



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA APLICADA

Posgrado en Ecología y Manejo de Recursos Naturales



**METALES PESADOS EN CAMARONES PENEIDOS DE LAGUNA MADRE Y  
LAGUNA SAN ANDRÉS, TAMAULIPAS: UN ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**DOCTOR EN ECOLOGÍA  
Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES**

Presenta

**MARÍA DE LA LUZ VÁZQUEZ SAUCEDA**

**DIRECTORES DE TESIS**

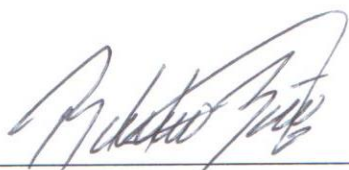
**DR. ROBERTO PÉREZ CASTAÑEDA  
DR. JESÚS GENARO SÁNCHEZ MARTÍNEZ**

Cd. Victoria, Tamaulipas, a 9 de enero de 2013

La tesis titulada "Metales pesados en camarones peneidos de Laguna Madre y Laguna San Andrés, Tamaulipas: un análisis espacio-temporal", presentada por María de la Luz Vázquez Saucedo, fue revisada y aprobada por su Comité Tutorial como requisito parcial para obtener el título de:

**Doctor en Ecología y Manejo de Recursos Naturales**

**COMITÉ TUTORAL**



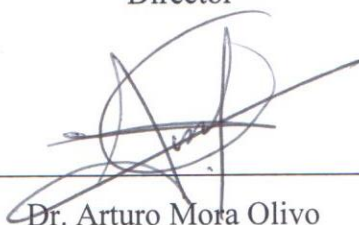
Dr. Roberto Pérez Castañeda

Director



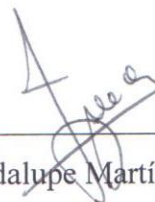
Dr. Jesús Genaro Sánchez Martínez

Director



Dr. Arturo Mora Olivo

Asesor



Dr. José Guadalupe Martínez Avalos

Asesor



## RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos lagunas costeras del Golfo de México, ecosistemas estuarinos denominados, Laguna Madre y Laguna San Andrés, Tamaulipas. El estudio desarrollado en Laguna Madre, determinó los niveles de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb), en agua, sedimento y músculo de camarón; para esto se obtuvieron muestras mensuales en dos sitios ubicados en la zona de captura del camarón silvestre, éstas se analizaron para evaluar las diferencias espacio-temporales entre los sitios y épocas climáticas en una temporada de pesca e identificar si las concentraciones mostraban patrones elevados. Por otra parte en Laguna San Andrés, los sitios de muestreo se ubicaron a lo largo del sistema estuarino, El primer muestreo fue de cuatro meses para determinar la concentración de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Ni y Pb) en 16 sitios de muestreo con la finalidad de determinar las concentraciones de plomo y cadmio en el agua y sedimento, asimismo, se realizó un análisis espacial de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Ni y Pb) a lo largo del ecosistema estuarino evaluando las condiciones antropogénicas que lo afectan, la estructuración y distribución espacial de los metales pesados en sedimento a lo largo del ecosistema estuarino mediante un enfoque geoestadístico. El segundo, se realizó en ocho sitios, durante un año, en el agua, sedimento y tejido de camarón, evaluando ahí las diferencias espacio-temporales de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Ni y Pb). Los niveles de metales pesados en Laguna Madre fueron homogéneos durante el año en los dos sitios de muestreo. Los valores de la mayoría de los metales fueron más elevados en primavera, otoño e invierno, en el caso del agua los valores cadmio (0.02 mg/L) y plomo (0.1 mg/L) no se encontraron por encima de sus límites máximos permisibles; sin embargo, en el tejido sucedió lo contrario, la concentración de cadmio (1.53 mg/kg) fue mayor en todas las épocas y el plomo (2.0 mg/kg) solo durante la primavera. El estudio en Laguna San Andrés, mostró niveles de cadmio y plomo en el agua, por encima de las normatividades mexicanas, NOM-001-96. De igual manera en el sedimento donde los valores de estos metales fueron mayores con respecto a los demás sitios, se detectaron valores que pueden ocasionar efectos biológicos adversos. Las concentraciones de metales pesados en sedimento (Cd, Cu, Fe, Pb y Ni) mostraron una fuerte autocorrelación espacial a lo largo del ecosistema estuarino. Este resultado ocurrió en los cuatro meses, con excepción del plomo en diciembre y del níquel en octubre y noviembre. El análisis variográfico reveló consistentemente una alta estructuración espacial de la concentración de metales pesados en sedimento. Para el estudio anual de los ocho sitios los valores de metales como el cadmio (0.52 mg/L), plomo 2.35 mg/L) fueron altos en el agua y en el tejido, de la misma manera en el sedimento donde los efectos biológicos adversos se pueden presentar. Aquí, los sitios más contaminados fueron aquellos donde se encuentran las descargas domésticas al sistema estuarino, no solo por las actividades antropogénicas urbanas, sino también por el incremento en la actividad acuícola en el sitio ya que el creciente establecimiento de granjas camarónicas ha contribuido a generar esos problemas en la calidad del agua. Los resultados obtenidos en esta investigación pueden generar datos importantes para poder aplicar medidas de mitigación de impactos adversos y evitar la contaminación en el sitio, ya que por ser organismos de consumo humano, pueden biomagnificarse y adentrarse en la cadena trófica, esto conlleva a plantear estrategias para lograr la inocuidad del recurso pesquero evitando problemas en su comercialización.



## ABSTRACT

This study was conducted in two coastal lagoons of the Gulf of Mexico, known as Laguna Madre and San Andres Lagoon, Tamaulipas. The study in Laguna Madre, involved the determination of heavy metals cadmium (Cd), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), nickel (Ni) and lead (Pb) levels in water, sediment and shrimp muscle; samples were collected monthly from two sites and analyzed in order to: a) evaluate space-time differences between locations and climatic seasons during one fishing season; b) compare heavy metal levels with the current normativity; and c) correlate shrimp size with metal concentration levels in muscle. Sixteen sampling sites in San Andres Lagoon were located along the estuarine system to determine the heavy metal (Cd, Cu, Fe, Ni and Pb) concentration in water and sediment. A spatial analysis of Cd, Cu, Fe, Ni and Pb along the estuarine ecosystem was also performed to evaluate their spatial structure and distribution in sediment using a geostatistical approach. The second part of this study was performed in eight sampling sites during a year, to evaluate the spatial and temporal differences of Cd, Cu, Fe, Ni and Pb in water, sediment and shrimp tissue samples. Heavy metals levels in Laguna Madre were homogeneous throughout the year in the two sampling sites. Most metals showed higher levels in spring, autumn and winter; in the case of water, Cd (0.02 mg/l) and Pb (0.1 mg/l) levels were never above their maximum permissible limits, however, the opposite was found in tissue samples where the Cd concentration levels (1.53 mg / kg) were higher in all periods, while high Pb (2.0 mg/kg) were only found during the spring. Cadmium and lead water and sediment levels in the San Andres Lagoon were above the maximum limits stated in Mexican law (NOM-001-96). These high Cd and Pb levels were found near human settlements, detecting values that can cause adverse biological effects. Heavy metal (Cd, Cu, Fe, Pb and Ni) concentrations in sediment showed strong spatial autocorrelation along the estuarine ecosystem. This occurred during the four months, with the exception of Pb in December and Ni in October and November. The variographic analysis revealed a consistently high spatial structuring of heavy metal concentrations in sediment. For the second part, the annual study in eight sampling sites, Cd (0.52 mg/L) and Pb (2.35 mg/L) showed very high water and tissue concentrations, as well as in sediment, where adverse biological effects may occur. Most contaminated sites were found near domestic discharge sites from communities along the estuarine ecosystem; this is probably due to onsite oxygen saturation, not only by urban anthropogenic activities, but also because of the increase in aquaculture activities in the study area, since the establishment of shrimp farms has been triggering these problems in water quality. This study's results can be used to implement mitigation measures to avoid adverse impacts and prevent pollution in water, sediment and organisms, in order to ensure the safety of the fishing resources, avoiding marketing and consumption problems.

## CONTENIDO

|  |            |
|--|------------|
| Agradecimientos .....                          | <i>iii</i> |
| Agradecimientos personales .....               | <i>iv</i>  |
| Dedicatoria .....                              | <i>v</i>   |
| Resumen .....                                  | <i>vi</i>  |
| Abstract .....                                 | <i>vii</i> |
| Lista de tablas .....                          | <i>xi</i>  |
| Lista de figuras .....                         | <i>xii</i> |
| CAPÍTULO 1. Introducción General .....         | 1          |
| 1.1 Lagunas costeras del Golfo de México ..... | 2          |
| 1.2 Camarones Peneidos .....                   | 4          |
| 1.2.1. Ciclo de vida .....                     | 4          |
| 1.2.2. Pesquería .....                         | 6          |
| 1.3 Metales pesados .....                      | 7          |
| 1.3.1. Generalidades .....                     | 7          |
| 1.3.2. Fuentes y efectos de los metales .....  | 9          |
| 1.4 Planteamiento de la Investigación .....    | 11         |
| 1.4.1. Hipótesis General .....                 | 13         |
| 1.4.2. Objetivo General .....                  | 13         |
| 1.5 Bibliografía .....                         | 14         |



|   |    |
|---|----|
| CAPITULO 2. Metales pesados en camarón, agua y sedimento del ecosistema hipersalino       |    |
| Laguna Madre .....  | 19 |
| 2.1. Introducción .....   | 20 |
| 2.2 Métodos .....   | 22 |
| 2.3 Resultados .....  | 25 |
| 2.4 Discusión .....   | 32 |
| 2.4.1. Metales pesados en camarones y su hábitat .....                                    | 39 |
| 2.4.2. Metales pesados en camarón y su inocuidad alimentaria .....                        | 40 |
| 2.5 Bibliografía .....  | 41 |
| CAPÍTULO 3 Cadmium and lead levels along the Estuarine Ecosystem of Tigre River-San       |    |
| Andres Lagoon, Tamaulipas, Mexico .....   | 45 |
| CAPÍTULO 4 Análisis espacial de metales pesados en sedimentos a lo largo de un ecosistema |    |
| costero antropogénicamente impactado: un enfoque geoestadístico .....                     | 50 |
| 4.1 Introducción .....  | 51 |
| 4.2 Métodos .....   | 53 |
| 4.2.1 Análisis Geoestadístico .....   | 54 |
| 4.3 Resultados .....  | 57 |
| 4.4 Discusión .....   | 64 |
| 4.5 Bibliografía .....  | 66 |
| CAPÍTULO 5. Niveles de metales pesados en camarón, agua y sedimento del ecosistema        |    |
| estuarino Río Tigre-Laguna San Andrés .....   | 69 |
| 5.1 Introducción .....  | 70 |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.2 Métodos .....  | 71        |
| 5.2.1 Área de estudio .....  | 71        |
| 5.3 Resultados .....   | 74        |
| 5.4 Discusión .....  | 80        |
| 5.5 Bibliografía .....   | 89        |
| <b>CAPÍTULO 6. Discusión General .....</b>                               | <b>94</b> |
| 6.1 Laguna Madre y Laguna San Andrés .....                               | 96        |
| 6.1.2 Caracterización .....  | 96        |
| 6.1.3 Factores antropogénicos .....                                      | 96        |
| 6.1.4 Factores fisicoquímicos .....                                      | 97        |
| 6.1.5 Contaminación por metales tóxicos .....                            | 98        |
| 6.1.6 Inocuidad y efecto de los metales tóxicos en la salud humana ..... | 100       |
| 6.2 Bibliografía .....   | 102       |