénico. [a] Prueba ANOVA. [b] Diferencia estadísticamente significativa con Cocorit, PY y Campo 47 (Bonferoni < 0.05). [c] Diferencia estadísticamente significativa con Cocorit (Bonferoni < 0.05). [d] Diferencia estadísticamente significativa con Campo 47(Bonferoni < 0.05). [e] Diferencia estadísticamente significativa con PY y Campo 47 (Bonferoni < 0.05). [f] Diferencia estadísticamente significativa con Campo 47 (Bonferoni < 0.05). [g] Relación del primer paso al segundo en la metilación de arsénico inorgánico.

Las concentraciones de arsénico en el agua de pozo de Esperanza y Cocorit estuvieron 4.0 y 1.7 veces por arriba del nivel máximo establecido por la EPA (Smith, *et al.*, 2002). Comparando los resultados obtenidos con la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1, 1994) que estipula un valor máximo de 25 µg As/L para el agua de consumo humano, solamente Esperanza tuvo una concentración 1.6 veces arriba de este valor máximo permisible. La exposición a arsénico a través del consumo de agua, puede ser evaluada en términos de dosis oral diaria. La EPA-IRIS (1998), sugiere un rango de exposición diario o dosis (RFD) de 0.3 µg As/kg-day en poblaciones humanas, valor en el que no se presenten riesgos en la salud. Los niños de Esperanza, Cocorit y Pueblo Yaqui están expuestos de 9.0 a 1.7 veces por arriba de este valor de referencia (cuadro 2). Es importante mencionar que aunque los niños de éstas comunidades han estado expuestos a dosis altas de arsénico a través del agua, ninguno de éstos mostró ninguna manifestación clínica asociada a la exposición de éste metaloide.

A bajos niveles de exposición a arsénico, y en contraste con la mayoría de los reportes, los niños en nuestro estudio tuvieron proporciones muy bajas de MMA (4.4-8.4%), y los niños Pueblo Yaqui y Campo 47 tuvieron los mas altos porcentajes de arsénico inorgánico (31-34.9%) y mas baja proporción de DMA (52.1-53.3%), comparado con los "porcentajes de rangos regulares" reportados (Concha *et al.*, 2002). Por ejemplo, Kalman *et al.* (1990), reportaron en niños de USA (n=158) porcentajes de 13 de arsénico inorgánico, 16 MMA y 71 DMA. Chowdhury *et al.* (2003) reportaron en niños de Bangladesh (n=18) porcentajes de 16.8 para arsénico inorgánico, 10.7 para MMA y 73.2 para DMA, mientras Sun *et al.* (2007) detectaron del 12-17% de arsénico inorgánico, del 11-13.5% de MMA y del 68-73% de DMA, en niños de Mongolia, China. A niveles de exposición mayores a 17 µg As/L, los niños de Esperanza tuvieron los porcentajes más altos de MMA en orina (8.4%), y porcentajes normales de DMA (73.5%) y arsénico inorgánico (16.3%), pero a niveles menores de arsénico (< 10 µg/L), los niños de Pueblo Yaqui y Campo 47 tuvieron los porcentajes más altos de arsénico inorgánico y las proporciones mas altas de MMA y DMA (cuadro 2). Resultados similares fueron observados por Concha *et al.* (1998) en niños indígenas de dos localidades de Argentina expuestos a niveles altos de arsénico en su agua de consumo (214 y 193 µg/L).

Del Razo *et al.* (1999) reportaron el efecto de la dosis en la metilación del arsénico en niños de la Comarca Lagunera, México. Encontraron un incremento en los porcentajes de arsénico inorgánico y MMA, con un decremento del porcentaje DMA cuando la exposición a arsénico a través del agua incrementó de 100 a 1100 µg As. Sin embargo, en la literatura nosotros encontramos resultados contradictorios, estudios recientes presentan que niños de China disminuyeron el porcentaje de MMA

cuando su exposición incrementó del 90 a 160 μgAs/L, lo cual muestra que un incremento en la dosis de exposición a arsénico no siempre disminuye la capacidad de los niños para metilar el arsénico inorgánico (Sun *et al.*, 2007). Además, en nuestro estudio, los porcentajes de MMA disminuyeron cuando la exposición a este metaloide bajó de 40 a 5.5 μg/L. Estos resultados sugieren que los factores genéticos quizá tengan una mayor contribución que los factores ambientales en la variabilidad de la metilación o biotransformación del arsénico entre individuos y poblaciones (Marnell *et al.*, 2003; Meza *et al.*, 2004; Chung *et al.*, 2002).

Conclusiones

Los niños del sur de Sonora, expuestos a bajos niveles de arsénico en el agua de consumo excretaron bajos porcentajes de MMA en orina, con una gran variabilidad en la metilación de éste metaloide, y ésta fue parcialmente explicada por la concentración de arsénico en el agua, tiempo de residencia y edad, esto quizá refleje diferencias genéticas en las enzimas que intervienen en la biotransformación del arsénico o mayor contribución de otras rutas de exposición al mismo (como dieta, inhalación de polvos, suelo, entre otros). Los bajos porcentajes de MMA en orina de los niños de nuestros estudio a exposiciones menores a 50 μg As/L, probablemente los protege de la toxicidad inducida por este metaloide.

Sobre los autores

María Mercedes Meza Montenegro, José de Jesús Balderas Cortés, Iram Mondaca Fernández, Roberto Rodríguez Ramírez. Instituto Tecnológico de Sonora, Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias. 5 de febrero 818 sur, col. Centro, C.P. 85000, tel. (644) 4109000 ext. 2105, correo electrónico mmeza@itson.mx.

Referencias

Aposhian, H.v., E. S. Gurzau, X. C. Le, A. Gurzau, S. M. Healy, X. Lu, M. Ma, L. Yip, R. Zakharyan, R. M. Maiorino (2000), "Occurrence of monomethylarsonous acid in urine of humans exposed to inorganic arsenic", Chem. Res. Toxicol. 13, pp. 693-697.

ATSDR (1993), *Toxicological Profile for Arsenic. Atlanta, Georgia, Agency for Toxic Substances and Diseases registry*, U.S. Departmenth of Health and Human Services, TP-92/02.

Burgess, J., M.M. Meza, A.B. Josyula, G.S. Poplin, M. J. Kopplin, H. E. Mcclellen, S. Stürup, R. C. Lantz (2007), "Environmental arsenic exposure and urinary 8-OHdG in Arizona and Sonora", *Clinical Toxicology*, 45, pp. 490-498.

Bredfeldt, T.G., B. Jadadish, K. E. Ebli, A. J. Gandolfi (2006), "Monomethyarsonous acid induces transformation of human bladder cells", *Toxicology and Applied Pharmacology*, 216, pp. 69-79.

Chiou, HY., Y. M. Hsueh, K. F. Liaw, S.F. Horng, M. H. Chiang, Y. S. Pu, J. S. Lin, C. H. Huang, C. J. Chen (1995), "Incidence of internal cancers and ingested inorganic arsenic: a seven year follow up study in Taiwan", *Cancer Res.*, 5, pp. 1296-1300.

Chowdhury U.K., M. M. Rahman, M. K. Segunpta, D. Lodth, C. R. Chanda, S. Roy, Q. Quamruzzaman, H. Tokunaga, Ando and D. Chakraborti (2003), "Pattern of excretion of arsenic compounds (arsenite, arsenate, MMA V, DMA V) in urine of children compared to adults from arsenic exposed area in Blangadesh", J. Environ, Sci and Health, 38, pp. 87-113.

Chung, J.S. D.A. Kalman, L.E. Moore, M. J. Kosnett, A. P. Arroyo, M. Beeris, D.N.G. Mazumder, A. L. Hernandez, A. H. Smith (2002), "Family Correlations of Arsenic Methylation Patterns in Children and Parents Exposed to High Concentrations of Arsenic in Drinking Water", Environ. Health. Perspect, 110, pp. 729-733.

Concha, G., G. Vogler, B. Nermell (2002), *Intra-individual variation in the metabolism of inorganic arsenic*, Int. Arch. Environ Health, 75, pp. 576-580.

Concha, G., B. Nermell and M. Vather (1998), *Metabolism of inorganic arsenic in children with chronic high arsenic exposure in Northern Argentina*, Environ Health Perspect, 106 (6), pp. 355-359.

Del Razo, L.M., G. Garcia-Vargas, M. C. Hernandez, Gómez-Muñoz and M.E. Cebrian (1999), "Profile of urinary arsenic metabolites in children chronically exposed to inorganic arsenic in México" en W. R. Chappel, C.O. Abernathy and R. L. Calderon, Arsenic Exposure and Health Effects, Oxford, Elsevier, pp. 281-287.

EPA (US Environmental Protection Agency) (1998), IRIS *online file Arsenic, Inorganic: CASRN 7440-38-2*, 4/10/98, 0278.

EPA (US Environmental Protection Agency) (1995), *Method 3015 (SW-846). Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous sample and Extracts in Test Methods for Evaluating Solid Waste*, 3 edition, 3 update, EPA, Washington.

Francesconi, K. A., R. Tanggaard, C. J. McKenzie, W. Goesser (2002), *Arsenic metabolites in human urine after ingestion of an arsenosugar*, Clin Res 48, 1, pp. 92-101.

Fowler, B.A. (1983), "Mobilization of arsenic by natural and industrial processes" en B.A. Fowler (editor), *Biological and Environmental Effects of arsenic*, Elsevier, Research triangle Park, North Carolina, USA, pp. 1-7.

Gomez-Rubio, P., J. Roberge, L. Arendell, R. B. Harris, M. k. O'Rourke, Z. Chen, E. Cantu-Soto, M. Meza-Montenegro, D. Billheimer, Z. Lu, W. T. Klimecki (2011), "Association between body mass index and arsenic methylation effiency in adult women from southwest U.S. and northwest Mexico", *Toxicology and Applied Pharmacology*, 252, pp. 176-182.

Hopenhayn-Rich, C., M. L. Biggs, A. H. Smith, D. A. Kalman, L. E. Moore (1996b), *Methylation study of a population environmentally exposed to arsenic in drinking water*, Environ Health Perspect, 104(6), pp. 620-627.

Kalman, D.A., J. Hughes, G. Van Belle, T. Burbacher, D. Bolgiano, K. Coble, N. K. Mottet, and L. Polissar (1990), *The effect of variable environmental arsenic contamination of urinary concentrations of arsenic species*, Environ Health Perspect, 89, pp. 145-151.

Kitchin, K.T. (2001), "Recent advances in arsenic carcinogenesis: Modes of action, animal model systems, and methylated arsenic metabolites", *Toxicology and Applied Pharmacology*, 172, pp. 249-261.

Kurttio P.H., E. Komulainen, H. Hakala, Kehelin and J. Pekkanen (1998), *Urinary excretion of arsenic species after exposured to arsenic present in drinking water*, Arch. Environ. Contam, Toxicol, 34, pp. 2979-305.

Marnell, L., G. Garcia-Vargas, U. Chowdhury, R. Zakharyan, B. Wash, M. Avram, M. Kopplin, M. Cebrian, E. Silbergeld and H.v. Aposhian (2003), "Polymorphisms in the human monomethyarsonic acid (MMA^V) reductase/HHGST01 gene and changes in urinary arsenic profiles", Chem. Res. Toxicol, 16, pp. 1507-1513.

Meza M.M, M.J. Kopplin, J. L. Burgess and A. J. Gandolfi (2004), *Arsenic drinking water exposure and urinary excretion among adults in the Yaqui Valley*, Sonora México. Environ Res96, pp. 119-126

Meza, M., A. J. Gandolfi, W. T. Klimecki (2007), "Developmental and genetic modulation of arsenic biotransformation: A gene by environmental interaction?", *Toxicology and Applied Pharmacology*, 222(3), pp. 381-387.

Meza-Montenegro, M.M., M. J. Kopplin, J. L. Burgess, A. J. Gandolfi (2008), "Urinary arsenic methylation profile in children exponed to low arsenic levels through drinking water", *Toxicological and Environmental Chemestry*, 90(5), pp. 957-970.

USA (National Research Council) Update (2001), *Arsenic in drinking water*, National Academic Press, Washington, DC.

NOM-127-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana) (2000), "Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad", Diario Oficial de la Federación, Junio.

Roberge, J., M. K. O'Rourke, M. M. Meza-Montenegro, L. E. Gutiérrez-Millán, J. L. Burgess, R. B. Harris (2012), *Binational Arsenic Exposure Survey: Methodology and estimated Arsenic Intake from Drinking water and urinary Arsenic Concentrations*, Int. Environ. Public Health; doi: 10.3390/ijerph9040000.

Smith A.H., P. A. Lopipero, M. N. Bates, C. M. Steinmaus (2002), "Arsenic epidemiology and drinking water standards", *Science*, 296, pp. 2145-214.

Steinmaus, C., Y. Yuan, D. Kalman, R. Atallah and A. H. Smith (2007), "Intraindividual variability in arsenic methylation in a U. S. Population", *Cancer Epidemiol. Biomark Prev*, 14(4), pp. 919-924.

Styblo, M., L. M. Del Razo, L. Vega, G.r. Germolec, E. l. LeCluyse (2000), "Comparative toxicity of trivalente and pentavalente inorganic and methylated arsenicals in rat and human cells", *Archives Toxicology*, 74, pp. 289-299.

Sun, G., Y. Xu, X. Li, Y. Jin, B. Li and X. Sun (2007), *Urinary arsenic metabolites in children and adults exposed to arsenic in drinking water in Inner Mongolia*, China. Environ. Health Perspect, 115(4), pp. 648-652.

Takagi, Y., S. Matsuda, S. Imai, Y. Ohmori, T. Masuda, J. A. Vinson, M.C. Mehra, B.K. Puri and A. Kaniewski (1988), *Survey of trace elements in human nails: An Iternational Cmparison*, Bull. of Environ Contamination and Toxicol, 41, pp. 690-695.

Vahter, M. (1994), "Species differences in the metabolism of arsenic compounds", *Applied Organometalic Chemestry*, 8, pp. 175-182.

Vahter, M., (2000), "Genetic polymorphism in the biotransformation of inorganic arsenic and its role in toxicity", *Toxicol*, Lett., pp. 112-113;209-217.

ValentineJ.L., H. K. Kang and G. Spivey (1979), "Arsenic levels in human blood, urine, and hair in response to exposure via drinking water", *Environ. Res.*, (20), pp. 24-32.

Von Ehrenstein, O. S., S. Poddar, Y. Yuan, D. G. Mazumder, B. Eskenazi, A. Basu, M. Hira-Smith, N. Ghosh, S. Lahiri, R. Haque, A. Ghosh, D. Kalman, S. Das, and A. H. Smith (2007), "Chidren's intellectual function in relation to arsenic exposure", *Epidemiology*, 18 (1), pp. 44-51.

Wyatt, C.J., C. Fimbres, L. Romo, R. Méndez and M. Grijalva (1998), "Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico", *Environmental Research*, 76, pp. 114-119.

Yu, L., K. Kalla, E. Guthrie, A. Vidrine, W.T. Klimecki (2003), *Genetic Variation in Genes Associated with Arsenic Metabolism: Glutathione S-Transferase Omega 1-1 and Purine Nucleoside Phosohorylase Polymorphisms in European and Indegenous Americans*, Environ. Health Perspect, 111, pp. 1421-1427.

Yu, R. C., K-H. Hsu, C-J. Chen and J.R. Froines (2000), "Arsenic methylation capacity and skin cancer", *Cancer Epidemiol. Biomark. Prev.*, 9, pp. 1259-1262.

Zakharyan, R., Y. Wu, G.M. Bogdan and H. v. Aposhian (1995), "Enzymatic methylation of arsenic compounds: assay partial purification, and properties of arsenite methyltransferase and monomethylarsonic acid methyltransferase of rabbit liver", *Chemistry Research Toxicology*, 8, pp. 1029-1038.

Efecto de las altas presiones hidrostáticas sobre los alimentos de origen acuático: calidad e inocuidad

Ramón Gertrudis Valdez Melchor, Enrique Márquez Ríos, Víctor Manuel Ocaño Higuera, Edgar Iván Jiménez Ruíz, Pablo Sergio Osuna Amarillas, Odilia Azucena Higuera Barraza

Resumen

En la actualidad existe una gran diversidad de tecnologías que son utilizadas para procesar los alimentos, cuya finalidad es la de mantener la inocuidad y alargar su vida de anaquel. La tecnología más representativa se basa en el tratamiento térmico, sin embargo, actualmente se está utilizando la alta presión hidrostática (APH). Existen reportes que indican que cuando los alimentos son sometidos a un tratamiento térmico, se pierde considerablemente tanto la calidad nutricia como sensorial del producto, factor que se relaciona directamente con problemas de salud en el consumidor. Actualmente se ha reportado que el tratamiento con APH no daña las propiedades nutricias y sensoriales, así como también, logra mantener la inocuidad y prolonga la vida de anaquel de los alimentos de origen acuático. Además, reduce el uso excesivo de aditivos alimenticios, evitando la formación de compuestos precursores de enfermedades.

El tratamiento con APH en productos pesqueros elimina en su totalidad la presencia de microorganismos patógenos y virus, aunado a ello ayuda a prevenir la formación de aminas biogénicas, reduciendo su concentración cuando ya están presentes en el producto, evitando problemas de salud en el consumidor. Estas y otras razones

colocan al tratamiento con APH dentro del campo de ingeniería en alimentos como una de las tecnologías más novedosas y sobresalientes de los últimos años.

Palabras clave: altas presiones hidrostáticas, alimentos de origen acuático, inocuidad, patógenos

Introducción

A finales del siglo XIX y principios del XX se llevaron a cabo las primeras pruebas de procesamiento de alimentos usando altas presiones, sin embargo, en ese tiempo no se contaba con el equipo adecuado para llevar a cabo investigación más a fondo (Hite, 1899; Welti-Chanes *et al.*, 2005). En 1990 se empezó a dar un gran auge en la investigación del tratamiento con altas presiones en alimentos, considerándose como una herramienta viable para la inactivación microbiana y enzimática, siendo la primera la de mayor importancia debido a que la salud del consumidor siempre ha sido el aspecto primordial dentro del procesamiento alimentos.

La (APH) destaca sobre los procesos térmicos en la conservación de los alimentos (Knorr, 1993), pues estos últimos causan una inevitable pérdida de nutrientes y sabores. A continuación se mencionan algunos de los trabajos (Cheftel, 1995; Ledward *et al.*, 1995; Mozhaev *et al.*, 1994) donde se describen aplicaciones de la APH para distintos grupos de alimentos, entre ellas figuran: la pasterización, esterilización, inactivación/activación de enzimas, modificación de la estructura terciaria de las proteínas, cambios en las transiciones de fase, extracción de componentes alimentarios, agregación de sólidos o polvos alimentarios cuya finalidad es la de dar formas (barras, cubos y tabletas) e impedir las reacciones de Maillard.

Hoover (1997), consideró a la presurización como la técnica más viable desde el punto de vista comercial, debido a que cuando los alimentos son tratados con APH alargan de manera considerable su vida de anaquel y mejoran sus características organolépticas, dando como resultado el desarrollo de nuevos productos con valor agregado (Welti-Chanes *et al.*, 2005). Actualmente, continúan reportándose importantes resultados sobre el tratamiento con APH en productos de la pesca, además que se están publicando nuevas patentes y llevando a cabo nuevos proyectos de investigación. No es de extrañar que esta tecnología se cite como una de las mejores innovaciones en la industria alimentaria dentro de 50 años (Balasubramaniam *et al.*, 2008).

En el cuadro 1 se listan las ventajas y las desventajas que ofrece el tratamiento con APH en alimentos de origen acuático. En la presente revisión se hace un énfasis minucioso sobre el efecto que tiene el tratamiento con APH con respecto a la calidad e inocuidad de los productos de la pesca, con la finalidad de otorgarles tanto al consumidor como al empresario una mejor perspectiva de esta novedosa tecnología.

Aspectos de calidad en alimentos de origen acuático tratados con APH

La calidad juega un papel muy importante en los alimentos y es el punto de partida en el que se basa el consumidor para adquirir un producto. Los indicadores de calidad de tipo organoléptico más importantes en el mercado de productos de origen acuático son la textura, color, sabor y olor. Las enzimas presentes en organismos acuáticos cumplen un papel muy importante en la pérdida de la calidad del alimento, un ejemplo muy claro es cuando se degrada el tejido del pescado debido a la actividad enzimática que se lleva a cabo durante el proceso *post-morten*. Catepsinas lisosomales, calpaínas, metaloproteasas y proteasas son algunas de las enzimas involucradas en la degradación del músculo de pescado, conduciendo al proceso de gelación.

Una de las principales características de calidad en el pescado, es la textura, ya que esta puede degradarse de manera fácil y rápida, debido a la actividad de las enzimas y de los microorganismos, resultando el ablandamiento del músculo y rechazo por el consumidor (Hernández-Andrés *et al.*, 2008). Se han publicado algunos estudios mostrando que la inactivación/activación de enzimas depende de las condiciones de procesamiento y el medio de tratamiento (Welti-Chanes *et al.*, 2005).

Se ha observado que a presiones en el rango de 100-300 MPa se produce una desnaturalización reversible y por encima de 300 MPa la desnaturalización es irreversible en enzimas presentes en productos pesqueros. Lo anterior se debe a que el tratamiento con APH modifica su estructura terciaria y cuaternaria, así como la conformación de su sitio activo (Téllez-Luis *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Ventajas y desventajas que presenta el tratamiento con APH sobre los alimentos de origen acuático

Ventajas	*Desventajas*
Evita la deformación de los alimentos.	Alto costo del equipo.
No produce el deterioro de nutrientes termolábiles.	No se han podido diseñar procesos continuos con los equipos de APH disponibles en el mercado.
No altera el sabor natural, ni la coloración.	
No produce residuos.	
No precisa la incorporación de aditivos.	Desconfianza del consumidor a decidirse a comprar un producto presurizado por ser algo novedoso y desconocido.
Mejora o provoca la aparición de propiedades funcionales.	
Tiene poco gasto energético.	

Fuente: Téllez-Luis *et al.* (2001).

Existen estudios que demuestran que productos como la sardina (*Sardina pilchardus*) y la bacalá (*Micromesistius poutassou*) redujeron su actividad enzimática después de ser sometidos bajo condiciones de presurización de 300 MPa y temperatura de refrigeración 7°C durante 20 minutos (Hernández-Andrés *et al.*, 2008). También se ha visto que cuando se combina el ahumado en frío con la APH en productos de origen acuático, trae como resultado la inactivación de enzimas (Lakshmanan *et al.*, 2003), sin que exista pérdida de calidad en el alimento procesado (Brutti *et al.*, 2010).

Recientemente se ha investigado sobre los cambios fisicoquímicos que se presentan en productos pesqueros al momento de ser procesados con APH, observándose mejoras en la calidad del producto y estabilización de ciertos componentes como pigmentos y lípidos (Lakshmanan *et al.*, 2003). Cheftel y Culioli (1997) reportaron pérdida de color en la carne de atún después de un proceso de presurización, concluyendo que este fenómeno se debió principalmente a la desnaturalización de la mioglobina. Años más tarde, Tintchev *et al.* (2009), observaron que cuando el salmón ahumado era sometido a presiones en el rango de 600-700 MPa se degradaba la astaxantina (compuesto que pertenece al grupo de los carotenoides y es el causante del color característico del salmón) y se reducía la concentración de mioglobina.

Existen reportes que nos indican que cuando la carne y el filete de pescado son tratados con APH durante el *pre rigor-mortis*, esta tiende a volverse opaca (Otero *et al.*, 2000). También se sabe que la presurización inhibe las reacciones de Maillard en productos acuáticos (Téllez-Luis *et al.*, 2001), siendo esta última información de gran valor para el tecnólogo en alimentos ya que podría manipular este fenómeno con la finalidad de mejorar el aspecto final del producto.

Por otro lado, se ha visto que el tratamiento, con APH no altera el sabor de los alimentos de origen acuático, esto podría deberse al hecho de que los enlaces covalentes presentes en los compuestos promotores del sabor, no se ven afectados (Sangronis *et al.*, 1997).

Inocuidad de productos de origen acuático tratados con APH

El diseño en la tecnología de la APH, dentro del campo de la ingeniería de alimentos, tiene como objetivo primordial mantener la inocuidad de los alimentos, con la finalidad de evitarle problemas de salud al consumidor.

Inactivación de bacterias patógenas y virus

En la literatura se ha reportado que la aplicación de la APH elimina en su totalidad la presencia de microorganismos patógenos y esporas. A continuación se mencionan algunas condiciones de trabajo usadas en el tratamiento con APH, así como sus combinaciones con otras tecnologías, cuya finalidad es la de eliminar la presencia de cualquier agente patógeno en los diversos productos de origen acuático.

La utilización de APH en alimentos puede inactivar microorganismos patógenos de distintas formas, ya sea produciendo cambios en la morfología celular, en las reacciones bioquímicas, en los mecanismos genéticos o en la membrana de las células microbianas. Estas últimas son el principal objetivo del daño causado por las APH en microorganismos, ya que son esenciales en el transporte y la respiración celular, por lo tanto, un cambio considerable en la permeabilidad de la membrana puede causar la muerte de las células. Por ejemplo, se ha observado que cuando se aplican altas presiones en bivalvos, se puede abrir fácilmente su concha liberando su carne y al mismo tiempo se eliminan las especies patógenas presentes en el alimento, tales como las de la familia *Vibrio*: *V. cholerae*, *V. vulnificus* y *V. parahaemolyticus* (Berlin *et al.*, 1999; Cook, 2003; Kural y Chen, 2008). Existen reportes que indican que el *Vibrio parahaemolyticus* se inactiva a 170 MPa, durante 10 minutos a 23 °C en jugo de almeja (Styles *et al.*, 1991). La inactivación microbiológica ha sido observada también en músculo de pescado con el uso de la APH, tal es el caso del salmón (*Salmo salar*) fresco, donde la *Listeria monocitogenes* y la *Salmonela typhimurium* fueron inactivadas usando una presión de 150 MPa, durante 30 minutos. Los productos obtenidos a partir de salmón (*Salmo salar*) también han sido estudiados obteniéndose buenos resultados (Lakshmanan *et al.*, 2003).

Al combinar el ahumado en frío con la APH en productos de origen acuático, se obtiene como resultado la inactivación de microorganismos patógenos como la *Listeria monocitogenes* y el *Clostridium* (Lakshmanan *et al.*, 2003). Existen estudios que reportan la inactivación microbiana usando altas presiones en combinación con temperaturas por debajo de 0 °C. Por ejemplo, *Listeria monocitogenes* fue inactivada con gran éxito en salmón ahumado usando presiones por arriba de los 200 MPa durante 100 minutos en combinación con temperaturas de -10 °C, -14 °C y -18 °C (Ritz *et al.*, 2008). Se ha reportado que tanto en el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*), como en el dorado (*Coryphaena hippurus*), las altas presiones (400 MPa durante 5 minutos y 4.4 °C) afectan considerablemente a la bacteria *Morganella morganii* (microorganismo capaz de producir histamina), inhibiendo la actividad de la enzima histidina descarboxilasa, así como la proliferación de dicha bacteria. Lo

anterior trae como resultado una reducción considerable de histamina en ambos productos (Bolton *et al.*, 2009).

La inactivación de esporas bacterianas es una de las operaciones más difíciles dentro de la conservación de alimentos, esto se debe a su peculiar resistencia bajo ambientes muy extremos. Se ha reportado que las esporas bacterianas en ocasiones han resistido presiones hasta de 1000 MPa. Generalmente en la inactivación de esporas se necesitan combinaciones de presión y temperatura, debido a que la aplicación de APH resulta insuficiente (Cheftel, 1995). El azúcar y la sal son inhibidores efectivos durante la inactivación de esporas (Taki *et al.*, 1991). Algunos autores recomiendan aplicar altas presiones en forma de pulsos: dos pulsos de elevada presión (690-1,700 MPa) en combinación con una elevada temperatura (60-90 °C) es suficiente para inactivar esporas en alimentos de baja acidez, tales como los productos acuáticos (Meyer *et al.*, 2000).

Por otro lado, también existen estudios que reportan la inactivación de virus, por ejemplo, se ha visto que bajo condiciones de presurización de 400 MPa durante 1 minuto y una temperatura de 10 °C se inactiva el virus Hepatitis A (Calci *et al.*, 2005) y a 400 MPa durante 5 minutos y una temperatura de refrigeración de 5 °C se inactiva el Norovirus en ostras (Kingsley *et al.*, 2007).

En el cuadro 2 se puede observar en forma resumida las condiciones de presurización que se usan para la inactivación de bacterias patógenas y virus presentes en alimentos de origen acuático.

Efecto de la APH sobre las aminas biogénicas

Un problema muy grave de inocuidad que puede existir en pescado es la presencia de aminas biogénicas (AB). Las AB son compuestos naturales en los cuales uno, dos o tres hidrógenos de amonio son remplazados por grupos alquilo o arilo (Shalaby, 1996). Estos compuestos pueden tener estructura alifática (putrescina, cadaverina, espermina y espermidina), aromática (tiramina y feniletilamina) y heterocíclica (histamina y triptamina) (Latorre-Moratalla *et al.*, 2007; Santos, 1996). Las AB se forman en los alimentos durante el metabolismo normal de las células vivas (ten Brink *et al.*, 1990) y en el proceso *post-mortem*, debido a la descarboxilación microbiana de aminoácidos libres y a la transminación de aldehídos y cetonas. Estos compuestos se asocian usualmente con la contaminación microbiana (Rezaei *et al.*, 2007), mal almacenamiento y abuso en la temperatura, siendo considerados como indicadores químicos del deterioro (Kim *et al.*, 2009; Latorre-Moratalla *et al.*, 2007; Lehane y Olley, 2000a).

Las AB feniletilamina, espermina y espermidina son el producto final de la descomposición bacteriana de productos de pescado (Latorre-Moratalla *et al.*, 2007). Existen reportes donde mencionan la presencia de AB, tales como la putrescina, espermina y serotonina en filetes congelados de pez gato (*Silurus glanis*) (Özogul *et al.*, 2009). La ingestión de alimentos contaminados con niveles significativos de histamina (100 ppm), putrescina (2,000 ppm) y cadaverina (2,000 ppm) pueden causar serias enfermedades tales como el envenenamiento escombroide, problemas respiratorios, bradicardia y trismo (Lehane y Olley, 2000b; Shalaby, 1996; ten Brink *et al.*, 1990; Til *et al.*, 1997).

Numerosos esfuerzos se han hecho recientemente para reducir o prevenir la formación de aminas biogénicas en alimentos, las altas presiones es una de las más alentadoras alternativas para mantener su inocuidad. Se ha observado que la APH es efectiva en la reducción de formación de AB durante el almacenamiento de productos pesqueros (Simon-Sarkadi *et al.*, 2011).

Cuadro 2. Condiciones de presurización para la inactivación de microorganismos patógenos y virus presentes en alimentos de origen acuático

Producto de origen acuático	*Condiciones de presurización*			*Microorganismo y virus inactivado*
	Presión (MPa)	*Temperatura (°C)*	*Tiempo (minutos)*	
Salmón fresco [1]	150	----	30	*Listeria monocitogenes*
Salmón fresco [1]	150	----	30	*Salmonela tifimurium*
Salmón ahumado [2]	<200	-10, -14 y -18	100	*Listeria monocitogenes*
Almeja enlatada [3]	170	23	10	*Vibrio parahaemolyticus*
Ostras [4]	300	10	3	*Vibrio parahaemolyticus 03:K6*
Salsa de ostra [5]	200-350	----	1-2	*Vibrio vulnificus*
Atún aleta amarilla [6]	400	4.4	5	*Morganella morganii*
Dorado [6]	400	4.4	5	*Morganella morganii*
Ostras [7]	400	10	1	Virus de hepatitis A
Ostras [8]	400	5	5	Norovirus

Fuente: elaboración propia. Dónde °C, representa los grados Celsius; MPa, representa a los Megapascales. [1]Lakshmanan *et al.* (2003); [2]Ritz *et al.* (2008); [3]Styles *et al.* (1991); [4]Cook, (2003); [5]Campus (2010); [6]Bolton *et al.* (2009), [7]Calci *et al.* (2005); [8]Kingsley *et al.* (2007).

Se ha reportado que en trozos de calamar crudo (*Todarodes pacificus*), la histidina, ornitina y lisina, precursores de las aminas biogénicas, entran en un proceso de descarboxilación debido a la presencia de microorganismos, formándose histidi-

na, putrescina y cadaverina respectivamente. Gou *et al.* (2010), reportaron que cuando los trozos de calamar crudo son sometidos bajo condiciones de presurización de 400 MPa y temperatura de refrigeración, se retarda de manera significativa la formación de AB. También se ha observado que cuando el calamar-semiseco es tratado bajo condiciones de presurización de 500 MPa durante 10 minutos y temperatura de refrigeración, se mantiene la concentración de las AB por debajo del nivel tóxico (Gou *et al.*, 2012).

Dentro de todas las AB mencionadas anteriormente, la histamina es una de las más estudiadas, ya que es un indicador de la calidad del pescado y es altamente tóxica para el ser humano. El envenenamiento por histamina es muy común (Behling y Taylor, 1982) y se relaciona con el consumo de pescado de la familia *Scombroide*, ejemplos claros son el atún y la macarela (McLauchlin *et al.*, 2006). Los síntomas que se presentan en un paciente intoxicado con histamina son los siguientes: enrojecimiento en la cara, cuello y parte superior del pecho, vómito, fiebre, náusea, calambres abdominales, dolor de cabeza, diarrea, mareos y palpitación (McLauchlin *et al.*, 2006). Después de que se ha ingerido un alimento contaminado con histamina, el periodo de incubación es de unos cuantos minutos a unas pocas horas (Becker *et al.*, 2001).

Naila *et al.* (2010) reportaron que la pasta de pescado Rihaakuru (un importante condimento en las Maldivas) contiene una alta concentración de histamina, debido a que se usa atún crudo (un solo tipo de atún o mezcla de carne de atunes de diferentes especies) y se abusa de los tiempos de exposición y altas temperaturas durante su elaboración.

Estudios indican que los productos elaborados a partir de pasta fermentada de pescado han causado envenenamiento por histamina (Tsai *et al.*, 2006), aunado a ello, se sabe que la histamina es un precursor de nitrosaminas cancerígenas (Diez *et al.* 2008). Sin embargo, si se tiene un buen control en la higiene y la temperatura de la materia prima, desde su recepción hasta su procesamiento, se puede evitar la síntesis de este microcomponente dañino.

Estudios recientes demuestran que se puede evitar la producción de histamina en niveles tóxicos en pescado, siempre y cuando el producto sea tratado con APH. Bolton *et al.* (2009) reportaron que cuando el atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) y el dorado (*Coryphaena hippurus)* son tratados bajo condiciones de presurización de 400 MPa durante 5 minutos a 4.4 °C, se reduce considerablemente la producción de histamina.

Conclusiones

El tratamiento a altas presiones hidrostáticas elimina la presencia de bacterias patógenas, virus y esporas. Además, reduce la formación de aminas biogénicas, alargando la vida de anaquel y manteniendo la inocuidad de los alimentos de origen acuático. El tratamiento con APH preserva las propiedades organolépticas tales como el olor, sabor, color y textura. Asimismo, tiene la capacidad de inactivar enzimas, mejorar las propiedades funcionales y reducir el uso excesivo de conservadores en productos pesqueros.

Agradecimientos

Agradecemos al doctor Miguel Aguilera Ortíz la invitación a colaborar en la elaboración del presente libro, de igual forma agradecemos a CONACYT y a la red de alimentos, nutrición y salud por su apoyo.

Sobre los autores

Ramón Gertrudis Valdez Melchor,[1*] Enrique Márquez Ríos,[2] Víctor Manuel Ocaño Higuera,[1] Edgar Iván Jiménez Ruíz,[4] Pablo Sergio Osuna Amarillas,[2] Odilia Azucena Higuera Barraza.[3] [1]Departamento de Ciencias Químico Biológicas. Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, CP. 83000 Col. Centro. Hermosillo, Sonora, México.[2] Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, C.P. 83000 Col. Centro. Hermosillo, Sonora, México.[3] Departamento de Procesos Alimentarios. Universidad Tecnológica de Etchojoa. Carretera Etchojoa-Bacobampo s/n, C.P. 85282. Etchojoa, Sonora, México. [4]Unidad de Tecnología de Alimentos. Secretaría de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura "Amado Nervo", Blvd. Tepic-Jalisco s/n, C.P. 63190. Tepic, Nayarit, México. *correo electrónico Ramón Gertrudis Valdez Melchor ramon0387@gmail.com

Referencias

Balasubramaniam, v. M., D. Farkas and E. Turek (2008), "Preserving foods through high-pressure processing", *Food Technology,* 62(11), pp. 32-38.

Becker, K., K. Southwick, J. Reardon, R. Berg and J. N. MacCormack (2001), "Histamine poisoning associated with eating tuna burgers", *JAMA–Journal of the American Medical Association,* 285(10), pp. 1327-1330.

Behling, A. R., and S. L. Taylor (1982), "Bacterial histamine production as a function of temperature and time of incubation", *Journal of Food Science, 47*(4), pp. 1311-1314.

Berlin, D. L., D. S. Herson, D. T. Hicks and D. G. Hoover (1999), "Response of pathogenic Vibrio species to high hydrostatic pressure", *Applied and Environmental Microbiology,* 65(6), pp. 2776-2780.

Bolton, G. E., K. Bjornsdottir, D. Nielsen, P. F. Luna and D. P. Green (2009), *Effect of high hydrostatic pressure on histamine forming bacteria in yellowfin tuna and mahi-mahi skinless portions.* Paper presented at the Institute of Food Technologists (IFT) Conference 2009, USA.

Brutti, A., P. Rovere, S. Cavallero, S. D'Amelio, P. Danesi and G. Arcangeli (2010), "Inactivation of *Anisakis simplex* larvae in raw fish using high hydrostatic pressure treatments", *Food Control,* 21(3), pp. 331-333.

Calci, K. R., G. K. Meade, R. C. Tezloff and D. H. Kingsley (2005), "High-pressure inactivation of hepatitis A virus within oysters", *Applied and Environmental Microbiology,* 71(1), pp. 339-343.

Campus, M. (2010), "High pressure processing of meat, meat products and seafood", *Food Engineering Reviews,* 2, pp. 256-273.

Cheftel, J. C. (1995), "Review: High-pressure, microbial inactivation and food preservation/Revisión: Alta-presión, inactivación microbiológica y conservación de alimentos", *Food Science and Technology International,* 1(2-3), pp. 75-90.

Cheftel, J. C., and J. Culioli (1997), "Effect of high pressure on meat: a review", *Meat Science,* 46(3), pp. 211-236.

Cook, D. W. (2003), "Sensitivity of *Vibrio* species in phosphate-buffered saline and in oysters to high-pressure processing", *Journal of Food Protection,* 66(12), pp. 2276-2282.

Diez, A. M., R. Urso, K. Rantsiou, I. Jaime, J. Rovira and L. Cocolin (2008), "Spoilage of blood sausages *morcilla de Burgos* treated with high hydrostatic pressure", *International Journal of Food Microbiology,* 123(3), pp. 246-253.

Gou, J., G.-P. Choi and J. Ahn (2012), "Biochemical quality assessment of semi-dried squid (*todarodes pacificus*) treated with high hydrostatic pressure", *Journal of Food Biochemistry,* 36(2), pp. 171-178.

Gou, J., H. Xu, G.-P. Choi, H.-Y. Lee and J. Ahn (2010), "Application of high pressure processing for extending the shelf-life of sliced raw squid", *Food Science and Biotechnology,* 19(4), pp. 923-927.

Hernández-Andrés, A., M. Pérez-Mateos, P. Montero and M. Gómez-Guillén (2008), "A comparative study of the effects of high pressure on proteolityc degradation of sardine and blue whiting muscle", *Fisheries Science,* 74(4), pp. 899-910.

Hite, B. H. (1899), "The effect of pressure on the preservation of milk", *West Virginia Agricultural Experiment Station,* 58, pp. 15-35.

Hoover, D. G. (1997), "Minimally processed fruits and vegetables: reducing microbial load nonthermal physical treatments", *Food Technology-Chicago,* 51(6), pp. 66-71.

Kim, M.-K., J.-H. Mah and H.-J. Hwang (2009), "Biogenic amine formation and bacterial contribution in fish, squid and shellfish", *Food Chemistry,* 116(1), pp. 87-95.

Kingsley, D. H., D. R. Holliman, K. R. Calci, H. Chen and G. J. Flick (2007), "Inactivation of a norovirus by high-pressure processing", *Applied and Environmental Microbiology,* 73(2), pp. 581-585.

Knorr, D. (1993), "Effects of high-hydrostatic-pressure processes on food safety and quality", *Food Technology,* 47(6), pp. 156-161.

Kural, A. G., and H. Chen (2008), "Conditions for a 5-log reduction of *Vibrio vulnificus* in oysters through high hydrostatic pressure treatment", *International Journal of Food Microbiology,* 122(1-2), pp. 180-187.

Lakshmanan, R., J. R. Piggott and A. Paterson (2003), "Potential applications of high pressure for improvement in salmon quality", *Trends and Food Science & Technology,* 14(9), pp. 354-363.

Latorre-Moratalla, M. L., S. Bover-Cid, T. Aymerich, B. Marcos, M. C. Vidal-Carou and M. Garriga (2007), "Aminogenesis control in fermented sausages manufactured with pressurized meat batter and starter culture", *Meat Science,* 75(3), pp. 460-469.

Ledward, D. A., D. E. Johnston, R. G. Earnshaw and A. P. M. Hasting (1995), *High pressure processing-The potential. High pressure processing of foods,* Nottingham University Press.

Lehane, L., and J. Olley (2000a), "Histamine (*Scombroid*) Fish Poisoning", *Agricultural, Fisheries and Forestry of Australia.*

Lehane, L., and J. Olley (2000b), "Histamine fish poisoning revisited", *International Journal of Food Microbiology,* 58(1-2), pp. 1-37.

McLauchlin, J., C. L. Little, K. A. Grant and V. Mithani (2006), "Scombrotoxic fish poisoning", *Journal of Public Health,* 28(1), pp. 61-62.

Meyer, R. S., K. L. Cooper, D. Knorr and H. L. M. Lelieveld (2000), "High-pressure sterilization of foods", *Food Technology,* 54(11), pp. 67-72.

Mozhaev, V. V., K. Heremans, J. Frank, P. Masson and C. Balny (1994), "Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications", *Trends in Biotechnology,* 12(12), pp. 493-501.

Naila, A., S. Flint, G. Fletcher, P. Bremer and G. Meerdink (2010), "Control of biogenic amines in food-Existing and emergin approaches", *Journal of Food Science,* 75(7), pp. R139-R150.

Otero, L., M. Martino, N. Zaritzky, M. Solas and P. D. Sanz (2000), "Preservation of Microstructure in peach and mango during high pressure-shift freezing", *Journal of Food Science,* 65(3), pp. 466-470.

Özogul, F., N. Kamari, E. Küley and Y. Özogul (2009), "The effects of ice storage on inosine monophosphate, inosine, hypoxanthine, and biogenic amine formation in European catfish (*Silurus glanis*) fillets", *International Journal of Food Science and Technology,* 44(10), pp. 1966-1972.

Rezaei, M., H. Jafari, M. A. Sahari, H. Hosseini, N. Montazeri, M. Parviz and A. Nazarinia (2007), "Relation of biogenic amines and bacterial changes in ice-stored southern caspian kutum (*Rutilus frisiikutum*)", *Journal of Food Biochemistry,* 31(4), pp. 541-550.

Ritz, M., F. Jugiau, M. Federighi, N. Chapleau and M. Lamballerie (2008), "Effects of high pressure, subzero temperature, and pH on survival of *Listeria monocytogenes* in buffer and Smoked Salmon", *Journal of Food Protection,* 71(8), pp. 1612-1618.

Sangronis, E., U. Pothakamury, A. M. Ramos, A. Ibarz, G. v. Barbosa-Canovas and B. G. Swanson (1997), "La alta presión hidróstatica: Una alternativa en el procesamiento no termico de alimentos = High hydrostatic pressure technology: no thermal alternative process in food industry", *alimentaria,* (283), pp. 33-43.

Santos, M. H. S. (1996), "Biogenic amines: their importance in foods", *International Journal of Food Microbiology,* 29(2-3), pp. 213-231.

Shalaby, A. R. (1996), "Significance of biogenic amines to food safety and human health", *Food Research International,* 29(7), pp. 675-690.

Simon-Sarkadi, L., K. Pásztor-Huszár, I. Dalmadi and G. Kiskóc (2011), "Effect of high hydrostatic pressure processing on biogenic amine content of sausage during storage", *Food Research International,* In press.

Styles, M. F., D. G. Hoover and D. F. Farkas (1991), "Response of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high hydrostatic pressure", *Journal of Food Science,* 56(5), pp. 1404-1407.

Taki, Y., T. Awao, S. Toba and N.Mitsuura (1991), "Sterilization of *Bacillus* sp. spores by hydrostatic pressure" en R. Hayashi (ed.), *High Pressure Science for Food,* Kyoto, San Ei Pub. Co., pp. 217-224.

Téllez-Luis, S. J., J. A. Ramírez, C. Pérez-Lamela, M. Vázquez and J. Simal-Gándara (2001), "Aplicación de la alta presión hidrostática en la conservación de los alimentos", *Ciencia y Tecnología alimentaria,* 3(2), pp. 66-80.

ten Brink, B., C. Damink, H. M. L. J. Joosten and J. H. J. Huis in 't Veld (1990), "Occurrence and formation of biologically active amines in foods", *International Journal of Food Microbiology*, 11(1), pp. 73-84.

Til, H. P., H. E. Falke, M. K. Prinsen and M. I. Willems (1997), "Acute and subacute toxicity of tyramine, spermidine, spermine, putrescine and cadaverine in rats", *Food and Chemical Toxicology*, 35(3-4), pp. 337-348.

Tintchev, F., U. Kuhlmann, H. Wackerbarth, S. Töpfl, v. Heinz, D. Knorr and P. Hildebrandt (2009), "Redox processes in pressurized smoked salmon studied by resonance Raman spectroscopy", *Food Chemistry*, 112(2), pp. 482-486.

Tsai, Y.-H., C.-Y. Lin, L.-T. Chien, T.-M. Lee, C.-I. Wei and D.F. Hwang (2006), "Histamine contents of fermented fish products in Taiwan and isolation of histamine-forming bacteria", *Food Chemistry*, 98(1), pp. 64-70.

Welti-Chanes, J., A. López-Malo and E. Palou (2005), "Fundamentals and applications of high pressure processing of foods" en G. v. Barbosa-Canovas (ed.), *Novel food processing technologies*, New York, CRC press.

Neuropatías periféricas por consumo de plantas utilizadas como alimentos

Eduardo Rivadeneyra Domínguez, Alma Vázquez Luna y Rafael Díaz Sobac

Resumen

La caracterización bromatológica y nutrimental de plantas consumidas como alimentos, generalmente no considera el impacto negativo que algunas biomoléculas pueden tener a la salud del consumidor. Generalmente, solo se han visualizado aspectos toxicológicos que se manifiestan de forma inmediata o como reacciones de intolerancia o en pocos casos de alergenicidad. Sin embargo, los efectos silenciosos y progresivos como las neuropatías generadas por daños graduales y muchas veces irreversibles, aun son un reto en la investigación clínica asociada al consumo de alimentos y de plantas que forman parte de la dieta diaria de poblaciones rurales o de alta marginación social. Es muy probable que se esté cometiendo una grave omisión al no profundizar en el estudio de los metabolitos potencialmente tóxicos presentes en las plantas comestibles. A pesar de la opinión difundida de que la ingestión de compuestos naturales presentes en los vegetales no constituye un riesgo para la salud, existe una amplia lista de ellos, cuya seguridad toxicológica aun se debate. Entre éstos están los glucosinolatos, cuyos productos catabólicos, los isotiocianatos, reaccionan con los grupos amino de la lisina y modifican la estructura proteica a nivel de la tubulina de los axones, provocando neuropatías por daños en las fibras del sistema nervioso periférico, impidiendo que se transmitan las señales a diferentes partes del cuerpo. Entre los más afectados se encuentran los nervios motores originando debilidad muscular y parálisis. Este tipo de daños al SNC, justifica la

importancia del tema, considerando que hasta un 40% de la población de los países en vías de desarrollo dependen de dietas con base en alimentos baratos como la col, coliflor, nabo, rábano y yuca entre otros, los cuales contienen altas concentraciones de glucosinolatos, de tal manera que las personas que los consumen están expuestos al desarrollo de neuropatías.

Palabras clave: glucosinolatos, isotiocianatos, tubulina, neuropatías.

Introducción

Las neuropatías periféricas (NP) abarcan un gran número de patologías caracterizadas por presentar alteraciones en los nervios periféricos, de diversas etiologías y con diferentes pronósticos (Borsook, 2012; Smith, 2012). La prevalencia estimada de neuropatías periféricas en la población en general es de cerca de 2% y en los adultos con más de 55 años puede alcanzar ocho por ciento. Para el tratamiento adecuado del dolor, es importante conocer la etiología y los mecanismos involucrados. Como son muchas las causas de neuropatías, la evaluación y el diagnóstico se hacen difíciles, e incluso con la evaluación apropiada, entre 25 y 40% de las neuropatías permanecerán sin causa definida (Mendell y Sahenck, 2003; Stojkovic, 2006). El rasgo clínico característico de las primeras etapas de la neuropatía es la alteración simétrica de los reflejos motores, sensitivos y tendinosos, que afecta más a las extremidades inferiores que las superiores. Al principio de la enfermedad, los signos y síntomas de tipo sensitivo suelen ser más severos que la disfunción motora. En las etapas más avanzadas pueden descubrirse claros trastornos de las funciones motrices, como un péndulo en pies o manos o parálisis de una pierna (Overell, 2011). Dependiendo de la estructura afectada, y del tipo de fibras involucradas, las neuropatías periféricas se manifiestan por debilidad muscular y adicionalmente hipoestesia y anestesia para cada una de las modalidades sensitivas, o bien por síntomas sensitivos positivos como dolor, quemazón, picor, parestesias o disestesias, atrofia muscular, cambios en el color de la piel. La lesión más frecuente es en las grandes fibras mielínicas, afectando a la palestesia, al tacto fino y a la fuerza motora. Se produce así falta de sentido de la vibración, de la posición, ataxia sensitiva, acorchamiento y parestesias. La afectación de las fibras amielínicas implica a la temperatura, a las funciones vegetativas (hipotensión, impotencia, disfunción vesical y genitourinaria, sudación anormal y pérdida de pelo) y al dolor protopático. La arreflexia, o ausencia de reflejos osteotendinosos, es común (Mavrec, 2011). Por lo que el objetivo del presente capítulo, es dar a conocer la relación que existe entre el consumo de alimentos que contienen glucosinolatos y el desarrollo de neuropatías, debido a que la mayor parte de la población Mexicana que consume alimentos como la col, coliflor, nabo, rábano y yuca entre otros está expuesta a presentar neuropatías.

Fibras afectadas en la NP

En términos generales y desde el punto de vista funcional se puede decir que hay cuatro tipos de fibras en el nervio periférico las cuales son: fibras simpáticas, fibras sensitivas de pequeño calibre, fibras motoras y fibras sensitivas que llevan información propioceptiva. Las fibras simpáticas, se originan en el asta intermedio lateral de la médula toracolumbar, hacen sinapsis en los ganglios simpáticos, y sus fibras postganglionares inervan los vasos sanguíneos, piel y glándulas endócrinas. Las fibras sensitivas de pequeño calibre, llevan la sensibilidad termoalgésica. Estas fibras se originan de receptores cutáneos, el cuerpo neuronal se localiza en el ganglio raquídeo y viajan en la médula espinal en el haz espinotalámico lateral. Ejemplo de neuropatías que afectan estas fibras son las neuropatías metabólicas y nutricionales, la neuropatía diabética, urémica, y las neuropatías inducidas por tóxicos y citostáticos. Las fibras motoras se originan en las motoneuronas del asta anterior de la médula e inervan el músculo esquelético. Estas fibras pueden afectarse preferencialmente en las neuropatías periféricas motoras, como por ejemplo, la neuropatía motora multifocal, la porfiria, la intoxicación por plomo, y el síndrome de Guillain-Barré. Finalmente, las fibras sensitivas que llevan información propioceptiva se originan en el órgano de Golgi y los husos neuromusculares, el cuerpo neuronal constituye la neurona sensitiva del ganglio raquídeo, y sus terminaciones proximales viajan en la médula espinal por los cordones posteriores. Algunas neuropatías afectan selectivamente estas neuronas y son conocidas con el nombre de neuropatías atáxicas. Ejemplo de estas son la neuropatía paraneoplásica (o ganglio-neuropatía), la neuropatía asociada a la enfermedad de Sjogren y la neuropatía atáxica idiopática (Stojkovic, 2006; Freynhagen *et al.*, 2006; Bennet *et al.*, 2006, 2007; Horowitz, 2007; Kraychete *et al.*, 2008; Attal *et al.*, 2008; Pascuzzi, 2009; Dworkin, 2009; Jensen y Finnerup, 2009; Jensen *et al.*, 2009).

Clasif cación de las neuropatías periféricas

La forma más sencilla de clasificar a las neuropatías es en agudas y crónicas, así como polineuropatías simétricas y mononeuropatías múltiples. Las agudas tienen un inicio inferior a una semana y las crónicas superior a un mes. La Asociación de Neuropatías, estableció la clasificación que aparece en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasif cación de las neuropatías periféricas

I. Neuropatías asociadas con enfermedades endócrinas y renales	II. Neuropatías inflamatorias o mediadas Inmunológicamente
A. Neuropatía diabética B. Neuropatía renal C. Neuropatía hipotiroidea	A. Polineuropatías inflamatorias agudas (Síndrome de Guillain-Barré y variantes) • Polineuropatía desmielinizante inflamatoria aguda o Síndrome de Guillain-Barré. •Neuropatía axonal motora aguda •Neuropatía axonal motora y sensitiva aguda • Síndrome de Miller-Fisher • Neuropatía sensitiva aguda o ganglioneuritis. • Neuropatía autonómica aguda (Pandisautonomía). B. Polineuropatías inflamatorias crónicas • Polineuropatía desmielinizante inflamatoria crónica • Neuropatía desmielinizante asociada con anticuerpos anti-MAG • Neuropatía motora multifocal • Neuropatía sensitiva asociada con anticuerpos anti-GD 1b y ganglósido disialosil. • Neuropatía sensitiva asociada con anticuerpos antisulfátido • Neuropatía sensitiva paraneoplásica asociada con anticuerpos anti-HU • Neuropatía axonal inflamatoria crónica • Neuropatía vasculítica, no sistémica o asociada con enfermedad sistémica C. Plexopatías • Plexitis braquial • Plexitis lumbosacral
III. Neuropatías infecciosas	IV. Neuropatías asociadas con tumores, neuropatías paraneoplásicas

A. Neuropatías causadas por virus • Citomegalovirus • Herpes simplex • Herpes zóster • Hepatitis C • Hepatitis B • vih tipo I - Neuropatía sensitiva simétrica distal o sensitivo-motora - Polineuropatías desmielinizantes inflamatorias aguda o crónica - Mononeuropatía múltiple - Neuropatía autonómica B. Neuropatías causadas por bacterias o parásitos • *Borrelia burgdorferi* (enfermedad de Lyme) • *Corynebacterium diphteria* (Difteria) • *Mycobacterium leprae* (Lepra) • *Trypanosoma cruzi* (enfermedad de Chagas)	•Neuropatía sensitiva asociada con anticuerpos anti-HU • Neuropatía motora paraneoplásica • Síndrome neuropatía mieloma y POEMS • Amiloidosis primaria • Neuropatías asociadas con gamapatías monoclonales IgM • Neuropatía sensitivo-motora tardía en cáncer avanzado • Mononeuropatía o mononeuropatía múltiple.
V. Neuropatías hereditarias (enfermedad de Charcot-Marie-Tooth), en las que se conocendefectos genéticos	VI. Neuropatías traumáticas y por atrapamiento
• Enfermedad de Charcot-Marie-Teth tipo 1B mutación en la glicoproteína de la proteínade mielina cero • Neuropatía hereditaria con predisposición aparálisis de presión: supresión o mutacionesen PMP22. • Enfermedad de Charcot-Marie-Tooth tipo X mutación en conexina 22. • Neuropatía amiloidea hereditaria: mutaciónen transtiretina • Enfermedad de Dejerine-Sottas: supresioneso mutaciones en PMP22 o en la proteína desmielina cero.	Síndrome del túnel del carpo • Radiculopatías cervical o lumbosacra. • Nervio mediano en el codo. • Síndrome del interóseo anterior • Nervio cubital en el codo o en la muñeca. • Nervio radial en el brazo • Nervio cítrico • Nervio peroneal común en la rodilla •Nervio tibial en la rodilla • Nervio femoro-cutáneo (meralgia parestésica) • Nervio accesorio espinal en el triángulo posterior cervical en el cuello • Mononeuropatías secuenciales múltiples.
VII. Neuropatía inducida por el frío.	VIII Toxinas que causan neuropatías
	•Acrilamida • Arsénico • Disulfuro de carbono • Plomo • Mercurio • Organofosforados • Platino • Talio • Cianuro (yuca) • Glucosinolatos en la dieta
IX. Causas nutricionales de neuropatías	X. Drogas que inducen neuropatías

•Alcohol • Tiamina (vitamina B1) • Cobalamina (vitamina B12) • Piridoxina (vitamina B6) • Tocoferol (vitamina E) • Neuropatía post gastrectomía	• Cloranfenicol • Cisplatino • Colchicina • Dapsona • Disulfiram • Isoniazida • Misonidazol • Metronidazol • Nitrofurantoína • Propafenona • Piridoxina (Vitamina B6) • Paclitaxel (Taxol) • Fenitoína • Simvastatina e hipolipemiantes similares • Tacrolimus (FK506) • Vincristina • Zalcitabina
XI. Neuropatía inducida por radiación	XII. Polineuropatía de cuidado crítico
XIII. Idiopáticas	
A. Polineuropatías idiopáticas • Neuropatía sensitiva de pequeñas fibras idiopática • Neuropatía sensitiva de grandes fibras idiopática • Neuropatía sensitiva de grandes y pequeñas fibras idiopática • Neuropatía sensitivo-motora axonal idiopática • Neuropatía axonal predominantemente motora idiopática • Neuropatía predominantemente autonómica idiopática B. Mononeuropatías idiopáticas • Parálisis de Bell • Neuralgia del trigémino • Otras mononeuropatías craneales • Mononeuropatía en sitios de no atrapamiento	

Fuente: Olney (1999).

Estado nutrimental y su efecto sobre la NP

Las neuropatías integran un estado clínico que pocas veces es asociado con el estado nutrimental y al tipo de alimentos que se consumen, y que en la mayoría de los casos no son diagnosticadas fácilmente por los médicos en la consulta de primer contacto. Lamentablemente se ha observado que las personas que sufren problemas de desnutrición y que con mayor frecuencia consumen alimentos como cereales, tubérculos y leguminosas que contienen compuestos potencialmente neurotóxicos como los glucósidos cianogénicos y glucosinolatos pueden desarrollar NP (Manji, 2011).

Glucósidos cianogénicos en tubérculos

En los tubérculos, se ha reportado que se lleva a cabo la cianogénesis, que es la capacidad de sintetizar glucósidos cianogénicos. El mecanismo de la cianogénesis incluye varias etapas, en la primera, la hidrólisis enzimática de los glucósidos cianogénicos, liberan ácido cianhídrico (HCN) conocido como ácido prúsico (Harborne, 1986), ésta hidrólisis es acompañada por la ß-glicosidasa, produciendo azúcares y una cianohidrina que espontáneamente se descompone en HCN y en una cetona o aldehído (Morant *et al.*, 2008). En una segunda etapa, puede catalizarse por la enzima liasa de hidronitrilo, la cual se encuentra presente en plantas cianogénicas (Harborne, 1986; Gruhnert *et al.*, 1994). A nivel de tejidos, la enzima y el glucósido cianogénico permanecen separados, pero si el tejido es dañado ambos se ponen en contacto y liberan el ácido cianhídrico (Gruhnert *et al.*, 1994). El ácido cianhídrico es extremadamente tóxico y con un amplio espectro, debido a su capacidad para ligarse con metales como el hierro, manganeso y cobre que son grupos funcionales de muchas enzimas, inhibiendo el proceso como la reducción de oxígeno en el citocromo de la cadena respiratoria, transporte de electrones en la fotosíntesis, y la actividad de las enzimas como la catalasa oxidasa (Cheeke, 1995; McMahon *et al.*, 1995).

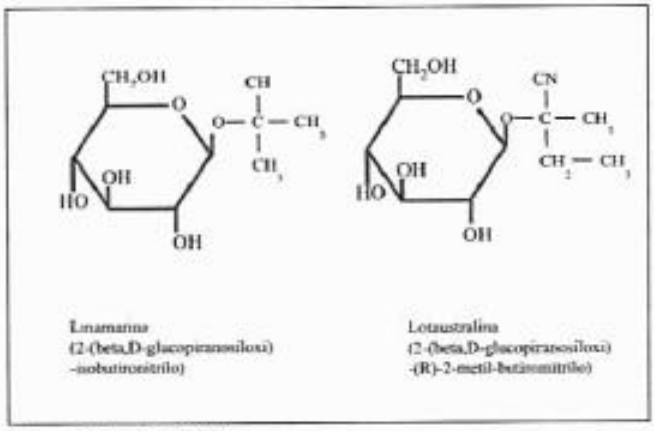
Existe una fuerte evidencia de que la cianogénesis, es uno de los mecanismos que pueden servir al tubérculo como un dispositivo de defensa contra los depredadores tales como los herbívoros. El nivel de glucósidos cianogénicos producido es dependiente de la edad y la variedad de los tubérculos, así como de los factores ambientales (Cooper-Driver y Swain, 1976; Woodhead y Bernays, 1977. La cianogénesis podría no ser usada por el tubérculo para sobrevivir; podría tomar parte en los procesos metabólicos y excretorios pero ciertamente existe una característica de valor para estas especies (Cooper-Driver y Swain, 1976; Woodhead y Bernays, 1977; Harborne, 1986; Tokarnia *et al.*, 1994).

Glucósidos cianogénicos en la yuca

Los dos glucósidos cianogénicos, más importantes identificados en la yuca son: la linamarina y lotaustralina (figura 1). Aproximadamente 85-90% del cianuro total de los tejidos en la yuca se encuentra como cianuro ligado o linamarina y sólo el 10-15% como cianuro libre o lotaustralina. Los glucósidos linamarina y lotaustralina con agua y por medio de la acción de la enzima linamarasa dan origen a la glucosa y cianhidrina. La cianhidrina por medio de la enzima dihidronitrilasa pasa a ser

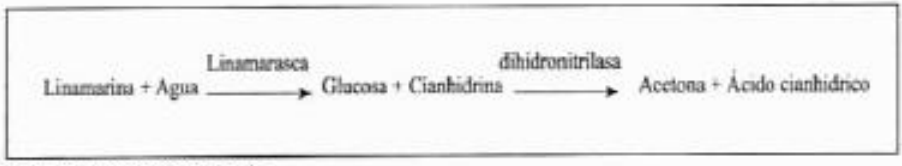
acetona y ácido cianhídrico libre gaseoso, este último es el que puede ocasionar toxicidad en el organismo (Teles, 2002: reacción 1).

Figura 1. Estructura química de la linamarina (lado izquierdo) y lotaustralina (lado derecho), dos de los principios activos tóxicos contenidos en la yuca



Fuente: Hruska (1998).

Reacción 1. Secuencia de transformación de la linamarina a ácido cianhídrico y acetona



Fuente: elaboración propia.

Intoxicación por consumo de yuca

La yuca produce una sabia o jugo lechoso que contiene el glucósido cianogénico venenoso linamarina. Los indígenas suramericanos extraen el veneno con un dispositivo especial llamado "tipiti". El hecho de hervir, procesar con vapor y hornear el material vegetal elimina la mayoría de la linamarina, sin embargo, no siempre se

destoxifica la yuca de manera correcta. La ingestión de grandes cantidades de yuca con alto contenido de cianógeno, en forma cruda o mal procesada, puede causar envenenamiento; la dosis letal mínima de ácido cianhídrico en los seres humanos es de 60 ppm. Aunque la intoxicación aguda por ácido cianhídrico es poco frecuente, el consumo prolongado de pequeños niveles del tóxico puede originar problemas nutricionales y fisiológicos serios. La mayoría de los síntomas de intoxicación se pueden asociar con la afinidad del ácido cianhídrico con iones metálicos como el hierro y el cobre. El ión cianuro reacciona con el ión hierro de la hemoglobina y forma cianohemoglobina, lo que imposibilita el transporte del oxígeno en la sangre. Asimismo, el ión cianuro puede formar complejos con algunas enzimas que tiene iones cobre como el citocromo-oxidasa, afectando ciertas reacciones del metabolismo, que pueden ocasionar depresión en los centros medulares, originando dificultades respiratorias y efectos tóxicos protoplasmáticos que pueden producir la muerte en casos extremos de intoxicación (Teles, 2002). La variedad que más se utiliza en la industria es la más tóxica, pero también la más rentable. La variedad Tailandia-8 (Thai 8), tiene 650 partes por millón (ppm) de cianuro, mientras que la variedad MColombia 1468 tiene 100 ppm. La producción de ácido cianhídrico (cianuro) depende de la biosíntesis de glucósidos glicogénicos (GCS) y de la existencia o ausencia de las enzimas que los degradan (Hernández *et al.*, 2001).

Con la destrucción de las células que componen la yuca, por maceración, se produce la liberación de los glucósidos cianogénicos a partir de las células del vegetal. De este proceso salen: la linamarina (97%) y la lotaustralina (3%). La manera más importante por la cual los componentes cianogénicos causan toxicidad, es mediante la formación del cianuro, que bloquea la capacidad de transportar oxigeno a los glóbulos rojos. La dosis mortal de cianuro es de 1.0 mg/kg de peso corporal, es decir, una persona de 60 kg muere si ingiere 60 mg de cianuro derivado de materia prima seca (Maduagwu, 1989). El consumo excesivo de yuca, el mal procesamiento, así como, una dieta pobre en proteínas se asocia con enfermedades neurodegenerativas y neurológicas (Peterson *et al.*, 1995).

Detoxif cación del cianuro por parte del organismo

El principal método de eliminación del cianuro y su transformación en tiocianato por la enzima rodanasa, requiere el aporte de grupos sulfhidrilo provenientes de los aminoácidos cisteína y metionina. La disponibilidad del sulfhidrilo es el factor limitante de la destoxificación, dado que la rodanasa es una enzima ubicua, que se expresa en cantidades notables, principalmente en el hígado. En consecuencia, supone

un apoyo notable a la hipótesis el hecho que la yuca no solo se caracteriza por un escaso contenido proteico, sino que además sus proteínas son particularmente pobres en cisteína y metionina (Banea *et al.*, 1997).

Glucosinolatos

Los glucosinolatos (Gls) son un grupo de metabolitos secundarios de plantas que contienen el grupo azufre. Se han identificado más de 120 diferentes glucosinolatos, todos comparten una estructura común que comprometen al grupo *β*-D-tioglucosa, un resto de oxima y una cadena derivada de la metionina, triptófano o fenilalanina. La ingestión de ciertas cantidades de glucosinolatos podrían deteriorar la salud. Una vez ingeridos, los glucosinolatos intactos o bien sus productos del desglose son absorbidos por el lumen intestinal y convertirlos en otros productos (Rowan *et al.*, 1991). Se sabe que los glucosinolatos inducen la deficiencia de yodo (Burel *et al.*, 2000), hipertrofia de hígado, riñón y tiroides (Mandiki *et al.*, 1999; Burel *et al.*, 2000; Mabon *et al.*, 2000; Tripathi *et al.*, 2001).

Por otra parte, como en el caso de los heterósidos cianogenéticos, estos compuestos se localizan en vacuolas y pueden ser hidrolizados en la misma planta por enzimas citoplasmáticas hidrolíticas denominadas mirosinasas (tioglucosidasas). Los productos restantes de la hidrólisis son variables dependiendo del pH del medio, a pH neutro, se originan isotiocianatos volátiles denominados senevoles que son los responsables del olor característico de estas drogas. Junto con los isotiocianatos, la hidrólisis origina glucosa, iones sulfato y nitrilos en baja proporción (Halkier y Gershenzon, 2006; Falk *et al.*, 2007; Bednarek, 2009). Su distribución es muy restringida encontrándose principalmente en la familia Brassicaceae, Capparidaceae y Resedaceae, proporcionando al vegetal que los contiene olores fuertes y sabor acre, picante. Los isotiocianatos son los responsables de la acción farmacológica aunque también son los responsables de su toxicidad (Halkier y Gershenzon, 2006).

Las plantas medicinales con glucosinolatos se emplean en terapéutica por sus propiedades rubefacientes y vesicantes y por actuar como antibacterianos y antifúngicos. También han mostrado un efecto expectorante y mucolítico. Algunas de estas drogas se consumen en alimentación, presentando efecto estimulante de la digestión y ligeras propiedades colagogas y laxantes, aunque no debe abusarse de las mismas (Hernández-Triana, 1995). Estudios epidemiológicos han demostrado que la ingestión en la dieta de cantidades considerables de vegetales con glucosinolatos (coles de bruselas, coles, brécol, coliflor, nabo, rábano y colza, entre otros)

son factores de causales de neuropatías con modificaciones del transporte axonal (Hernández-Triana, 1995).

La dosis diaria admisible para los distintos glucosinolatos se encuentra entre 24 y 1 200 mg/persona/día. Si se considera un catabolismo total de éstos a isotiocianatos y oxazolidintiona, entonces resulta difícil predecir un posible efecto tóxico agudo, a partir de las ingestiones medias observadas en algunos países (RFA: 43 mg/persona/día, Inglaterra: 46 mg/persona/día) (Lange *et al.*, 1992). Pero si su ingestión crónica coincide temporalmente con una manifiesta reducción de la ingestión de los componentes nutricionales que constituyen su punto de ataque en el metabolismo, como es el caso del aminoácido lisina, entonces su efecto tóxico a largo plazo pudiese incrementarse. Los isotiocianatos son potentes compuestos electrofílicos que reaccionan rápidamente, bajo condiciones fisiológicas, con algunos compuestos nucleofílicos como aminas, aminoácidos, alcoholes y agua. Los isotiocianatos reaccionan con los grupos amino y sulfidrilo de las proteínas para formar tiourea y ditiocarbamato, lo cual es la base de un método bastante conocido y utilizado durante años para la determinación de la secuencia aminoacídica de las proteínas (Kawakishi *et al.*, 1983). Los isotiocianatos atacan los enlaces disulfuro de la cistina en la insulina y en péptidos como el glutation oxidado (Kawakishi *et al.*, 1983) y en la albúmina y la proteína de colza. Adicionalmente éstos reaccionan con los grupos épsilon-amino de la lisina de las proteínas de la clara de huevo, lo cual reduce la biodisponibilidad de este aminoácido (Bjoerkman, 1973).

Una particular atención debe recibir la potencialidad de los isotiocianatos para generar efectos tóxicos sobre los mecanismos de la transmisión nerviosa. Para el transporte axonal resulta imprescindible la polimerización de la tubulina de los neurofilamentos de los axones y para ello se requiere que los grupos épsilon-amino de esta proteína se encuentren intactos (Sayre *et al.*, 1985). Para entidades que cursan con manifestaciones clínicas de la afectación del transporte neuroaxonal, como las neuropatías periféricas, diabéticas y por agentes químicos como hexano y disulfuro de carbono, se han descrito mecanismos coincidentes a nivel molecular. Los efectos de sustancias químicas como el disulfuro de carbono sobre el transporte axonal se generan por la interacción química de este compuesto con macromoléculas neuronales. Este agente tóxico reacciona con los restos épsilon-amino de la lisina de la tubulina de los microtúbulos, que se requieren para la normal interacción de los filamentos entre sí o con otros elementos del citoesqueleto axonal (DeCaprio, 1992).

Si las afectaciones neurológicas de estas entidades tienen mecanismos moleculares similares entre sí y coincidentes con los propuestos para las reacciones electrofílicas de los isotiocianatos, entonces la alteración del transporte neuroaxonal pudiera relacionarse como un efecto tóxico de la ingestión crónica de glucosinolatos. Por

ejemplo, la neuropatía epidémica, que alcanzó una alta incidencia en Cuba en el año 1993, se caracterizó por manifestaciones neurofisiológicas típicas de un compromet imiento del transporte y una degeneración axonal distal, con pérdida de los microtúbulos axonales en el 64% de los casos y degeneración total del axón en el 51% de ellos (Hernández-Triana, 1995). En estudios nutricionales de pacientes, comparados con individuos supuestamente sanos, se halló una manifiesta reducción de la ingestión de lisina, pero no un consumo mayor de vegetales portadores de glucosinolatos presentes en la col blanca (Gay *et al.*, 1994; Porrata *et al.*, 1995).

Conclusiones

Las neuropatías periféricas se encuentran entre las alteraciones neurológicas más comunes y su nivel de gravedad varía desde anormalidades sensoriales ligeras hasta trastornos paralíticos fulminantes, que pueden resultar mortales; sin embargo, a pesar del gran interés por identificarlas, en casi una cuarta parte de los pacientes atendidos en centros especializados no se puede explicar convincentemente por qué se produce ese tipo de afectación. Actualmente se conocen cada vez sustancias utilizadas en la industria y la agricultura que originan neuropatías periféricas, además existe un retraso en el avance de la investigación de los factores etiológicos que las originan. En lo que respecta al diagnóstico de neuropatías periféricas causadas por tóxicos, es necesario contar con un instrumento adecuado por parte del neurólogo en el que incluyan a qué tipo de factores epidemiológicos está expuesta la persona, nutrición deficiente con carencia de aminoácidos esenciales y vitaminas. Aunado a esto, no se dispone de encuestas a poblaciones expuestas al consumo de alimentos que contienen glucosinolatos, por lo que convendría ejercer una vigilancia constante para descubrir cualquier brote epidémico y ubicar las áreas endémicas.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte de las actividades desarrolladas por el Cuerpo Académico Biología, Química y Funcionalidad Molecular de metabolitos vegetales UVE-CA- # del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana.

Sobre los autores

Eduardo Rivadeneyra Domínguez,[1] Alma Vázquez Luna,[1] [2]Rafael Díaz Sobac. [1]Facultad de Química Farmacéutica Biológica, Universidad Veracruzana.[2] Lab de Biología y Química Molecular de Frutas. Instituto de Ciencias Básicas. UniversidadVeracruzana.

Referencias

Attal, N., C. Fermanian and J. Fermanian (2008), "Neuropathic pain: are three distinct subtypes depending on the aetiology and anatomical lesion", *Pain*, (138), pp. 343-53.

Banea-Mayambu, JP., T. Tylleskär, N. Gitebo, N. Matadi, M. Gebremedhin and H. Rosling (1997), "Geographical and seasonal association between linamarin and cyanide exposure from cassava and the upper motor neuron disease Konzo in Zaire", *Tropical Medicine & International Health*, (2), pp. 1143-51.

Bednarek, P., M. Pislewska-Bednarek, A. Svatos, B. Schneider, J. Doubsky, M. Mansurova, M. Humphry, C. Consonni, R. Panstruga, A. Sanchez-Vallet, A. Molina and P. Schulze-Lefert (2009), "A glucosinolate metabolism pathway in living plant cells mediates broad-spectrum defense", *Science*, (323), pp. 101-106.

Bennet, MI., N. Attal and M. M. Backonja (2007), "Using screening tools to identify neuropathic pain", *Pain*, (127), pp. 199-203.

Bennet, MI., BH. Smith and N. Torrance (2006), "Can pain be more or less neuropathic? Comparison of symptom assessment tools with ratings of certainty by clinicians", *Pain*, (122), pp. 289-94.

Bjoerkman, R. (1973), "Interaction between proteins and glucosinolate isothiocyanates and oxazolidinethiones from Brassica napus seed", *Phytochemistry* (12), pp. 1585-90.

Borsook, D. (2012), "Neurological diseases and pain", *Brain*, (2), pp. 320-44.

Burel, C., T. Boujard, S. J. Kaushik, G. Bouef, KA. Mol, S. Van der Geyten, VM. Darras, ER. Kuhn, B. Pradet-Balade, A. Quinsac, M. Krouti and D. Ribailler (2000), "Potential of plant protein sources as fish meal substitute for turbot (*Psetta maxima*): growth, nutrient utilization and thyroid status", *Aquaculture*, (188), pp. 285-298.

Burel, C., T. Boujard, SJ. Kaushik, G. Bouef, KA. Mol, S. Van der Geyten, VM. Darras, ER. Kuhn, B. Pradet-Balade, A. Quinsac, M. Krouti and D. Ribailler (2001), "Effect of rapessed meal glucosinolate on thyroid metabolism and feed utilization in rainbow trout", *General and Comparative Endocrinology*, (124), pp. 343-58.

Cheeke, PR. (1995), "Endogenous toxins and mycotoxin in forage grasses and their effects on livestock", *Journal of Animal Science*, (73), pp. 909-18.

Cooper-Driver, GA. and T. Swain (1976), "Cyanogenic polymorphism in bracken in relation to hervibore predation", *Nature*, (260), p. 204.

DeCaprio, AP., DC. Spink, X. Chen, JH. Fowke, M. Zhu and S. Bank (1992), "Characterization of isothiocyanates, thioureas, and other lysine adduction products in carbon disulfide-treated peptides and protein", *Chemical Research in Toxicology*,(5), pp. 496-504.

Dworkin, RH. (2009), "Introduction: recommendations for the diagnosis, assessment, and treatment of neuropathic pain", *American Journal of Medicine*, (10), pp. 1-2.

Falk, KL., JG. Tokuhisa and J. Gershenzon (2007), "The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms", *Plant Biology*, (9), pp. 573-81.

Freynhagen, R., R. Baron and U. Gockel (2006), "Pain DETECT: A new screening questionnaireto detect neuropathic components in patients with back pain", *Current Medical Research & Opinion*, (22), pp. 911-1920.

Gay, J., C. Porrata, M. Hernández, AM. Clua, JM. Argüelles and A. Cabrera (1994), "Factores dietéticos de la neuropatía epidémica en la Isla de la Juventud", Cuba, *Boletín de Sanidad Panamericana*, 117 (5), pp. 389-99.

Gruhnert, C., B. Biehl and D. Selmar (1994), "Compartmentation of cyanogenic glucosides and their degrading enzymes", *Planta*, (195), pp. 36-42.

Halkier, BA. and J. Gershenzon (2006), "Biology and biochemistry of glucosinolates", *Annual Review of Plant Biology*, (57), pp. 303-33.

Harborne, JB. (1986), "Recent Advances in chemical Ecology", *Natural Product Reports*, (3), pp. 324-44.

Hernández, T. (1995), "Glucosinolatos de la dieta, un posible factor causal de neuropatías con modificaciones del transporte axonal", *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, (9), pp. 111-17.

Hernández, T., P. Lundquist, L. Oliveira, R. Pérez-Cristiá, E. Rodríguez, H. Rosling, and A. Kaiser (2001), Auditory and vestibular defects in circling (C") rat mutant. *European Journal of Neuroscience*, (7), 1129,- 42

Horowitz, SH. (2007), "The diagnostic workup of patients with neuropathic pain", *Anesthesiology Clinics*, (4), pp. 699-708.

Hruska, AJ. (1988), "Cyanogenic glucosides as refence compounds: A review of the evidence", *Journal of Chemical Ecology*, (14), 2213-2217.

Jensen, TS. and NB. Finnerup (2009), "Neuropathic pain treatment: a further step forward", *Lancet*, (9697), pp. 1218-19.

Jensen, TS., CS. Madsen and N. B. Finnerup (2009), "Pharmacology and treatment of neuropathic pains", *Current Opinion in Neurology*, (5), pp. 467-74.

Kawakishi, S., T. Goto and M. Namiki (1983), "Oxidative scission of the disulfide bond of cystine by the action of allyl isothiocyanate", *Agriculture Biology and Chemistry*, (47), pp. 2071-6.

Kraychete, DC., J. L. Gozzani and A. C. Kraychete (2008), "Dor neuropática-aspectos neuroquímicos", *Revista Brasileira de Anestesiologia*, (5), pp. 498-505.

Lange, R., R. Baumgrass, M. Diedrich, K. P. Henschel and M. Kujawa (1992), "Glucosinolate in der Ernährung-Pro und Contra einer Naturstoffklasse. Teil II: Abbau und Stoffwechsel", *Ernährungsumschau*, (39), pp. 292-6.

Mabon, N., SNM. Mandiki, G. Derycke, JL. Bister, JP. Wathelet, M. Marlier, R. Paquay and M. Marlier (2000), "Chemical changes and influence of rapessed antinutritional factor on lamb physiology and performance. Part 3. Antinutrional factor in plasma and organ", *Animal Feed Science and Technology*, (85), pp. 111-120.

Maduagwu, EN. (1989), "Metabolism of linamarin in rats", *Food and Chemical Toxicology*, (27), pp. 451- 54.

Mandiki, SNM., N. Mabon, G. Derycke, JL. Bister, JP. Wathelet, M. Marlier, R. Paquay and M. Marlier (1999), "Chemical changes and influences of rapessed antinutritional factors on lamb physiology and performance. Part 2. Plasmatic substances and activity of the thyroid", *Animal Feed Science and Technology*, (81), pp. 93-103.

Manji, H. (2011), "Toxic neuropathy", *Current Opinion in Neurology*, (5), pp. 484-90.

McMahon, JM., W.L.B. White and RT. Sayre (1995), "Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta Crantz*)", *Journal of. Experimental Botany*, (46), pp. 731-41.

Mendell, JR. and Z. Sahenck (2003), "Painful sensory neurpathy", *The New England Journal of Medicine*, (348), pp. 1243-1255.

Morant, AV., K. Jorgensen, C. Jorgensen, S. M. Paquette, R. Sánchez-Pérez, BL. Moller and S. Bak (2008), "ß-Glucosidases as detonators of plant chemical defense", *Phytochemistry*, (69), pp. 1795-1813.

Mravec, B. (2011), "The role of central nervous system in etiopathogenesis of peripheral organ diseases", *Neuroendocrinology Letters*, (10), pp. 839-46.

Olney, R. (1999). "A guide to the peripheral neuropathies by The Neuropathy Association", *Muscle and Nerve*, (17), pp. 1293-1300.

Overell, JR. (2011), "Peripheral neuropathy: pattern recognition for the pragmatist", *Practice Neurology*, (2), pp. 62-70.

Pascuzzi, RM. (2009), "Peripheral neuropathy", *Medical Clinics of North America*, (90), pp. 317-42.

Peterson, SM., F. Légue, T. Tyllerkäir, E. Kpizingui and H. Rosling (1995), "Improved cassava-processing can help reduce iodine deficiency disorders in the Central African Republic", *Nutrition Research,* (15), pp. 803- 12.

Porrata, C., M. Hernández, M. Abreu and J. Gay (1995), "Asociación de la ingestión de aminoácidos esenciales y la neuropatía epidémica en la Isla de la Juventud, Cuba", *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición,* (9), pp. 123-27.

Rowan, TG., TLJ. Lawrence and SJ. Kershaw (1991), "Effects of dietary cooper and a probiotic on glucosinolate concentration in ileal digesta in faeces of growing pigs diets based on rapessed meals", *Animal Feed Science and Technology,* (35), pp. 247-58.

Sayre, LM., LA. AutilioGambetti and P. Gambetti (1985), "Pathogenesis of experimental giant neurofilamentous axonopathies: A unified hypothesis based on chemical modification of neurofilaments", *Brain Research Reviews,* (10), pp. 69-83.

Smith, AG. (2012), "Diagnosis of neuropathy: comment on "tests and expenditures in the initial evaluation of peripheral neuropathy", *Archives of Internal Medicine,* (172), pp. 132-3.

Stojkovic, T. (2006), "Peripheral neuropathies: The rational diagnostic process", *Revue de Médicine Interne,* (27), pp. 302-12.

Teles, FF. (2002), "Chronic poisoning by hydrogen cyanide in cassava and its prevention in Africa and Latin America", *Food and Nutrition Bulletin,* (4), pp. 407-12.

Tokarnia, CH., PV. Peixoto and J. Dobereiner (1994), "Intoxicacao experimental por *Piptadenia macrocarpa* (Leg. Mimosoideae) em bovinos", *Pesquisa Veterinária Brasileira,* (14), pp. 57- 63.

Tripathi, MK., IS. Agrawal, SD. Sharma and DP. Mishra (2001), "Effect of untreated, HCl treated or copper and iodine supplemented high glucosinolate mustard (Brassica juncea) meal on nutrient utilization, liver enzymes, thyroid hormones and growth of calves", *Animal Feed Science and Technology,* (92), pp. 73-85.

Woodhead, S. and E. Bernays (1977), "Change in release rates of cyanide in relation to patability of Sorghum to insects", *Nature,* (270), pp. 235-36.

Química cuántica: herramienta predictiva e interpretativa en la ciencia de los alimentos

Sergio Durand Niconoff, Alma Vázquez Luna,Rafael DiazSobac

Las propiedades que describen la relación estructura-función de un sistema molecular, están fuertemente correlacionadas con la distribución de la densidad electrónica a lo largo del sistema. Para cuantificar tales propiedades se encuentran reportados en la literatura dos enfoques complementarios (Bader *et al;* Parr *et al.*) mediante QTAIM han aportado conceptos que surgen de las propiedades topológicas de la función de densidad electrónica con los que se ha fundamentado el concepto de enlace químico.

Por su parte el grupo de Parr, mediante la teoría del funcional de la densidad (DFT), ha aportado el fundamento teórico a conceptos de reactividad química, como la dureza y blandura globales. Parr y Pearson (1983), definen la dureza global de un sistema molecular como la segunda derivada de la energía con respecto al número de electrones manteniendo el potencial externo a la nube electrónica constante (consistente en el potencial atractivo electrón-núcleo, más cualquier otro potencial aplicado), o de manera equivalente como la derivada del potencial químico con respecto al número de electrones a potencial externo constante. Esto se puede interpretar como la resistencia del potencial químico a cambiar debido a variaciones en el número de electrones del sistema, así por ejemplo, un aumento en el número de electrones en la molécula disminuye su tendencia a aceptar más electrones de sus alrededores.

Yang y Parr (1985), definen la blandura global como 0.5 veces el recíproco de la dureza global, o equivalentemente la derivada parcial del número de electrones con respecto al potencial químico, a potencial externo constante. Gázquez y Vela (1990), demostraron que la blandura atómica correlaciona linealmente con la polarizabilidad.

Al aplicar la aproximación de diferencias finitas a las derivadas que definen tanto a la dureza, como a la blandura global, S, se obtienen expresiones operacionales que permiten su cálculo práctico:

$$\eta = \frac{I-A}{2} \quad \ldots\ldots (1)$$

$$S = \frac{1}{I-A} \quad \ldots\ldots (2)$$

En donde η es la dureza global, S la blandura global e I y A son el potencial de ionización y la afinidad electrónica de la especie química, respectivamente.

Estas dos funciones de respuesta molecular, la dureza y su recíproca la blandura son de bastante utilidad en el estudio de la reactividad química. Su utilidad se basa en el trabajo de Pearson (1963), en el que define y clasifica dos tipos de ácidos y bases, de acuerdo al valor de la dureza de la molécula, como ácido/base duros y ácido/base blandos. También propuso el principio llamado duro-suave ácido-base (HSAB), de acuerdo con el cual, un ácido duro prefiere reaccionar con una base dura, mientras que un ácido blando tiende a enlazarse con una base blanda.

Estas preferencias "duro-duro" y "suave-suave" fueron explicadas por Klopman (1974), en términos de transferencia de carga y de interacciones entre los orbitales frontera. Parr y Chattaraj (1991), dieron una prueba de este principio de reactividad global y del principio de máxima dureza (PMH) que relaciona la dureza con la estabilidad de la molécula.

Con este principio de reactividad global HSAB se ha explicado exitosamente reacciones entre ácidos y bases (Pearson, 1973, 1987; Nalewajski, 1984). La dureza y la suavidad globales caracterizan la reactividad de una molécula como un todo. Hay un interés en caracterizar la reactividad global mediante funciones de respuesta explícita a la donación o aceptación de carga electrónica por el sistema molecular (Chattaraj *et al.*, 2006).

Se han propuesto un conjunto de descriptores de reactividad global (Gázquez *et al.*, 2007), obtenidos mediante un modelo de transferencia de carga electrónica no entera con sus alrededores y sin que se sature la molécula. Los alrededores son modelados como un baño idealizado de electrones libres, con potencial químico cero a

una temperatura de 0 K. Estos autores obtienen expresiones para cuantificar la sensibilidad de un sistema para donar o aceptar cantidades fraccionales de carga en términos del cuadrado del potencial químico, dividido por la dureza (relación a partir de la cual definen los índices globales de capacidad aceptora, y capacidad donadora). De igual forma, al considerar que la dirección del flujo de carga está determinada fundamentalmente por el potencial químico, estos autores proponen un esquema de interpolación de la energía en función del número de electrones tal que, al determinar sus derivadas laterales en el estado de referencia con N electrones, la distinción entre los procesos de aceptar y donar carga les permite definir los potenciales químicos receptor y donador. Al determinar aproximadamente cada una de las derivadas involucradas en la definición de estos índices globales de reactividad, mediante la aproximación de diferencias finitas (Gázquez *et al.*, 2007), se encuentran las siguientes expresiones en términos del potencial de ionización I y de la afinidad electrónica A, que permiten el cálculo práctico:

$$\mu^+ \cong -\frac{1}{4}(I + 3A)$$

$$\mu^- \cong -\frac{1}{4}(3I + A)$$

$$\omega^+ \cong \frac{(I + 3A)^2}{16(I - A)}$$

$$\omega^- \cong \frac{(3I + A)^2}{16(I - A)}$$

Otro aspecto importante de la reactividad es la respuesta de la molécula en sitios específicos de ella, la reactividad local, con lo que se obtiene información de tendencias de selectividad. Conceptos como blandura local, función Fukui *et al.* (1989), capacidad electrodonadora y electroaceptora local (Gázquez *et al.*, 2007) han sido propuestos como índices de reactividad local para describir el papel de un átomo específico de la molécula en su reactividad.

La blandura local, s(r) Yang (1985), se define como la derivada de la densidad electrónica $\rho(r)$, en el punto r de la molécula, respecto al cambio en el potencial químico, μ, manteniendo el potencial externo a la nube electrónica, $v(r)$, constante:

$$s(r) = \left(\frac{\partial \rho r}{\partial \mu} \right)_{v(r)}$$

Considerando que la densidad electrónica, $\rho(r)$, depende del número de electrones, N, y que, a su vez éste se ve afectado por cambios en el potencial químico, μ, entonces por la regla de la cadena (Klopman, 1974), se puede expresar como:

$$s(r) = \left(\frac{\partial \rho(r)}{\partial N} \right)_{v(r)} \left(\frac{\partial N}{\partial \mu} \right)_{v(r)}$$

En donde el primer factor del segundo miembro es la definición de la función Fukui, f(r) (Parr y Yang, 1984), y el segundo factor es la blandura global, S, del sistema (Yang y Parr, 1985).

Así, (8) se puede escribir en la forma:

$$s(r) = f(r)\, S$$

Debido al carácter discreto de la densidad electrónica como función del número de electrones, la derivada que define a la función Fukui es discontinua en N y debe ser evaluada lateralmente.

Parr y Yang (1984), evaluaron estas derivadas por diferencias finitas e identificaron dos tipos de funciones Fukui, y mismas que asociaron con los ataques nucleofílico y electrofílico, respectivamente. Además, Yang y Mortier (1986), integraron estas funciones Fukui sobre regiones atómicas y obtuvieron las funciones Fukui condensadas al átomo x, (α = +,-). Al multiplicar estos valores condensados por la blandura global, de acuerdo a (9), se obtienen dos tipos de expresiones para la blandura local:

$$s_x^+ = f_x^+ S$$

$$s_x^- = f_x^- S$$

Con:

$$f_x^+ = [\, q_x(N+1) - q_x(N) \,]$$

$$f_x^- = [\, q_x(N) - q_x(N-1) \,]$$

Donde (con i = N-1, N, N+1) denota la población electrónica del átomo x en la molécula con i electrones.

Según estos resultados y de acuerdo a Parr y Yang (1984), el átomo con la función de Fukui condensada de mayor valor para el ataque nucleofílico/electrofílico, y por lo tanto con la blandura local condensada de mayor valor para el ataque nucleofílico/electrofílico es el centro más reactivo dentro de una molécula [14].

Sin embargo, posteriormente Gázquez y Méndez (1994), demostraron que la interacción entre dos moléculas no necesariamente tiene lugar a través de los átomos más blandos en cada uno de ellos, sino que igual se lleva a cabo a través de átomos de igual blandura. Estos resultados conocidos como el principio local HSAB, han sido estudiados con el objeto de determinar la validez de los resultados así como para predecir los átomos reactantes dentro de un par de moléculas (Chatterjee *et al.*, 1999).

Caracterizar descriptores topológicos de la densidad electrónica en fase gaseosa, aportará información básica para determinar el tipo de estructura y estabilidad de algunos sistemas moleculares con actividad biológica. También la determinación, en fase gaseosa, de índices de reactividad global y local coadyuvará en primera aproximación para poder describir características de la reactividad de estos sistemas y poder describir, por lo menos parcialmente, su actividad biológica. Mediante QTAIM (Bader, 1990), se han aportado conceptos que surgen de las propiedades topológicas de la función de densidad electrónica con los que se ha fundamentado el concepto de enlace químico. La formulación QTAIM se basa en las características de los puntos críticos (identificados con el subíndice c) de la densidad electrónica ρ, esto es, puntos en donde el gradiente de la densidad es igual a

cero. Para localizar y caracterizar tales puntos se sigue un procedimiento que se esquematiza de la siguiente manera:

1. Se calcula el gradiente de la función de la densidad electrónica, se iguala a cero y se resuelve para encontrar las coordenadas de los puntos críticos, r_c. $\rho(r_c)$ es un punto crítico de la densidad electrónica, ssi$\nabla \rho(r_c)=0$.
2. Se construye la matriz Hessiana, H(r) y se evalúa en las coordenadas de los puntos críticos, $H(r_c)$. Esta matriz está formada con las segundas derivadas de la densidad electrónica respecto a sus coordenadas espaciales, x, y, z.

$$H(r_C) = \begin{matrix} \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial x\, \partial y} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial x\, \partial z} \\ \frac{\partial^2 \rho}{\partial y\, \partial x} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial y^2} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial y\, \partial z} \\ \frac{\partial \rho}{\partial z\, \partial x} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial z\, \partial y} & \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} \end{matrix}$$

A esta matriz se le calculan sus valores y vectores propios y se diagonaliza. Esta diagonalización se interpreta como la búsqueda de un nuevo sistema de ejes coordenados formado por los vectores propios, rotados respecto a los originales de tal manera que se alineen con los ejes principales de los puntos críticos. Los valores propios, correspondientes a cada uno de los vectores propios se interpretan como las curvaturas de la densidad electrónica a lo largo de cada uno de dichos ejes. En la terminología de esta metodología al número de curvaturas no nulas (valores propios) se le llama rango "rank" del punto crítico y se le denota por la letra ω. Otro parámetro es la "señalización" misma que cuantifica la suma de los signos de los valores propios. Esto es, los puntos críticos son denotados por la pareja (ω, σ).

Considerando solo los puntos críticos con rango 3, existen solo cuatro posibles "señalizaciones":

σ=-3 Todos los valores propios (curvaturas) son negativas; en el punto crítico, la densidad electrónica alcanza un máximo local. Este punto crítico es un "pico" de densidad y se localiza en la posición de los núcleos. Se le asocia con un punto crítico no enlazante, NCP.

σ=-1 Dos valores propios, y son negativos y positivo; la densidad es máxima en el plano definido por los ejes asociados a los vectores propios correspondientes, y es un mínimo en el punto crítico a lo largo del tercer eje perpendicular a dicho plano. Este es un punto de ensilladura en la grafica de la densidad electrónica y se localiza en las posiciones de enlace. Se le conoce como punto crítico de enlace, BCP.

σ=+1 Dos curvaturas son positivas y una negativa; en este caso la densidad electrónica es un mínimo en el punto crítico en el plano definido por los vectores propios correspondientes a los valores propios positivos y es un máximo a lo largo del tercer eje perpendicular a dicho plano. Este punto crítico corresponde a una estructura de anillo. Se le llama punto crítico de anillo RCP.

σ= +3 Todos los valores propios son positivos; la densidad alcanza un valor de mínimo local en el punto crítico. Se les conoce como punto crítico de "cage".

Cuando en un sistema molecular se conectan varios anillos de tal manera que encierran una región intersticial se forma una "cage". Al punto crítico asociado se le denota como CCP.

El número y tipo de puntos críticos que puede tener un sistema molecular aislado cumple con una relación conocida como la relación de Poincare-Hopf.

$$n_{NCP} - n_{BCP} + n_{RCP} - n_{CCP} = 1$$

Fuente: En donde n denota el numero del tipo de punto crítico indicado en el subíndice.

El no cumplimiento de esta ecuación indica que la búsqueda de puntos críticos es incompleta y que se debe hacer una búsqueda adicional de ellos. El hecho de asociarse máximos de la densidad electrónica en las posiciones de los núcleos permite determinar una partición de la región molecular en regiones mono nucleares, Ω, identificadas como átomos en la molécula. La superficie que limita un átomo en una molécula es una en la que el flujo del gradiente de la densidad es cero, esto es, sobre la superficie S, se cumple:

$\nabla \rho\ (r) \cdot n\ (r) = 0$ para todo r sobre la superficie, S(r, Ω).
r es el vector de posición y n(r) es un vector unitario normal a la superficie.
Estas regiones mono nucleares se les conocen como regiones atómicas.

Un enlace químico aparece cuando dos átomos en la molécula comparten sus superficies atómicas mismas que se encuentran ligadas por una acumulación local de densidad electrónica en un punto crítico (ω=3, σ=-1). Esta liga se compone de dos trayectorias que se originan en este punto crítico de ensilladura y se le conoce como "trayectoria de enlace"; debido a que tales trayectorias dependen del gradiente de la densidad una mitad de la trayectoria de enlace puede no ser co-lineal con la otra mitad que corresponde a la trayectoria de enlace de la región atómica adyacente.

Estos puntos críticos de enlace PCE (ω=3, σ=-1), se localizan entre dos núcleos próximos de una geometría molecular optimizada e indican la existencia de un enlace químico entre ellos y presentan algunas propiedades interesantes con respecto a la reactividad química.

La densidad electrónica en el punto crítico de enlace

En general, es mayor que 0.20 μa en un enlace covalente y menor a 0.10 μa en una interacción de capa cerrada (por ejemplo enlaces iónicos, de van der Waals, de hidrógeno).

El laplaciano de la densidad electrónica en el PCE

El laplaciano de la densidad electrónica en el PCE es la suma de las segundas derivadas parciales con respecto a x, y, z, respectivamente o de manera equivalente es la suma de las tres curvaturas de la densidad en el punto crítico:

$$\nabla^2 \rho_c = \frac{\partial^2 \rho(r)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho(r)}{\partial y^2} + \frac{\partial\ \rho(r)}{\partial z^2}$$

Con:

$$\frac{\partial^2 \rho(r)}{\partial x^2} = \lambda_1$$

$$\frac{\partial^2 \rho(r)}{\partial y^2} = \lambda_2$$

$$\frac{\partial^2 \rho(r)}{\partial z^2} = \lambda_3.$$

Las curvaturas "Y" son perpendiculares a la trayectoria de enlace y el valor absoluto de la primera es mayor que el valor absoluto de la segunda, la tercera, es positiva y está en la dirección de la trayectoria de enlace. Las curvaturas negativas cuantifican la concentración de la densidad a lo largo de la trayectoria de enlace y la positiva mide la intensidad con la que la densidad electrónica está disminuida en la región de la superficie interatómica y que se encuentra concentrada en las regiones atómicas individuales.

En un enlace covalente las dos curvaturas negativas son dominantes y por lo tanto el laplaciano es negativo en el punto crítico de enlace, así por ejemplo el laplaciano tiene un valor de -1.1 μa en un PCE asociado al enlace C-H. En contraste una interacción de enlace de hidrógeno N-(HO)C tiene un valor positivo del laplaciano de +0.03 ua. En un enlace fuertemente polar del tipo CX, en donde X=O, N, F existe una acumulación importante de densidad electrónica en el PCE y todas son interacciones en donde el laplaciano puede tener cualquiera de los dos signos.

Las densidades de energía en un PCE

Las densidades de energía (potencial, cinética y total) se utilizan para resumir la mecánica de una interacción enlazante. La densidad de energía potencial, v(r), también conocida como campo virial, es el campo potencial efectivo promedio experimentado por un solo electrón en el punto r del sistema molecular. Esta densidad de energía es siempre negativa y su integral en todo el espacio produce la energía potencial total de la molécula. El teorema local del virial expresa la relación entre la

densidad de energía potencial, la densidad de energía cinética y el laplaciano en un punto r del sistema molecular en un estado independiente del tiempo.

$$\left(\frac{h^2}{16\,\pi^2 m}\right)\nabla^2\rho(r) = 2G(r) + V(r)$$

Fuente: En donde G(r) es el gradiente de la densidad de energía cinética, m la masa del electrón.

Como G(r) siempre es positiva y v(r) negativa, cuando el teorema del virial local se aplica en un PCE implica que las interacciones con laplaciano negativo en ese punto están caracterizadas por una reducción local de la densidad de energía potencial. De igual forma las interacciones para las cuales el laplaciano es positivo estarán caracterizadas por un exceso de densidad de energía cinética.

La elipticidad del enlace

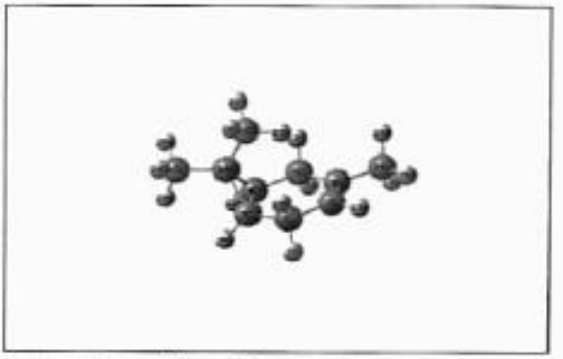
La densidad de carga electrónica alcanza un valor máximo en el plano de la superficie interatómica en el PCE. Por consiguiente, los dos valores propios, asociados a los vectores propios que definen el plano, son negativos, y si la sección del enlace es cilíndrica, como en un enlace con simetría σ, las curvaturas en ambas direcciones de estos vectores propios que definen el plano interatómico son iguales. Sin embargo, en general los electrones pueden estar preferencialmente acumulados en una u otra dirección, por lo que esta diferencia en la magnitud de las curvaturas se observa en los enlaces con simetría π. Si es el valor de la curvatura más pequeña "y" es la otra curvatura negativa, la elipticidad del enlace ε, queda dada en la forma:

$$\epsilon \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1$$

Así, la elipticidad del enlace es un parámetro que cuantifica la deslocalización electrónica en sistemas conjugados.

Como un ejemplo del uso de estos métodos se muestra a continuación la caracterización en fase gaseosa de la molécula de 3-careno. Este sistema presenta actividad biológica contra la mosca blanca *Bemisia argentifolii*, plaga común de frutos comestibles de valor comercial como el melón y la sandía (Vázquez-Luna *et al.*, 2007).

Figura 1. Geometría optimizada del 3-careno



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 1. Índices globales de reactividad, unidades atómicas

η= 0.235	S= 2.131	μ^- = -0.217	μ^+ = -0.017	ω^- = 0.101	ω^+ = 6.44510^{-4}

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 2. Descriptores topológicos de la densidad electrónica en puntos críticos de enlace entre los átomos que se indican del sistema molecular 3-careno

	ρ	$\nabla^2\rho$	ϵ	$\left\|\frac{\lambda_1}{\lambda_3}\right\|$	Índice de enlace
C2-C6	0.244	-0.524	0.032	1.268	0.981
C2-C7	0.251	-0.556	0.049	1.314	1.011
C7-C3	0.335	-0.838	0.374	1.863	1.720
C6-C4	0.230	-0.359	0.493	1.232	0.942
C4-C5	0.244	-0.524	0.032	1.266	0.982
C5-C3	0.251	-0.554	0.046	1.306	0.993
C3-C14	0.251	-0.558	0.035	1.314	1.012
C6-C18	0.233	-0.377	0.452	1.237	0-932
C4-C18	0.233	-0.377	0.452	1.238	0.933
C18-C19	0.245	-0.528	0.030	1.273	0.983
C18-C23	0.246	-0.532	0.031	1.276	0.980

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 3. Descriptores locales de reactividad sobre cada átomo de la molécula de 3-careno

	fx^-	Sx^-	fx^+	Sx^+
C2	0.035	0.075	0.029	0.062
C3	0.057	0.121	0.091	0.194
C4	0.029	0.062	0.035	0.075
C5	0.039	0.083	0.026	0.055
C6	0.031	0.066	0.052	0.111
C7	0.060	0.128	0.100	0.213
C14	0.039	0.083	0.033	0.070
C18	0.027	0.058	0.049	0.104
C19	0.043	0.092	0.022	0.047
C23	0.035	0.075	0.026	0.055

Fuente: elaboración propia.

A nivel global, en el cuadro 1 se observa que el valor de la capacidad donadora del 3-careno es un poco más de 150 veces mayor que su capacidad aceptora. Esto haría suponer que este sistema molecular en fase gaseosa es un mejor donador que aceptor de carga electrónica.

Los valores de los parámetros de la topología de la densidad electrónica en los puntos críticos de enlace (PCE) se muestran en el cuadro 2. Estos valores indican un sistema con interacciones covalentes. La densidad electrónica en estos puntos críticos, , tiene sus valores más pequeños en el anillo triangular, 0.230 en el PCE en el enlace C6-C4, y 0.233 en los dos enlaces restantes de este anillo, C4-C18 y C6-C18. El mayor valor que es de 0.335 corresponde al punto crítico entre C7 y C3, en donde se encuentra un doble enlace. Correspondientemente a estos valores de la densidad electrónica se tienen los valores del laplaciano de la densidad, . Al enlace con menor acumulamiento de la densidad electrónica, C6-C4, le corresponde el laplaciano de mayor valor (el menos negativo) igual a -0.359, y a los demás enlaces que forman el anillo triangular, C6-C18, C4-C18 un valor igual de -0.377. El enlace con mayor densidad electrónica en su PCE, C7-C3 le corresponde el valor más pequeño del laplaciano (el más negativo) -0.839. El signo negativo del laplaciano indica que la carga electrónica está localmente concentrada en el punto crítico, por lo que, tanto en los PCE del doble enlace, como en los correspondientes al anillo triangular, se tiene acumulación de la densidad electrónica aunque es mayor en la del doble enlace. Estos valores de la densidad electrónica y su laplaciano, permiten predecir al enlace C7-C3 como una región básica, es decir, una región propensa a

la donación de electrones. También, de acuerdo al signo y valor del laplaciano y por el teorema del virial local, en estos PCE los electrones poseen una mayor cantidad de densidad de energía potencial, que de densidad de energía cinética, siendo mayor en el doble enlace.

El valor de la elipticidad, en los PCE, muestra que la mayor elipticidad se encuentra en la estructura del anillo triangular. El enlace C6 y C4, el de mayor densidad y menor laplaciano, es el de mayor elipticidad con un valor de 0.493, seguido por el valor en los enlaces C6-C18 y C4-C18 con una elipticidad común de valor 0.452. En magnitud sigue el valor de la elipticidad en el enlace C7-C3, con un valor igual a 0.374. Este valor alto se debe a la naturaleza de doble enlace. Matta y Hernández-Trujillo (2003), demostraron que existe una correlación lineal entre el orden de enlace y la elipticidad, relación que se puede aplicar a la deslocalización de la carga electrónica. La mayor deslocalización de carga electrónica se encontraría en los enlaces del anillo triangular, en particular en C7-C3. En el doble enlace hay deslocalización menor que en el anillo triangular.

En el cuadro 3, se indican los valores de la función Fukui y de la blandura local condensada en los átomos de carbono. De acuerdo a los valores de la blandura local condensada para el ataque electrofílico, los sitios importantes son C7 y C3, con valores de iguales a 0.213 y 0.194, respectivamente. Esta importancia es consistente con los valores topológicos que indicaban esta zona como la más básica del sistema molecular.

Debe notarse también que los sitios C6 y C18 tienen importancia, aunque menor, para recibir un ataque electrofílico. Igualmente se observa que C7 y C3 son sitios importantes para un ataque nucleofílico.

Sobre los autores

Sergio Durand Niconoff,[1] Alma Vázquez Luna,[1] Rafael Díaz Sobac.[1] [1]Lab de Biología y Química Molecular de Frutas. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Veracruzana.

Referencias

Bader R. F. W. (1990), *Atoms in Molecules. A Quantum Theory*, Claredon, Oxford.
Chattaraj P. K., U. Sarkar and D. R. Roy (2006), "J. Am. Chem", *Soc.* 106, p. 2065.
Chatterjee A., T. Iwasaki, E. Takeo, J. Phys (1999), "J. Am. Chem", *Soc.* 103, p. 2489.

Gázquez J. L., A. Cedillo and A. Vela, J. Phys (2007), "J. Am. Chem", *Soc.* A111, p. 1966.
Gázquez J. L., F. Méndez, J. Phys (1994), "J. Am. Chem", *Soc.* 98, p. 4591.
Klopman G. (1974), *In Chemical Reactivity and Reaction Pathways*, G. Klopman, ed. Wiley, New York.
Krishnamurty S., R. K. Roy, R. Vetrivel, S. Iwata, S. Pal, J. Phys (1997), "J. Am. Chem", *Soc.* 101, p. 7253.
Matta, C., J. Hernandez-Tujillo, J. Phys (2003), "J. Am. Chem", *Soc.* 107, p. 7496.
Nalewajski R. F. (1984), "J. Am. Chem", *Soc.* 106, p. 944.
Parr. R. G., P. K. Chattaraj (1991), "J. Am. Chem", *Soc.* 113, p. 1855.
Parr. R. G., W. Yang (1984), "J. Am. Chem", *Soc.* 106, p. 4049
Parr R. G., W. Yang (1989), *Density Functional Theory of Atoms and Molecules*, Oxford University Press, New York.
Parr, R. G., R. G. Pearson (1983), "J. Am. Chem", *Soc.* 105, pp. 7512-7516
Pearson R. G., (1963), "J. Am. Chem", *Soc.* 85, p. 3533.
Pearson R. G. (1973), *Hard and Soft Acids and Bases: Dowden*, Hutchinson and Ross, Strodsburg, PA.
Pearson R. G. (1987), "J. Am. Chem", *Soc. Edu*, 64, p. 561.
Vela A. J. L. Gázquez (1990), "J. Am. Chem", *Soc.* 112, pp. 1490-1492.
W. Yang., R. G. Parr (1985), Proc. Natl. Academ. Sci. USA, 82, pp. 6723-6726.
Vázquez-Luna. A., L. Pérez-Flores, R. Díaz-Sobac (2007), *Cienc. Tecnol. Aliment.* 5(4), pp. 306-313.
Yang W., W. Mortier (1986), "J. Am. Chem", *Soc.* 108, p. 5708.

Importancia de la inocuidad en productos hortofrutícolas

María de Lourdes Froto Madariaga, Luis Maconetzin Isidro Requejo, María Alejandra Chavira Zúñiga, Octavio Antonio Alvarado Reveles

Resumen

México tiene un gran potencial para la producción de frutas y hortalizas. La inocuidad de los alimentos de origen vegetal destinados al consumo humano, se ha convertido en un elemento importante en los debates sobre la salud pública a nivel global. Para los consumidores, la confianza en la inocuidad e integridad de los alimentos es un requisito importante. Los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos en los que intervienen agentes como *Escherichia coli, Salmonella, Shigella,* y contaminantes químicos (pesticidas, fertilizantes, herbicidas), ponen de manifiesto los problemas existentes de inocuidad de los alimentos y aumentan la preocupación pública de que los modernos sistemas de producción agrícola, elaboración y comercialización no ofrezcan condiciones adecuadas para la salud.

El capítulo describirá la importancia de la inocuidad alimentaria en productos hortofrutícolas ya que están expuestos a agentes patógenos, tanto químicos como biológicos (virus, parásitos y bacterias), a los cuales nadie es inmune, ni en países en desarrollo ni desarrollados. Cuando estos productos se contaminan en niveles inadmisibles de agentes patógenos y contaminantes químicos, o con otras características peligrosas, conllevan riesgos sustanciales para la salud de los consumidores, y representan grandes cargas económicas para las diversas comunidades y naciones; las poblaciones están expuestas a una serie de enfermedades e intoxicaciones transmitidas por estos

alimentos, cuando los métodos de producción, comercialización y transporte no se llevan a cabo con las condiciones higiénicas necesarias. La difusión de la importancia de la inocuidad alimentaria a nivel mundial ha provocado importantes cambios en la producción de alimentos en los países desarrollados, mientras que en los países en desarrollo, los grandes productores de frutas y hortalizas se adhieren a las buenas prácticas de producción y manufactura, principalmente por el interés de exportar. Sin embargo, falta difusión, concientización e investigación sobre inocuidad alimentaria, tanto a este nivel, como entre medianos y pequeños productores.

Palabras clave: inocuidad, productos hortofrutícolas, contaminación química, patógenos.

Introducción

Inocuidad en el sector hortofrutícola: importancia, problemática y retos.

La inocuidad es la condición de los alimentos que garantiza que no causarán daño al consumidor cuando se preparan y/o consumen, de acuerdo con el uso al que se destinan.

Las frutas frescas constituyen un grupo de alimentos indispensable para la salud, especialmente por su aporte de fibra, vitaminas, minerales y sustancias de acción antioxidante. Los productos hortofrutícolas son alimentos básicos en la dieta humana, pero tienen el inconveniente de ser perecederos, bien por causas endógenas (reacciones enzimáticas) o bien por causas exógenas (agentes físico-químicos), por lo que se dispone de ellos durante períodos cortos de tiempo.

La inocuidad de los alimentos de origen vegetal destinados al consumo humano se ha convertido en un elemento importante en los debates sobre la salud pública a nivel global, es por ello, que los países exportadores de productos hortofrutícolas buscan desarrollar sistemas de protección alimentaria, basados en métodos que conlleven a evaluar los riesgos de transmisión de enfermedades por los alimentos (Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, 1998b).

Para los consumidores, la confianza en la inocuidad e integridad de los alimentos es un requisito importante. Los brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos en los que intervienen agentes como *Escherichia coli, Salmonella, Shigella,* y contaminantes químicos (pesticidas, fertilizantes, herbicidas) ponen de manifiesto los problemas existentes de inocuidad de los alimentos y aumentan la preocupación pública de que los modernos sistemas de producción agrícola, elaboración y comer-

cialización no ofrezcan condiciones adecuadas para la salud pública. Entre los factores que contribuyen a los posibles riesgos de los alimentos se incluyen las prácticas agrícolas inadecuadas y la falta de higiene.

La calidad de los alimentos es una característica compleja que determina su valor o aceptabilidad para el consumidor. Abarca atributos negativos como el estado de descomposición, contaminación con suciedad, decoloración y olores desagradables, y atributos positivos, como origen, color, aroma, textura y métodos de elaboración de los alimentos (FAO/OMS, 2003).

Los brotes de Enfermedades Trasmitidas por Alimentos (ETA) en los que intervienen agentes como *Escherichia coli, Salmonella* y los episodios contaminación química en los alimentos, ponen de manifiesto los problemas existentes en la inocuidad de los alimentos y aumentan la preocupación de que los modernos sistemas de producción, transformación y comercialización no ofrezcan garantías suficientes para la salud pública (Tafur, 2009).

Riesgos sanitarios derivados del consumo de frutas y hortalizas

Miles de tipos de bacterias están presentes de forma natural en el medio ambiente, aunque no todas las bacterias ocasionan enfermedades a los seres humanos. Por ejemplo, algunas bacterias se emplean de manera benéfica para la producción de queso y yogurt.

La contaminación microbiológica, sobre todo la bacteriana, es la causa más común de problemas sanitarios derivados de la alimentación. Los microorganismos y en concreto las bacterias, son la principal causa de enfermedades causadas por el consumo de alimentos contaminados. Las bacterias que causan enfermedades se llaman patógenas. Cuando ciertos agentes patógenos se introducen en los alimentos, pueden ocasionar enfermedades transmitidas por los alimentos. Cada año ocurren millones de casos de estas enfermedades.

Las frutas y hortalizas frescas son una fuente muy valiosa de vitaminas, minerales y fibras, indispensables para una apropiada nutrición y contribuyen a prevenir las enfermedades alimentarias debidas a carencias de micronutrientes y otros factores. Como se consumen a menudo crudas o apenas cocidas, el lavado antes de comerlas no elimina completamente los posibles patógenos, aumentado los riesgos potenciales para la inocuidad del producto.

Durante años la producción, cultivo y almacenamiento poscosecha de frutas en general, el uso continuo y con poco apego a las normas de regulación y seguridad de

insecticidas, pesticidas y plaguicidas, fue generando un gran descontrol en los sistemas biológicos naturales de los frutales, aún no determinado claramente; así como resistencia en algunas especies de insectos, alteraciones en el medio ambiente, y efectos indeseables en la salud tanto de consumidores como de productores (Park *et al.*, 2002; Vázquez *et al.*, 2007).

El Codex Alimentarius define un peligro como todo "agente biológico, químico o físico presente en el alimento, o una propiedad de éste, que puede provocar un efecto nocivo para la salud". Los peligros para la inocuidad de las frutas y hortalizas frescas pueden estar presentes en diferentes puntos de la cadena, desde la producción hasta el consumo.

La alimentación es primordial e insustituible, por lo que la agricultura, juega un papel importante en la provisión de alimentos a la población humana. En los países en vías de desarrollo, en la actualidad, existen grandes sectores de población que no disponen de una alimentación adecuada, producto de factores educacionales y de la crisis económica mundial, que a su vez genera la falta de recursos económicos. En estos países, los productos agrícolas representan una fuente importante de energía para el hombre, ya que su alimentación proviene de este rubro en un 85%, a diferencia de los países desarrollados en el que los productos agrícolas participan en un 40% en la alimentación humana (De León, 2011).

Los sistemas de producción agrícola convencionales, que buscan un incremento en los rendimientos, han producido trastornos y problemas como la pérdida de la fertilidad natural de los suelos y su erosión, así como graves problemas de plagas. Estos problemas se han enfrentado como fenómenos aislados del sistema agroecológico, mediante el uso intensivo de productos químicos, que si bien son simples de usar y efectivos, presentan un número importante de debilidades como son la destrucción de los controladores naturales, con pérdidas de la capacidad de regulación natural; la generación de resistencia en algunas plagas y la resurgencia de otras potenciales; costos crecientes debido a la mayor incidencia y a la resistencia de las plagas; y lo que no es menos grave, problemas crecientes de contaminación del medio ambiente, de los trabajadores y habitantes del medio rural y de los productos destinados al consumo.

El Codex Alimentarius ha definido residuo de plaguicida como cualquier sustancia o sustancias presentes en un producto alimenticio de consumo humano o animal, resultante de la utilización de un plaguicida, incluyendo también cualquier derivado específico, producto de degradación o conversión considerado toxicológicamente importante.

Los niveles de residuos en los productos agroalimentarios, dependen directamente del uso adecuado de los plaguicidas en la producción primaria en relación con factores como dosis, frecuencias de aplicación, intervalo entre la última aplicación y la cosecha (conocido como periodo de carencia) e igualmente de la naturaleza química de los compuestos y

su degradación, así como de las características de las formulaciones empleadas, de las características del cultivo y de su manejo y de las condiciones climáticas.

En el cuadro 1 se señalan algunos de los peligros que pueden estar presentes en los alimentos, los agentes que los causan y el tipo de problemas que provocan.

Enfermedades trasmitidas por alimentos

Las enfermedades producidas por alimentos contaminados son los problemas de salud más ampliamente distribuidos a nivel mundial, declaración hecha en 1983 por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Así como con otros alimentos, las frutas y hortalizas podrían ser una fuente de enfermedades si no se toman los cuidados sanitarios adecuados en los diferentes pasos de la producción, cosecha y manejo.

Cuadro 1. Tipos de elementos dañinos que pueden estar presentes en los alimentos

Peligros biológicos	Agentes zoonóticos que pueden entrar a la cadena alimentaria	*Salmonella*: patógeno que se transmite a través de alimentos contaminados con heces animales. Produce náuseas, vómitos y diarrea.
		Priones: proteínas infecciosas presentes en la carne de res. Consideradas causantes de la variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob o "mal de las vacas locas" en las personas.
	Patógenos trasmitidos por los alimentos	*Campylobacter jejun*: el patógeno más frecuente de la carne de pollo cruda. Produce artritis y una rara enfermedad del sistema nervioso.
		Listeria monocytogenes: contamina la carne cruda y las hortalizas. Afecta principalmente a las embarazadas, los infantes y los ancianos.
		Salmonella enteritidis: presente en los huevos, ya que infecta los óvulos de las gallinas. Produce fiebre, dolores abdominales, diarrea.
	Nuevos patógenos	*Escherichia coli* O157:H7: reside en los intestinos del ganado y suele transmitirse en la carne molida. Produce daños en los riñones y la muerte.
		Salmonella typhimurium DT 104: patógeno resistente a los agentes antimicrobianos.
		Virus de hepatitis A en las hortalizas, virus de Norwalk y virus semejantes en el pescado.

Peligros químicos	Contaminantes industriales	Dioxinas: se liberan en algunos procesos industriales y a partir del uso de algunos plaguicidas. Se transmite por el consumo de grasas animales. Pueden producir cáncer y daños hepáticos.
	Sustancias químicas de uso agrícola	Plaguicidas: pueden eliminar la respuesta inmunitaria ante las infecciones y aumentar la exposición a las enfermedades.
	Sustancias químicas de uso pecuario	Medicamentos veterinarios, como antibacterianos, esteroides y hormonas para promover el crecimiento.
Peligros físicos	Materias extrañas	Trozos de cristal o de madera.
	Partes no comestibles de los alimentos	Trozos de huesos de animales o trozos de cuescos de frutas.

Fuente: FAO (2004).

Las enfermedades asociadas con alimentos han surgido como una cuestión indiscutible a nivel mundial que impacta la producción, el procesamiento, los mercados domésticos y de exportación, y la confianza del consumidor en el abastecimiento de alimentos (Beuchat, 1996; CDC, 1997).

Las enfermedades humanas ocasionadas al ingerir alimentos contaminados por microorganismos o por residuos de plaguicidas están cada día en aumento. Estados Unidos y la mayoría de los países importadores han desarrollado estrategias que permitan una producción de frutas y hortalizas libres de contaminantes para el consumidor, que obligan a los países productores a modificar sus sistemas de producción, considerando la adopción de nuevas tecnologías que permitan cumplir con esos requisitos (CDC, 1996; CDC, 2000).

El incremento en los casos de enfermedades transmitidas por alimentos y de la contaminación química de diversos productos, han originado una gran preocupación en los consumidores, los productores y los organismos oficiales que velan por la inocuidad de los alimentos a nivel mundial.

Como se producen, elaboran y manipulan los alimentos, es un aspecto de suma importancia en la cadena de producción, ya que éstos pueden ser vectores de transmisión de numerosos agentes microbiológicos, químicos y físicos, que ocasionen problemas a la salud.

Las enfermedades de transmisión alimentaria están generalizadas y repercuten en las comunidades de los países tanto en desarrollo como desarrollados. En la Conferencia Internacional sobre Nutrición de la FAO/OMS, celebrada en 1992, se reconoció que cientos de millones de personas en todo el mundo padecen enfermedades transmi-

sibles y no transmisibles causadas por alimentos contaminados. Estas enfermedades cobran muchas vidas y sufrimientos humanos, sobre todo entre los lactantes y niños de corta edad, las personas mayores y otras personas susceptibles (Matos, 2005).

A nivel internacional se han desarrollado nuevos conceptos de calidad que no sólo consideran las características organolépticas y físicas de los productos agrícolas comercializados, sino también aspectos como la inocuidad del producto y su impacto en el medio ambiente. En los últimos años, la inocuidad de los alimentos ha cobrado importancia a nivel nacional e internacional; los consumidores reclaman alimentos de buena calidad sanitaria, y la demanda de éstos aumenta conforme la población adquiere conciencia de la importancia que tiene para su salud el consumo de alimentos contaminados con cualquier tipo de patógenos y sustancias tóxicas. Las noticias a nivel mundial reportan brotes de enfermedades alimentarías y sucesos de personas que enfermaron y hasta murieron por consumir alimentos contaminados, lo anterior, ha puesto sobre alerta a las autoridades sanitarias sobre los peligros y riesgos de ingerir frutas y vegetales no inocuos y en los consumidores se advierte un interés hacia alimentos más nutritivos e inocuos, producidos en condiciones sanitarias aceptables.

Las enfermedades transmitidas por los alimentos se presentan con síntomas semejantes a los de la influenza, tales como náusea, vómito, diarrea o fiebre; por esta razón es posible que muchas personas no reconozcan que la enfermedad es ocasionada por bacterias u otros agentes patógenos presentes en la comida (en el cuadro 2, se presenta la incidencia de bacterias patógenas en frutas).

Los gobiernos de un amplio número de países han emprendido programas de mediano y largo plazo para hacer frente a los grandes retos presentes y futuros de sus sistemas agroalimentarios; lo que destaca de dichos programas y de los estudios que los soportan, es que esos retos no son aislados, sino por el contrario son globales y cada país debe emprender acciones para enfrentarlos.

Comercio internacional y la inocuidad de alimentos

México también cuenta con una amplia diversidad de climas y condiciones favorables para la producción primaria, por lo que juega un papel fundamental como productor/proveedor de una gran cantidad y variedad de frutas y hortalizas a nivel internacional que se consumen principalmente en fresco. Por lo anterior el comercio de productos a los mercados externos representa una gran oportunidad para el sector alimentario mexicano y también un gran reto, ya que se requiere de la integración de nuevos y mejores procesos productivos a la planta productiva nacional. Cabe resaltar

que de los alimentos de exportación producidos en México, aproximadamente el 86%, se comercializa con los Estados Unidos de América y el restante, en orden de importancia, se distribuye en Europa y Asia (CIALIM, 2009).

Cuadro 2. Incidencia de bacterias patógenas en frutas

Patógeno	*Tipo*	*País*	*Incidencia*	*Comentarios*	*Referencia*
L. monocytogenes	Varios jugos	EU	2/50	Jugos de manzana y una mezcla de manzana y frambuesa no pasteurizados	Sado *et al.* (1998)
Salmonella	Melosn (cantaloupe)	Varios	8/151	Productos importados de 9 países a los Estados Unidos	FDA (2001)
Salmonella	Naranja	EU	0/375	Muestras de naranjas y jugo	Pao Brown (1998)
Salmonella	Naranja/ mandarina	EU	0/336		FDA (2001)
Salmonella	Fresas	Varios	1/143	Productos importados de 5 países a los Estados Unidos	Madden (1992)
Salmonella (8 serovares)	Melon (cantaloupe)	México	11/1440	Estudio de importación FDA entre marzo y abril de 1990	Madden (1992)
Salmonella (12 serovares)	Melon (cantaloupe)	México	24/2220	Estudio de importación FDA entre noviembre de 1990 hasta enero de 1991. Melones provenientes de la misma área de cosecha asociada con el brote 1989-90.	Madden (1992)
Shigella	Melon (cantaloupe)	Varios	3/151	Productos importados de 9 países a los Estados unidos.	FDA (2001)

Fuente: Harris *et al.* (2003).

En términos globales, la incidencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos está aumentando y el comercio internacional de alimentos se ve perturbado por frecuentes conflictos acerca de los requisitos de inocuidad y calidad de los mismos (FAO/OMS, 2003). La apertura comercial y la globalización de mercados han acelerado los procesos de intercambio de productos alimenticios frescos y procesados entre diversos países y bloques económicos. Por lo tanto, asegurar que el consumo de los alimentos no sea nocivo para la salud humana se torna en un requisito de acceso a los mercados internacionales y en una garantía sanitaria para los productos importados destinados al consumo local (Tafur, 2009).

La producción de alimentos de calidad, con destino a mercado interno y externo es de alta prioridad y es lo que el consumidor demanda. El tema ha crecido fuertemente en los últimos años. Los tratados de Libre Comercio entre diferentes países,

han promovido una Globalización Mundial que permite a la población acceder a todo tipo de alimentos producidos en diferentes regiones del planeta.

El desafío internacional de la producción de frutas y hortalizas es la competitividad por un mercado que demanda productos de calidad creciente a precios decrecientes. Para la respuesta a esta situación las empresas deben implementar sistemas de aseguramiento de la calidad. En el mercado interno, la insuficiente inocuidad produce daños económicos (ausentismos, medicamentos, etc.) a la población y al estado y problemas de salud (ETA's) (Ferratto, 2004).

La demanda actual de productos hortícolas inocuos por parte de los consumidores a nivel mundial, ha exigido a los países productores y exportadores a considerar la adopción de estrategias que permitan la implementación de programas encaminados al conocimiento, desarrollo e implementación de metodologías, que permitan la producción de alimentos libres de riesgo para la salud humana.

Las normas, condiciones y reglas para poder vender productos agropecuarios frescos y procesados en los mercados han cambiado de una forma drástica en pocos años. La apertura comercial genera nuevos retos a los productores y exportadores nacionales.

La inocuidad en productos hortofrutícolas puede verse afectada por residuos de origen químico, como el uso de agroquímicos en la producción agropecuaria, lo que constituye un peligro para la salud de los consumidores.

Los cultivos hortícolas, frutas y hortalizas, son de importancia fundamental para una dieta humana adecuada y equilibrada. En ciertas partes del mundo, las frutas y verduras son el alimento básico principal. Además de ser una rica fuente de vitaminas y minerales, la producción de frutas y verduras también contribuye significativamente a las economías regionales y nacionales a través de comercio nacional e internacional.

En términos globales, la incidencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos está aumentando y el comercio internacional de alimentos se ve perturbado por frecuentes conflictos acerca de los requisitos de inocuidad y calidad de los mismos. Para conseguir mejoras, habrá que revisar y reforzar muchos sistemas de control de los alimentos. Nunca ha sido más importante para los países en desarrollo aplicar y hacer observar sistemas de control basados en el concepto moderno de evaluación del riesgo (depósito de documentos de la FAO).

Buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manejo

Muchas de las prácticas que actualmente todavía se realizan en productos hortofrutícolas representan un alto riesgo de contaminación; durante su etapa de producción en campo están sujetos a riesgos que contaminan la fruta en la cadena productiva, residuos de pesticidas en el suelo, contaminación del ambiente por metales pesados, acumulación de residuos de pesticidas en las frutas.

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas prácticas de Manejo (BPM) son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas, aplicables a las diversas etapas de producción hortofrutícola. Su aplicación tiene como objetivo ofrecer al mercado productos de elevada calidad y asegurar a los consumidores de frutas y hortalizas frescas un producto sano y apto (inocuo) para el consumo humano, protegiendo además el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

El Gobierno Mexicano, al comprender la necesidad de prevenir la contaminación de los alimentos, crea dentro del Servicio Nacional de Sanidad, inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) la Dirección General de inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera, que desarrolla y ejecuta durante varios años esquemas de aplicación voluntaria sobre temas de inocuidad, dada la falta de un marco legal y normativo en el país. Gracias a este esfuerzo, en julio de 2007, modificaciones en las leyes Federales de Sanidad Vegetal, Salud Animal, así como Pesca, le confirieron a la Secretaría de Agricultura, atribuciones legales sobre Sistemas de reducción de riesgos de contaminación en la producción primaria de vegetales, anteriormente definidos como Buenas Prácticas Agrícolas (CIALIM, 2009).

Para ser acreedor al reconocimiento de cumplimiento correspondiente por parte del SENASICA deben aplicarse Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manejo (BPM) en las Unidades de Producción y en las Unidades de Empaque para reducir los riesgos biológicos, químicos y físicos que puedan poner en peligro la inocuidad del producto y por ende, la salud de los consumidores. Por lo tanto, el desarrollo de BPA y BPM dimensionará el problema de inocuidad y su aplicación favorecerá la disminución de los peligros de contaminación tanto física, química como microbiológica. Lo anterior protegerá a los productores de posibles implicaciones en diferentes problemas de contaminación, los cuales podrían derivar en cierres de frontera para los productores mexicanos, cuyo destino es el mercado de Norte América.

El acceso a los mercados nacionales e internacionales exige que todos los productores de hortalizas apliquen adecuada y eficientemente las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que garantizan la calidad, higiene e inocuidad de los alimentos que producen.

Los productores deben estar en disponibilidad de demostrar su compromiso de cumplir con las normas nacionales e internacionales al respecto que permitan:

a) Mantener la confianza del consumidor en la calidad e inocuidad de los alimentos.
b) Minimizar el impacto negativo en el medio ambiente.
c) Utilizar adecuadamente los productos fitosanitarios y de nutrición vegetal
d) Mejorar la utilización sostenible de los recursos naturales
e) Mantener una actitud responsable hacia la salud y seguridad de los trabajadores guía BPA (2009).

Concientización a productores

En años recientes se han incrementado los casos de enfermedades producidas por los alimentos, especialmente por vegetales frescos contaminados. En muchos de estos casos, se ha culpado al manejo inapropiado de los vegetales, la higiene de los manipuladores de alimentos, suministros de agua, sanidad general del equipo y de las instalaciones así como el uso de estiércol sin tratar, como fertilizante.

Educar a los productores y trabajadores en el manejo adecuado del producto es, por lo tanto, un factor esencial en la prevención de la contaminación de las frutas y vegetales frescos (Martínez, 2002).

Sistema de inocuidad y calidad alimentaria en algunos países

Canadá

Los principios fundamentales del Sistema de inocuidad y Calidad alimentaria canadiense son los siguientes: asegurar la salud de la población; cualquier decisión sobre alguna política debe estar basada en evidencia científica; y todos los sectores y jurisdicciones deben colaborar a la protección de los consumidores.

El Gobierno tiene la responsabilidad primaria de identificar cualquier riesgo a la salud proveniente de la oferta de alimentos, verificar la intensidad y la probabilidad de daño o peligro, y desarrollar estrategias a nivel nacional para el manejo de riesgos. De igual forma, las industrias tienen responsabilidad sobre la seguridad de sus productos y de proporcionar una adecuada información a los consumidores. Por su parte, los consumidores tienen el derecho a ser informados sobre los riesgos a su

salud, y se hacen responsables del uso que hagan de esa información. De esta forma, la política de inocuidad alimentaria en Canadá se basa en el análisis de riesgos.

Comunicación del riesgo

- Considera como elementos centrales la información y educación a los consumidores canadienses, así como el intercambio de información sobre los peligros a la salud. Para ello existe un programa llamado Sociedad Canadiense para la Educación de los Consumidores sobre inocuidad alimentaria.
- "Canada Gazette" es una publicación oficial para la notificación de iniciativas de ley o modificaciones a las mismas.

Principio precautorio

- Canadá considera importante la implementación de medidas precautorias para el manejo de los riesgos cuando exista evidencia científica razonable sobre la existencia de riesgos a la salud. Sin importar que aún no se haya comprobado totalmente la existencia de una relación de causa-efecto.

Estados Unidos

El Sistema de inocuidad y Calidad alimentaria de los Estados Unidos está basado en leyes federales y estatales y, por lo que se refiere al sector empresarial, es importante mencionar que cada empresa es responsable ante las autoridades competentes de la producción de alimentos seguros e inocuos.

Los gobiernos federal, estatal y local, comparten competencias acerca de la regulación sobre seguridad alimentaria y los establecimientos en donde se realiza el procesamiento de los alimentos.

Comunicación del riesgo

- El Gobierno de los Estados Unidos ha creado páginas *web* con el propósito de proporcionar información sobre los riesgos en materia de seguridad alimentaria. De igual forma, se ha creado un sistema para la comunicación de riesgos

en caso de alguna emergencia, el cual se encarga de proveer la información de forma rápida y oportuna en todo del país, así como a organizaciones internacionales, en un periodo muy corto de tiempo.
- Es importante mencionar, que todas las medidas científicas tomadas en esta materia son explicadas en los medios masivos de comunicación por las personas que las elaboraron y cualquier persona puede hacer comentarios al respecto.

Principio precautorio

- El principio precautorio se aplica con fundamento en el análisis de riesgos, tomando como base que el origen de leyes sobre salud, medio ambiente y calidad alimentaria está asociado a la prevención de eventos no deseados, así como a la protección de la salud humana y del medio ambiente. Por tanto, se podría afirmar que el principio precautorio es tomado en cuenta en el marco jurídico de forma primordial.

Japón

Dado que Japón importa la gran mayoría de los productos alimenticios que se consumen en ese país, el Gobierno busca poner en práctica medidas que estén acorde con los estándares internacionales y, por consiguiente, está participando de forma activa en la definición de los mismos. Asimismo, el gobierno japonés otorga asistencia técnica a países en vías de desarrollo con el objetivo de asegurar que la oferta de alimentos de éstos sea segura.

Comunicación del riesgo

- Cabe mencionar que Japón ha desarrollado una red de información entre institutos de investigación, oficinas de gobierno y demás entidades relacionadas con la inocuidad alimentaria con el fin contar con una mejor información en caso de alguna emergencia.
- El Ministerio de Salud y Bienestar, por medio de organismos externos, se encarga de informar a los consumidores sobre todas las acciones llevadas a cabo por el gobierno en materia de inocuidad alimentaria. Asimismo, da consultas a cualquier persona que lo solicite, ya sea en persona o por medio del

correo electrónico; es importante mencionar que este Ministerio cuenta con una página *web*.

Alemania

La legislación en materia de inocuidad y calidad alimentaria es competencia del Gobierno Federal; cada estado es responsable de la correcta aplicación de dicha legislación, así como del buen funcionamiento de los servicios de inspección, los cuales utilizan el Sistema HACCP. Cabe subrayar que en las áreas en donde el Gobierno Federal carece de competencia en la materia, cada estado es responsable de establecer sus propias medidas. Antes de publicar una ley se realizan audiencias públicas, en las que participan las autoridades competentes, científicos calificados en la materia, consumidores y empresarios.

Principio precautorio

- Desde hace algunos años, Alemania cuenta con una serie de medidas orientadas a proteger la salud de los consumidores; dichas medidas se desarrollan con base al principio precautorio. Actualmente, la legislación en materia de alimentos en ese país se encuentra armonizada con la legislación de la Unión Europea (UE).

España

El Gobierno Español define la inocuidad alimentaria como la prevención de la enfermedad humana ocasionada por los alimentos. Para ello, es necesaria la participación de las autoridades gubernamentales a distintos niveles: central, autónomo/ regional y local/ municipal.

Comunicación de riesgo

- La comunicación de riesgos se basa en la transparencia así como en el acceso a los reportes de evaluación.
- La estrategia de notificación de riesgos se compone por los siguientes puntos:

La notificación no debe preceder a la evaluación y al manejo de riesgos.
Lo anterior se realiza por solicitud de los que ejercen el manejo de riesgos quienes notifican los riesgos directamente o a través de los consejos institucionales.
La comunicación de riesgos debe ser estratificada a nivel de medios para mantener informados a los empresarios y a la población sin ocasionar alarmas innecesarias.

- Para lograr lo anterior, es necesario realizar las siguientes acciones:
  Favorecer el acceso de los medios a la información producto del manejo de riesgos.
  Publicar el reporte sistemático a la Federación de Industrias de Alimentos y Bebidas (FIAB), para promover el análisis y manejo de riesgos conjunto en la industria alimentaria.

Principio precautorio

- Como se mencionó anteriormente, el Gobierno Español aplicará las medidas que dicten las Autoridades de la Unión Europea referentes al principio precautorio.

Francia

El modelo francés de inocuidad y calidad alimentaria estimula la multidisciplinariedad y el cruce de competencias. Los polos de competencia reúnen a los diferentes servicios de control departamental que son realizados a nivel local por los gobernadores para asegurar la complementariedad y la buena articulación de los sistemas de control. Así, Francia ha implementado una organización que permite controlar el total de la cadena alimenticia a través de las autoridades competentes.

Comunicación del riesgo

- La responsabilidad de la comunicación del riesgo recae en los Ministerios de Agricultura, de Salud y de Economía, Finanzas e Industria, así como en la

AFSSA, cuya función primordial es mantener al público en general informado sobre esta materia.

Principio precautorio

- El Gobierno de Francia sostiene que se debe aplicar el principio precautorio conforme al derecho internacional vigente.

Portugal

El Gobierno de Portugal ha armonizado el marco legislativo relativo a la calidad alimentaria con los estándares y lineamientos establecidos por la Unión Europea.

Comunicación de riesgo

- La comunicación, consulta y discusión de los asuntos socio-económicos aún no cuenta con una organización precisa.

Principio precautorio

- En afinidad con lo señalado por la Comisión Europea.

Reino Unido

La responsabilidad del desarrollo e implementación de la política y estándares sobre inocuidad alimentaria recae en el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentos y sobre el Ministerio de Salud. Sin embargo, a partir de abril 2000, se creó la Agencia de Estándares Alimentarios, la cual asumirá dicha responsabilidad.

Existen cuatro áreas principales que constituyen la principal preocupación de los consumidores sobre los alimentos y que han sido tomadas en cuenta para la creación de la Agencia de Estándares Alimentarios.

- La seguridad microbiológica

- La seguridad química
- Los organismos genéticos modificados, así como los nuevos alimentos y procesos
- La calidad nutricional

Por lo tanto, el gobierno está desarrollando políticas que permitan una información completa, proporcional al riesgo, que comuniquen efectivamente con credibilidad y confianza.

Comunicación del riesgo

- La Agencia destina recursos significativos para esta tarea, incluyendo el establecimiento de un sitio web que cuente con información actualizada sobre inocuidad alimentaria a nivel nacional e internacional, así como anuncios periodísticos.
- Se ha puesto en marcha un sistema de publicación de todos los resultados y minutas de las conferencias, reuniones e investigaciones que realizan los Comités Consultivos de la evaluación de riesgo y del Comité Consultivo Alimentario (FAC).

Unión Europea

La Unión Europea (UE), a lo largo de varias décadas, ha buscado desarrollar un marco legal con el propósito de armonizar los estándares comerciales y de esta forma facilitar el libre comercio al interior de la UE. Lo anterior ha implicado diversas interacciones entre las instituciones de la UE y las de los Estados Miembro (EM), lo que ha dado como resultado un marco legal consensado, que a su vez ha dotado a la UE de medidas concretas sobre la calidad alimentaria.

Las leyes actuales regulan lo referente a la producción primaria y secundaria. El establecimiento de los estándares de producción es acordado por la Comisión Europea y los EM, los cuales se aplican tanto para los productos importados como para los que se producen en la UE. Asimismo, se ha puesto en marcha un *Sistema de Alerta Rápida* con el objetivo de circular información de forma rápida y eficiente en caso de alguna emergencia.

Comunicación de riesgo

- La Comisión ha establecido diferentes sitios *web* en donde se publican todos los documentos, resoluciones, propuestas y reportes de la UE.

Sistema de alerta rápida

El Sistema de Alerta Rápida notifica, de forma rápida y oportuna, sobre productos contaminados o que pueden causar algún daño a la salud de los consumidores. Es importante mencionar que abarca alimentos e insumos o materiales que pueden tener algún tipo de contacto con los alimentos.

Principio precautorio

- El 13 de abril de 1999, el Consejo Europeo adoptó una resolución de la Comisión entre otras cosas, en donde se compromete a guiarse por el principio precautorio para generar propuestas legislativas así como para desarrollar lineamientos claros y efectivos para la aplicación de este principio.
- De esta forma, se define que para poder generar decisiones transparentes y coherentes, que al mismo tiempo cumplan con los niveles de protección, se requiere un proceso estructurado para la toma de decisiones con información científica e información objetiva. Esta estructura se conforma por tres elementos para el análisis de riesgo: una evaluación del riesgo, la elección de una estrategia para el manejo de riesgo y por último, la comunicación del riesgo.
- La Comunidad Europea se ha esforzado por alcanzar un alto nivel de protección en lo concerniente al medio ambiente, a la salud humana, animal y vegetal. En la mayoría de los casos es posible alcanzar niveles altos de protección con bases científicamente satisfactorias. Sin embargo, cuando existen dudas razonables sobre el peligro potencial que puede afectar la salud ambiental, humana, animal o vegetal, y cuando la información disponible impide una evaluación detallada del riesgo, se ha aceptado políticamente la aplicación del principio precautorio como una estrategia para el manejo de riesgo en distintos campos (Sistema de inocuidad y Calidad alimentaria en los Estados Unidos).

Conclusiones

El sector hortofrutícola tiene gran importancia en la economía de nuestro país, ya que da empleo directo e indirecto a muchos trabajadores. La diversa producción de frutas y hortalizas permite satisfacer la demanda nacional y exportar hacia otros países.

A nivel mundial las dinámicas de producción y comercialización de alimentos, y los hábitos de consumo de la población exigen cada vez más alimentos frescos, naturales e inocuos; lo anterior, permite que los productos agropecuarios y los patógenos asociados estén presentes en forma generalizada mundialmente, sin fronteras geográficas, lo que propicia la creciente aparición de enfermedades trasmitidas por alimentos (ETA's).

El incremento en el comercio internacional de frutas y hortalizas frescas, hace posible la disponibilidad de éstas en el mercado casi todo el año; la inocuidad alimentaria ha cobrado importancia y ha pasado a ser una cuestión de alta prioridad para muchos gobiernos; ya que los consumidores demandan alimentos inocuos desde el punto de vista microbiológico, sin dejar de lado la contaminación química y física.

Sobre los autores

María de Lourdes Froto Madariaga,[1]* Luis Maconetzin Isidro Requejo,[2] María Alejandra Chavira Zúñiga,[1] Octavio Antonio Alvarado Reveles.[1] Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Orientados a la Salud, Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Coahuila.[2] Laboratorio de inocuidad alimentaria y Valor Agregado del INIFAP-Campo Experimental La Laguna.

Referencias

Arispe, Ivelio y Tapia, María Soledad (2007), "inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores", *Agroalim*, vol. 12, núm. 24, ISSN 1316-0354, pp. 105-118.

Beuchat, L. R. (1996), *Pathogenic microorganisms associated whit fresh produce*, J. Food Prot, 59, pp. 204-216.

Center for Disease Control (CDC) (1996), *Surveillance for Food-borne-Disease Outbreaks-United States, 1988-1992*, Morb. Mortal. Weekly Rep. Pub. Health Serv., Atlanta, Ga, 45/núm. p. SS-5.

Center for Disease Control (CDC) (1997), *Food safety from farm to table: A new strategy for the 21st century.*

Center for Disease Control and Prevention (2000), *Surveillance for Food-borne-Disease Outbreaks-United States, 1993-1997*, Morb. Mortal. Weekly Rep. 49/ núm. SS-1.

Codex Alimentarius (2003), Código de Prácticas de Higiene para las Frutas y Hortalizas Frescas, CAC/RCP, p. 53.

Consultores en inocuidad S. C. (CIALIM) (2009), *inocuidad alimentaria en México. Especialistas en inocuidad y Calidad Agroalimentaria*, Sep/2009.

De León B, F. Edwin (2011), Manual de Buenas Prácticas de Manejo Poscosecha y Transporte (BPPC/T) San Salvador.

FAO (2003), *Gestión de riesgos biológicos en la alimentación y la agricultura: Ámbito de aplicación e importancia. Consulta técnica sobre la gestión de riesgos biológicos en la alimentación y la agricultura*, Bangkok, Tailandia, 13-17 de enero, p. 3-5.

FAO/OMS Garantía de la inocuidad y calidad de los alimentos, disponible en www.who.int/foodsafety/.../Spanish_Guidelines_Food_control.pdf

Ferratto, J. (2004), "Importancia de la gestión de la calidad en frutas y hortalizas: Situación y perspectivas", *Revista Agromensajes Publicación cuatrimestral de la Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Rosario*, número 12, 04/2004.

Frías T., A. Gustavo (2000), "La Certificación en México de la Buenas Prácticas Agrícolas en Frutas y Hortalizas Frescas. inocuidad alimentaria. Grupo Técnico de Trabajo sobre inocuidad alimentaria del Estado de Jalisco", número 1.

Guía de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de hortalizas y vegetales campo abierto (2009), *La inocuidad Comienza en la Finca*, República Dominicana.

Harris, L. J., J. N. Farber, L. R. Beuchat, M. E. Parish, T. V. Suslow, E. H. Garrett and F. F Busta (2003), "Outbreaks associated with fresh produce: Incidence, growth, and survival of pathogens in fresh and fresh-cut produce", In Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. vol 2 (supplement) Chapter III, disponible en http://www.ift.org

Martínez T. M. A. (2002), *Manejo de Alimentos Frescos no Procesados*, Investigador Titular CIAD,A.C.-México Profesor Visitante UC-Davis-U.S.A. Consultor Internacional FAO-ONU.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), *Mejoramiento de la inocuidad y la calidad de las frutas y hortalizas frescas.*

Park, Il-K., S.-G Lee, S.-C. Shin, J.-D. Park, Y.-J. Ahn (2002), "Larvicidal activity of isobutylamides identified in *piper nigrum* fruits against three mosquito species", *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 50, pp. 1866-1870.

Rodríguez Matos, Alfredo, Guzman Torres, Emilio, Escalona Rpsabal, Armando, Otero Fernandez, Mario (2005), "Peligros biologicos e inocuidad de alimentos", *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*, ISSN, vol. VI, núm. 09, Septiembre/2005, pp. 1695-7504.

Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (1998b), *Epidemiologia. Secretaria de Salud*, México 15(47), p. 1.

Sistema de inocuidad y Calidad alimentaria en los Estados Unidos, disponible en www.concitver.com/.../sistemadeinocuidadycalidadalimentariaenUSA.

Vázquez L., A., F, L. Pérez, S, R. Díaz (2007), *Biomoléculas con actividad insecticida: Una alternativa para mejorar la Seguridad alimentaria. Ciencia y Tecnología alimentaria*, Julio 2007/vol 5, número 004. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos, pp 306-313.

Los modelos biofísico-socioeconómicos: una respuesta a la necesidad de una evaluación integral de la seguridad alimentaria

Jorge Alejando Adame Garza, César Arturo Hernández Barraza, Jorge Loredo Osti, David Gilberto López Cantú

Resumen

En el año 2050, la población mundial se incrementará 50% llegando a más de 9 mil millones de habitantes, por lo que la producción de alimentos deberá incrementarse un 70 por ciento. El consumo diario de calorías crecerá 13%, situándose en 3,130 kcal/persona. Las dietas se modificarán producto de una población mayoritariamente urbana, por lo que la producción de cereales deberá crecer 1 billón de toneladas, mientras que la producción de carne en más de 200 millones de toneladas. La actividad agrícola se verá seriamente amenazada por el cambio climático, a la que es altamente vulnerable por consumir cerca de 69% del agua dulce. La mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos, ocasionará trastornos en la producción, incrementando los precios de los alimentos. A partir de la Cumbre Mundial sobre Alimentación de 1996, se han diseñado métodos de seguimiento a la seguridad alimentaria, los cuales se han centrado en el análisis del componente disponibilidad, por lo que se requieren modelos integrales para su evaluación. El Sistema de Modelación de los Impactos del Cambio Climático en la Agricultura (MOSAICC, por sus siglas en inglés), representa una solución a esta problemática, al estar constituido por modelos que atienden a la disponibilidad y estabilidad de la seguridad alimentaria. Para incorporar las dimensiones de accesibilidad y utilización,

se propone aprovechar su interfase para adicionarle la información generada por el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición y la Medición Multidimensional de la Pobreza.

Palabras clave: población, cambio climático, seguridad alimentaria y modelos integrales de evaluación.

Introducción

En los próximos cuarenta años, la población mundial se incrementará un 50%, llegando a más de 9 mil millones de habitantes en el año 2050 (Davis *et al.*, 2008). Para hacer frente a este incremento en la población, la producción de alimentos deberá incrementarse en un 70% (Von Braun, 2007).

De acuerdo con la FAO (2008), los cambios en los estilos de vida, originados por una población mayoritariamente urbana modificará las dietas, las cuales serán ricas en carnes, productos lácteos y alimentos procesados. El promedio diario de consumo de calorías por persona, se incrementará a 3,130 kcal/persona en el año 2050, superando a las 2770 kcal/persona registradas en el 2005. Bruinsma (2009), estimó que la producción de cereales deberá crecer cerca de 1 billón de toneladas, alcanzando los 3 billones de toneladas en el 2050. La producción de carne, en más de 200 millones de toneladas, para alcanzar un total de 470 millones en ese año. El 90% del incremento de la producción agrícola, deberá ser el resultado de mayores rendimientos y de un incremento en la intensidad de los cultivos, mientras que 10% restante deberá provenir de la expansión de las tierras cultivables. El rendimiento medio de los cereales podría alcanzar en el 2050 los 4.3 ton/ha, superando los 3.2 ton/ha actuales (Alexandratos, 2009).

De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (2008), (UNISDR por sus siglas en inglés), el cambio climático afectará no sólo el crecimiento de las plantas, los animales y el ciclo de los nutrientes, sino que también impactará a las carreteras, la infraestructura de almacenamiento y comercialización, bienes de producción, redes de electricidad y a la salud humana, amenazando la estabilidad de los sistemas alimentarios.

La agricultura de riego, cubre una quinta parte de las tierras cultivables en el mundo y genera casi el 50% de la producción agrícola, y en particular el 60% de la producción de cereales. La rápida propagación del riego, ha ayudado a que la producción de alimentos se mantenga al ritmo de crecimiento de la población mundial; sin embargo, esta actividad es altamente vulnerable al cambio climático, ya que utiliza aproximadamente 69% del consumo de agua dulce (Fisher *et al.*, 2007).

El Instituto Internacional de Investigación en Políticas Alimenticias (2010) (IFPRI, por sus siglas en inglés), ha expresado que los cambios en la temperatura y en la distribución de la precipitación, crearán las condiciones para el surgimiento de nuevas plagas y enfermedades, lo cual tendrá efectos directos sobre los rendimientos de los cultivos, así como sobre la cantidad, calidad y el precio de los alimentos. Al incrementarse la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos, también serán más frecuentes las crisis en la producción, lo que contribuirá a que los precios sean más volátiles (Bloem *et al.*, 2010). El Grupo Consultivo Internacional de Investigación en Agricultura (2009), (CGIAR, por sus siglas en inglés), señala que el aumento probable en el precio del arroz será 31.2%, el del maíz de 100.7% y el del trigo de un 90 por ciento.

Margulis *et al.* (2010), consideran que contar con información precisa sobre la situación actual, así como de las perspectivas en la producción de alimentos, permitiría una mejor estimación de los precios futuros y un funcionamiento más eficiente de los mercados. Por el contrario, la falta de información sobre las variables fundamentales del mercado, reduce su eficiencia y acentúa las fluctuaciones en los precios, lo cual afecta la seguridad alimentaria y genera inestabilidad social.

Esfuerzos mundiales en seguridad alimentaria

La creación en 1975, del Comité de Seguridad alimentaria Mundial, originó que se multiplicaran los análisis de las causas del hambre y se estableciera una noción más moderna de seguridad alimentaria. Los sistemas de estadísticas y las cuentas nacionales, registraron entonces una demanda creciente de información, sobre todo para la planificación y el seguimiento económico. Sin embargo, la información generada resultaba poco útil para el seguimiento de la seguridad alimentaria, ya que se presentaban demoras en su publicación y las coberturas con frecuencia eran incompatibles, por lo que no era posible comparar la información obtenida por sistemas distintos (Vercueil, 2000).

Posteriormente, el ajuste estructural y las tendencias hacia la privatización, modificaron las economías de los países en desarrollo, lo cual ocasionó cambios importantes para la seguridad alimentaria y su seguimiento. Los sistemas existentes, se reorientaron entonces hacia una mejor distribución de las ayudas y al seguimiento de su distribución (Subervie, 2008).

Block *et al.* (2004), destacan que en noviembre de 1996, todos los participantes en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación, aceptaron la necesidad de reducir el número de personas desnutridas, lo cual exigía la concertación entre los distintos

responsables de la seguridad alimentaria, así como su descentralización, por lo que nuevamente se originaron cambios en la estructura de los sistemas de seguimiento. Asimismo, el plan de acción de la misma Cumbre Mundial sobre la Alimentación, recomendó que se establecieran sistemas de información y cartografía sobre la seguridad alimentaria y la vulnerabilidad, a nivel mundial y nacional, con el fin de unir esfuerzos en torno al objetivo de la cumbre de reducir la desnutrición y lograr alimentos para todos. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas, son: Estadísticas sobre Seguridad alimentaria, Perfiles de Nutrición por País, Sistema Mundial de Información y Alerta y La Cartografía de la Pobreza (Sibrian, 2006).

En 1996, durante la Cumbre Mundial sobre la Alimentación, la FAO propuso la siguiente definición de Seguridad alimentaria: "Existe seguridad alimentaria, cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos, para satisfacer sus necesidades y preferencias alimenticias, para una vida activa y sana". Posterior a dicha reunión, aparecieron los primeros métodos que buscaban medir la seguridad alimentaria, dentro de los cuales se encontraban: el método de la FAO para estimar la prevalencia de la desnutrición, las encuestas de gastos en hogares para evaluar la inseguridad alimentaria, el método de estudio de ingesta de alimentos individuales, las medidas del estado nutricional con datos antropométricos y las medidas cualitativas de la inseguridad alimentaria y el hambre (Hamilton, 2006).

De acuerdo a Green (2008), en estos métodos se observaban las siguientes deficiencias: tomaban en cuenta sólo la ingesta de energía, sin considerar a los micronutrientes; altos costos de recolección y proceso de datos; presentaban errores sistemáticos y aleatorios; consideraban muestras muy pequeñas, por lo que su utilidad era cuestionable y no identificaban individualmente a las personas con deficiencia alimentaria.

Actualmente, los modelos existentes a nivel mundial sobre el cambio climático y la seguridad alimentaria, se han centrado principalmente en evaluar los impactos sobre la disponibilidad de alimentos y en menor medida sobre el acceso a los alimentos, sin cuantificar los efectos sobre la estabilidad del sistema alimentario; es decir, su vulnerabilidad (Heltberg y Siegel, 2008). Ello significa que dichos modelos no consideran los efectos originados por los cambios en las condiciones socioeconómicas de la población; tampoco incorporan los impactos potenciales por la prevalencia de enfermedades transmitidas por alimentos, o la interacción entre la nutrición y la salud. De manera general, los sistemas de información existentes a este respecto, poseen las siguientes limitaciones: parten del análisis a nivel país, por los que las simplificaciones y generalizaciones los hacen poco aplicables; sólo cubren algunos de los aspectos requeridos para la determinación del grado de seguridad alimentaria; los

resultados que presentan, consisten en análisis estadísticos históricos; es decir, no están orientados hacia la prevención (Jacobs y Sumner, 2008).

Por otra parte, Delobel (2011), menciona que la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés), en colaboración con institutos de investigación europeos especializados, desarrolló un sistema integrado de software que actualmente se encuentra en etapa de prueba. Este sistema, identificado con el nombre de MOSAICC, permite que sean llevados a cabo estudios integrales de los impactos del cambio climático en la agricultura. MOSAICC permite que se realicen simulaciones en forma secuencial de todos los procesos que inciden en la producción agrícola, tales como los procesos climatológicos, hidrológicos, de desarrollo de los cultivos, así como del impacto económico que éstos generan.

En nuestro páis, como en muchos otros, se requiere incrementar las capacidades técnicas, científicas y de infraestructura, para llevar a cabo un seguimiento sistemático del estado de los cultivos, así como diseñar mecanismos que permitan elaborar pronósticos de la producción con mayor certeza y que consideren datos sobre el crecimiento de los cultivos y la información meteorológica, para transformarlos en expectativas sobre el rendimiento y la producción. Estas acciones coordinadas permitirían realizar análisis sistemáticos del resto de los componentes de la seguridad alimentaria. Es importante señalar que los modelos integrales, que consideran los aspectos biofísicos, tecnológicos, de mercado y socioeconómicos, necesarios para simular los sistemas de seguridad alimentaria, se encuentran actualmente en un estado de desarrollo incipiente.

El desarrollo de un sistema de seguridad alimentaria nacional en México, requiere de seleccionar, adaptar y aplicar modelos biofísico-socioeconómicos, con el fin de generar información integral sobre el estado actual y futuro de la seguridad alimentaria, así como los medios para realizar su análisis, en los niveles estatal, regional y nacional. Para lograrlo es conveniente establecer al sistema FAO-MOSAICC como eje de la modelación de los aspectos climáticos, hidrológicos, del desarrollo de los cultivos y macroeconómicos, que gobiernan la disponibilidad y estabilidad de la seguridad alimentaria. Esto permitiría aprovechar la interfase del sistema FAO-MOSAICC para incorporar las dimensiones de accesibilidad y utilización de la seguridad alimentaria, mediante la adición de la información generada por el Sistema Nacional de Información de Mercados, por la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud y la Medición Multidimensional de la Pobreza. Permitiría también establecer un vínculo entre los niveles micro y macro, en el análisis de la seguridad alimentaria.

Características del método MOSAICC

Es un sistema integrado de software desarrollado por la FAO en colaboración con institutos de investigación europeos especializados para dar seguimiento a la seguridad alimentaria. Este sistema, se compone de modelos mediante los cuales se realizan simulaciones en forma secuencial, de todos los procesos que inciden en la producción agrícola, tales como procesos climatológicos, hidrológicos, de desarrollo de los cultivos, así como del impacto económico que éstos generan. Los modelos incluidos en el sistema integrado cuentan con las siguientes características:

Climatología

Dentro del componente clima, el sistema se basa en los escenarios futuros de baja resolución producidos por los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), los cuales son mencionados en los Reportes de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), aplicando posteriormente métodos estadísticos de reducción de escala, para adaptar dichos escenarios a una escala regional o local. Bajo estos principios, el Grupo de Meteorología Santander de la Universidad de Cantabria en España, desarrolló una herramienta para llevar a cabo la reducción de escala estadística, incluyéndola en el portal para el Acceso de Datos y Reducción de Escala (DAD, por sus siglas en inglés).

Interpolación

El sistema contiene también la herramienta AURELHY, que permite incluir el impacto del relieve en la hidrometeorología. Esta posee un método de interpolación para datos meteorológicos e hidrológicos, que toma en cuenta la topografía de los terrenos.

Hidrología

Las herramientas espaciales denominadas STREAM, comprenden un modelo hidrológico basado en un Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) de precipitación-escurrimiento. El objetivo de STREAM es modelar la hidrología de las cuencas en una forma simplificada y analizar los procesos que afectan la disponibilidad de agua en las mismas.

Cultivos

FAO-MOSAICC, contiene dos modelos para obtener las proyecciones de los rendimientos de los cultivos. El primero de éstos, WABAL, está diseñado para simular el balance hídrico en el suelo, requiriendo como datos de entrada la precipitación y evapotranspiración de referencia, la fecha de inicio y duración de la estación de crecimiento, la capacidad del suelo para almacenar agua, así como la duración de cada una las etapas del desarrollo de los cultivos. Los resultados que se obtienen, consisten en valores para las variables correspondientes al balance hídrico del cultivo, tales como evapotranspiración actual, exceso y déficit de agua, así como el índice de satisfacción del agua para la estación de crecimiento y para cada una de las diferentes etapas de desarrollo.

La complejidad de las respuestas de los cultivos ante el déficit de agua, han conducido al uso de funciones de producción empíricas como la opción más práctica para estimar los rendimientos. Por ello, el segundo modelo, AQUACROP, consiste en un enfoque empírico el cual fue propuesto por Doorenbos y Kassam (1979).

La siguiente ecuación, es la parte principal del modelo AQUACROP:

$$B = WP \cdot \sum Ta$$

En donde:

Ta = es la transpiración del cultivo en milímetros, y
WP = es el parámetro de productividad del agua (kilogramo de biomasa x m^2 y por milímetro de agua acumulada, transpirada en el periodo de tiempo dentro del cual se produce la biomasa).

Modelos dinámicos computables de equilibrio general

A partir de 1985, los modelos Dinámicos Computables de Equilibrio General (DCGE, por sus siglas en inglés), se generalizaron como una herramienta para realizar análisis económicos. Las especificaciones de los DCGE siguen el modelo tradicional neoclásico–estructuralista presentado por Dervis *et al.* (1982). La modelación se realiza a través del lenguaje Sistema General de Modelación Algebraica (GAMS, por sus siglas en inglés), e incluye bases de datos y una Matriz de Contabilidad Social (SAM, por sus siglas en inglés). La SAM representa la economía de una nación, y con-

siste en una matriz cuadrada en la que cada cuenta está representada por un renglón y una columna; la base de datos del país en el cual será aplicado el modelo, puede incorporar el grado de desagregación deseado en actividades, productos, empresas y hogares.

Los efectos del cambio climático en la producción agrícola, se incluyen en el modelo económico de la siguiente manera: los cambios proyectados en los rendimientos, ya sea por medio de la aplicación del modelo WABAL o del modelo AQUACROP, se transfieren al modelo económico como impactos exógenos en el parámetro de cambio en la función de producción. Asimismo, los cambios en la disponibilidad de agua para riego proyectados por el modelo STREAM, son transferidos a través de un decremento exógeno en la dotación de agua. Los indicadores económicos típicos, tales como el producto interno bruto, empleo, inversiones y precios, se proyectan hacia el futuro, empleando los mismos escenarios climáticos que fueron utilizados para realizar las proyecciones de los cultivos. También es posible simular los efectos económicos de aquéllas políticas, que se propongan para contrarrestar los efectos del cambio climático en la agricultura.

Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM)

Es un servicio de la Secretaría de Economía que tiene el propósito de ofrecer información sobre el comportamiento de los precios al por mayor de los productos agrícolas, pecuarios y pesqueros que se comercializan en los mercados nacionales e internacionales.

Los mercados agrícolas, contienen información de precios mínimos, máximos y frecuentemente al mayoreo de alrededor de 40 frutas y 40 hortalizas de consumo generalizado, que se comercializan en 44 mercados mayoristas y medio mayoristas

Los mercados pecuarios, disponen de información nacional sobre precios al por mayor de ganado en pie, carne en canal, principales subproductos, así como de volúmenes de ingreso, sacrificio de animales para abasto y orígenes del ganado, considerando bovinos, porcinos, caprinos, huevo, pollo e insumos.

Los mercados pesqueros disponen de información nacional acerca de precios de mayoreo y menudeo de pescados y mariscos, de las zonas representativas de comercialización y principales centros de distribución del país. Asimismo, se ofrecen precios de mayoreo y menudeo de las distintas marcas de atún y sardina enlatados, que se comercializan en las principales centrales de abasto y distintos tipos de estableci-

mientos en diversas ciudades del país. Destaca el mercado de La Nueva Viga, por ser el principal centro distribuidor de estos productos en el país.

Mercados Internacionales. La disponibilidad y periodicidad de la información, se establece de acuerdo al calendario de la fuente, que es el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés).

Encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT)

El Instituto Nacional de Salud Pública (2011), ha identificado a la ENSANUT como una encuesta multitemática, probabilística, nacional pero con representatividad estatal y por estratos urbano y rural, la cual considera una sobre muestra de los hogares con mayores carencias en el país. Para la determinación del tamaño de muestra de la ENSANUT 2011-2012, se consideró que la menor proporción de importancia (prevalencia mínima de interés) que debería estimarse con precisión era 8.1 por ciento. Además, considerando que los estimadores estatales obtenidos por la encuesta deberían tener un error relativo máximo de 25%, un intervalo de confianza de 95%, una tasa de no respuesta de 20% y un efecto de diseño de 1.7, se determinó un tamaño de muestra de al menos 1719 viviendas por estado, usando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2} \quad (1-p) \quad deff}{r^2 p \qquad TR}$$

En donde:

n= Tamaño de muestra
p= Proporción a estimar
$Z^2_{\alpha/2}$= Cuantil de una distribución normal asociado con nivel de confianza deseado.
r=Error relativo máximo que se está dispuesto a aceptar.
deff=Efecto de diseño, que es la pérdida o ganancia en la eficiencia de diseño, por tratarse de un diseño complejo.
TR=Tasa de respuesta esperada.

De acuerdo con las estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO), hay en promedio 1.01 hogares por vivienda en México, con una media nacional de 4 integrantes por cada uno de ellos. De esta forma, se espera identificar 55,558 hogares, constituidos por 222,232 personas.

Medición multidimensional de la pobreza

La inseguridad alimentaria se determina a partir de una distinción entre los hogares con población menor a 18 años y los hogares sin población menor de 18 años. Para el total de hogares donde no habitan menores de 18 años de edad, se identifican aquéllos en los que algún adulto, por falta de dinero o recursos, al menos: no tuvo una alimentación variada, dejó de desayunar, comer o cenar; comió menos de lo que debería comer; se quedaron sin comida; sintió hambre pero no comió; o hizo sólo una comida o dejó de comer durante todo el día. En el caso del total de hogares donde habitan menores de 18 años de edad, se identifican aquéllos en los que por falta de dinero o recursos, tanto las personas mayores como las menores de 18 años: no tuvieron una alimentación variada; comieron menos de lo necesario; se les disminuyeron las cantidades servidas en la comida; sintieron hambre pero no comieron; o hicieron una comida o dejaron de comer durante todo el día.

De acuerdo al número de respuestas afirmativas o negativas, se define el grado de seguridad alimentaria, bajo las siguientes categorías:

Severo: los hogares sólo con adultos que contestan afirmativamente de 5 a 6 preguntas; los hogares con menores de edad que responden de 8 a 12 preguntas de la escala.
Moderado: los hogares sólo con adultos que responden afirmativamente de 3 a 4 preguntas de la escala. Para los hogares con menores de 18 años, se consideran aquéllos que contestan afirmativamente de 4 a 7 preguntas de la escala.
Leve: los hogares conformados sólo por mayores de 18 años que contestan afirmativamente de 1 a 2 preguntas de la escala. En el caso de los hogares con menores de edad, se consideran a aquéllos que contestan afirmativamente de 1 a 3 preguntas de la escala.
Seguridad alimentaria: Los hogares constituidos sólo por adultos y los hogares con menores de edad que no responden de manera afirmativa a ninguna de las preguntas de la escala.

Consideraciones relavantes en la evaluación de la seguridad alimentaria

El cambio climático altera las condiciones económicas generales que determinan el poder adquisitivo de los consumidores, y por consiguiente su acceso a los alimentos. Por ello, el incremento en la producción, no es suficiente para lograr la seguridad

alimentaria. El cambio climático afecta entonces a las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria: disponibilidad, accesibilidad, estabilidad y utilización.

El análisis de la seguridad alimentaria, implica la realización de estudios de carácter multidisciplinario, ya que incluye desde aspectos biofísicos hasta socioeconómicos. Para llevar a cabo el seguimiento de la seguridad alimentaria, se requiere la inclusión de modelos que cubran todos los aspectos antes mencionados, para conformar sistemas de información integrales y sean aplicables en los niveles estatal, regional y nacional.

Los sistemas de información existentes a este respecto, en general, poseen las siguientes limitaciones: parten del análisis a nivel país, por los que las simplificaciones y generalizaciones los hacen poco aplicables; sólo cubren algunos de los aspectos requeridos para la determinación del grado de seguridad alimentaria; los resultados que presentan, consisten en análisis estadísticos históricos; es decir, no están orientados hacia la prevención.

El sistema FAO-MOSAICC, es un sistema integral, actualmente de los más completos para evaluar la seguridad alimentaria, ya que incluye la aplicación de modelos biofísicos y económicos.

Conclusiones

La inclusión de modelos biofísico-socioeconómicos, en sistemas de información integrales, constituyen un elemento estratégico para identificar y dar seguimiento al grado de inseguridad alimentaria existente; ya sea crónica, cíclica, o transitoria, en un estado, región o país. A partir de su aplicación, es posible localizar zona y grupos vulnerables, para posteriormente proponer los planes y programas pertinentes, así como las estrategias para su implementación.

El sistema que puede implementarse con mayor capacidad para evaluar la seguridad alimentaria de un estado o de un país, es el sistema integral FAO-MOSAICC, que al ser un sistema de simulación, permite la generación de escenarios futuros para cada uno de sus componentes: climatología, crecimiento de los cultivos, hidrología y macroeconomía.

Una forma de poder abarcar todos los aspectos requeridos para la determinación de la seguridad alimentaria, es incorporarle a la información del sistema FAO-MOSAICC, la información generada por el Sistema Nacional de Información de Mercados, los resultados de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud, aplicada por la Secretaría de Salud y la Medición Multidimensional de la Pobreza, realizada por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL).

Es importante considerar que para la implementación de este sistema, se requiere el establecimiento de Comités de Seguridad alimentaria a nivel municipal y estatal, los cuales deberán estar integrados por los titulares de las dependencias participantes, así como por representantes de las organizaciones de productores y de la sociedad civil. Además, para garantizar la aportación de la información y la continuidad del sistema, deben constituirse Grupos Técnicos Multidisciplinarios de Seguimiento a la Seguridad alimentaria, también en cada uno de los niveles.

Sobre los autores

Jorge Alejando Adame Garza, César Arturo Hernández Barraza, Jorge Loredo Osti, David Gilberto López Cantú. Grupo Disciplinar de Agronegocios de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Kilómetro 5, Carretera federal 85 Cd. Victoria - Cd Mante, Ejido Santa Librada, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. correo electrónico jadame@uat.edu.mx; tel (834) 1410934.

Referencias

Alexandratos, N. (2009), *World Food and Agriculture to 2030/2050, Highlights and Views from mind-2009, in Proc. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050.* FAO, Rome.

Block, S., L., P. Kiess, Webb y C. P. Timer (2004), *Macro shocks y micro-outcomes: child nutrition during Indonesia's crisis. Economics and Human Biology*, 2(1), pp. 21-44

Bloem M. W., R. D. Semba and K. Kraemer (2010), "Castel Gandolfo Workshop: An Introduction to the Impact of the Climate Change, the Economic Crisis, and the Increase in the Food Price of Malnutrition", *Journal of Nutrition*, 140, pp. 132S-135S.

Bruinsma, J. (2009), *The Resource Outlook to 2050. By How Much do Land, Water Use and Crop Yields Need to Increase by 2050? Paper Presented at the FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, 24-26 June 2009, Rome, FAO.

CGIAR (2009), *Climate, Agriculture and Food Security: A Strategy for Change*, CGIAR.

Davies, M. *et al.*, (2008), *Climate Change Adaptation, Disaster Risk Reduction and Social Protection: Complementary Roles in Agriculture and Rural Growth*, Institute of Development Studies, Brighton, UK.

Delobel, Francois (2011), *Workshop on* FAO-MOSAICC, 17-18 february 2011, FAO HQ, Rome.

Dervis, K., J. de Melo and S. Robinson (1982), *General Equilibrium Models for Development Policy*, London, Cambridge University.

Doorenbos, J. and A. H. Kassam (1979), *Yield Response to Water*, FAO Irrigation and Drainage Paper núm. 33, FAO, Rome, Italy, p. 193.

FAO (1996), "Cumbre Mundial sobre Alimentación", Declaración de Roma sobre la Seguridad alimentaria Mundial y Plan de Acción de la Cumbre Mundial Roma.

FAO (2008), *A Inter-Departmental Working Group on Climate Change and Food Security. A Framework Document*, FAO, Rome, p. 93.

Fischer, G. (2009), "World food and agriculture to 2030/2050: how do climate change and bioenergy alter the long- term outlook for food, agriculture and resource availability?" in Proc. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050.

Fischer, G. *et al.*, (2007), "Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements: Effects of Mitigation, 1990-2080", *Technological Forecasting and Social Change*, 74 (7), pp. 1083-1107.

Green, D. (2008), *From Proverty to Power: How Active Citizens and Effective States can Change the World*, Oxford, Uk, Oxfam.

Hamilton, K. (2006), *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century.*

Heltberg, R. and P. B. Siegel (2008), *Climate Change: Challenges for Social Protection Paper for conference on social protection for the pooret in Africa Washington D. C.*, World Bank.

IFPRI (2010), *Food Security Farming and Climate Change to 2050*, Washington, DC, p. 140.

Instituto Nacional de Salud Pública (2011), "La ENSANUT 2011-2012. Centro de Investigación en Evaluación y Encuestas", Secretaría de Salud, Octubre 3 de 2011.

Jacobs, K. and D. A. Sumer (2002), *The Food Balance Sheets of Food an Agriculture Organization*, Rome, FAO.

Margulis, S. *et al.*, (2010), *Cost to Developing Countries of Adapting to Climate Change: New methods and Estimates*, Washington, D.C., World Bank.

Moorhead Anne (2009), *Climate, Agriculture and Food Security, a Strategy for Change*, p. 56.

Sibrian, R., S. Ramasawmy and J. Mernies (2006), *Measuming hunger at subnational level: The FAO approach applied to household suvery data*, ESS/ESSA/005 FAO Working Papers. Rme, FAO.

Subervie, J. (2008), "The variable response of agricultural supply to world price instability in the developing countries", *Journal of Agricultural Economics*, 59 (1), pp. 72-92.

UNISDR (2008), *Climate Change and Disaster Risk Reduction: Briefing Note 01*, Geneva, UNISDR.

Vercueil, Jacques (2000), *Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Información para la Seguridad alimentaria y la Alerta Temprana*, ESA, FAO, Roma.

Von Braun, J. (2007), *The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions*, Washington, DC. IFPRI.

Los alimentos en México y su relación con la salud
se terminó de imprimir en febrero de 2014
El tiraje consta de 1 000 ejemplares