



Fotografía elaborada por: Eugenia Guadalupe Cienfuegos Rivera

Crecimiento de *Centrosema pubescens* Benth bajo fertilización nitrogenada más azufre en Ecuador

Centrosema pubescens Benth growth under nitrogen and sulfur fertilization more sulfur in Ecuador

Hilda Beatriz López-Hidalgo¹
 Juan Carlos Martínez-González^{1*}
 Holger Cristobal Salcán-Guamán²
 Luis Wilfrido Gusqui-Vilema²
 Diana Gabriela Balseca-Guzmán¹
 Eugenia Guadalupe Cienfuegos-Rivas¹

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149.

²Universidad Tecnológica Equinoccial, Extensión Santo Domingo, Centro de Investigación, Vía Chone km 4.5, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

*Autor para correspondencia:
 jmartinez@docentes.uat.edu.mx

Fecha de recepción:
 3 de junio de 2016

Fecha de aceptación:
 16 de diciembre de 2016

RESUMEN

La calidad y disponibilidad del forraje, principalmente de las gramíneas, disminuye en las regiones tropicales durante la época seca, ya que al madurar incrementa el contenido de carbohidratos estructurales y disminuye el de proteínas y la digestibilidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento inicial de *Centrosema pubescens* Benth, bajo fertilización nitrogenada y azufre. La siembra de *C. pubescens* se realizó en bolsas negras de polietileno. Se evaluaron dos tratamientos de fertilización nitrogenada 0 kg/N·ha⁻¹

(-NS) y 44 kg/N·ha⁻¹ (+NS), utilizando como fuente de nitrógeno sulfato de amonio. La fertilización se hizo al momento de la siembra, a los 15 d, 30 d y 60 d después de la siembra. El ensayo duró 12 semanas y se realizaron muestreos semanales de las siguientes variables: número de nódulos (NN), peso de nódulos (PN), longitud de raíz (LR), materia seca parcial (MSP), altura de planta (AP), índice de área foliar (IAF), tasa de acumulación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa relativa de crecimiento (TRC) y área foliar específica (AFE). Se utilizó un

análisis de regresión para estimar curvas de crecimiento y líneas de tendencia. El tratamiento +NS provocó la disminución significativa de NN (- 10) y PN (- 0.72 g) ($P < 0.05$). Resultados no significativos ($P > 0.05$) fueron observados en LR con 42.0 cm y 42.8 cm para +NS y -NS, respectivamente. Mientras que para MSP y AP, los tratamientos afectaron positivamente, el comportamiento ($P < 0.05$). El resto de las variables (IAF, TAN, TCC, TRC y AFE) no fueron afectadas por los tratamientos ($P > 0.05$). La fertilización con nitrógeno más azufre mejoró el establecimiento de *C. pubescens* con fines forrajeros.

PALABRAS CLAVE: variables agronómicas, variables fisiológicas, leguminosas, andosoles.

ABSTRACT

The quality and availability of forage, mainly from grasses, decreases in the tropical regions during the dry season, since when it matures it increases the content of structural carbohydrates and decreases the protein and the digestibility. The objective of this study was to evaluate the initial growth of *Centrosema pubescens* Benth, under nitrogen and sulfur fertilization. The planting of *C. pubescens* was carried out in black polyethylene bags. Two treatments of nitrogen fertilization $0 \text{ kg/N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (-NS) and $44 \text{ kg/N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (+NS) were evaluated using ammonium sulfate as the nitrogen source. Fertilization was done at the time of planting, at 15 d, 30 d and 60 d after sowing. The experiment lasted 12 weeks and weekly sampling of the following variables was done: number of nodules (NN), nodule weight (NW), root length (RL), partially dry matter (PDM), plant height (PH), leaf area index (LAI), net accumulation rate (NAR), crop growth rate (CGR), relative growth rate (RGC) and specific leaf area (SLA). A regression analysis was used to estimate growth curves and trend lines. The +NS treatment caused a significant decrease of NN (- 10) and NW (- 0.72 g) ($P < 0.05$). Nonsignificant result was observed in RL ($P > 0.05$) with 42.0 cm and 42.8 cm for +NS and -NS, respectively. However, for

PDM and PH the treatments affected positively their behavior ($P < 0.05$). The rest of the variables (LAI, NAR, CGR, RGR and SLA) were not affected by the treatments ($P > 0.05$). Fertilization with nitrogen plus sulfur improved the establishment of *C. pubescens* for fodder purposes.

KEYWORDS: agronomic variables, physiological variables, legumes, andosols.

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, el 30 % de la superficie presenta suelos andosoles que se desarrollaron a partir de cenizas volcánicas y evidencian poca a moderada evolución; se registra un apreciable contenido de alófana (arcillas amorfas), baja densidad aparente y alta fijación de fósforo. Estos suelos se ubican en las zonas altas y húmedas de la serranía ecuatoriana, cubiertos por vegetación de páramo. Hacia el callejón interandino y la costa, son muy utilizados para realizar actividades agrícolas, ya que presentan buenas condiciones de fertilidad (Calvache, 2014). Silva y col. (2010), mencionaron que la fertilización nitrogenada y las combinaciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S): N-P, N-S y N-P-S son fundamentales para mantener altos rendimientos en suelos andosoles. Sin embargo, en regiones tropicales, en ciertas épocas del año, particularmente en época seca, la calidad y disponibilidad del forraje es limitado.

De manera general, las gramíneas son la principal fuente de alimento para el ganado, las cuales, en las zonas tropicales maduran relativamente rápido, característica que está asociada con el aumento de lignina, la disminución de la digestibilidad y del contenido de proteína (Quero y col., 2007), por lo tanto, su calidad nutritiva es baja y no satisfacen las necesidades alimenticias de los rumiantes.

Una opción para solucionar el problema de la alimentación del ganado en el trópico es utilizar leguminosas; las mismas que, además

de presentar forraje con alto valor proteico, tienen la capacidad de ser tolerantes a diferentes ambientes (Sánchez y Faría, 2013). Por lo que su estudio, ya sea solas o en asociación con gramíneas, generará información que le permitirá al productor incrementar el rendimiento de sus praderas (Rojas y col., 2005).

Las fabáceas, aparte de favorecer la fijación biológica de nitrógeno atmosférico, han demostrado que pueden satisfacer los requerimientos de nitrógeno del cultivo de maíz, controlar malezas, proteger el suelo de la erosión y crear otros beneficios ecológicos. *Centrosema pubescens* Benth es una leguminosa de amplia distribución y adaptación en Latinoamérica, tolerante a la sombra (Castillo y col., 2011), sequía, suelos ácidos, mal drenados y de baja fertilidad (Rodríguez y col., 2003), además posee cualidades agronómicas, tales como alta producción de forraje (Pirela-León y col., 2003), semilla y capacidad de enraizamiento (Rodríguez y col., 2003).

Chingala y col. (2013), también destacan las características nutrimentales de *C. Pubescens*, como su alto contenido de proteína (21 %) y de fibra detergente neutra (47 %). Por sus cualidades, *C. pubescens* es utilizada en muchos países para incrementar la calidad de la dieta de los animales (Pirela-León y col., 2003; Rodríguez y col., 2003; Chingala y col., 2013). Sin embargo, el establecimiento de una leguminosa requiere de ciertas condiciones para evitar los efectos de competencia, que provoquen desplazamiento o muerte de la leguminosa. Hay efectos de la fertilización con nitrógeno que pueden favorecer o perjudicar el desarrollo de las plantas, la producción y la fijación de nitrógeno (Esquivel y col., 2014), dependiendo de la especie y etapa vegetativa en que se encuentre. Poco se ha investigado de los efectos de la fertilización nitrogenada en la etapa inicial del crecimiento; el cual puede resultar beneficioso para un mayor desarrollo de sus componentes botánicos (Faría-Mármol y col., 2005).

Las leguminosas requieren azufre en cantidades considerables, en algunos casos es equiparable a las necesidades del fósforo. En ocasiones, el azufre ha sido detectado como elemento deficiente en suelos tropicales de Ecuador. Otros investigadores (Lugo-Soto y col., 2009; Pérez y col., 2009), señalaron que el fósforo es un elemento limitante en el crecimiento de cultivares de *C. pubescens*.

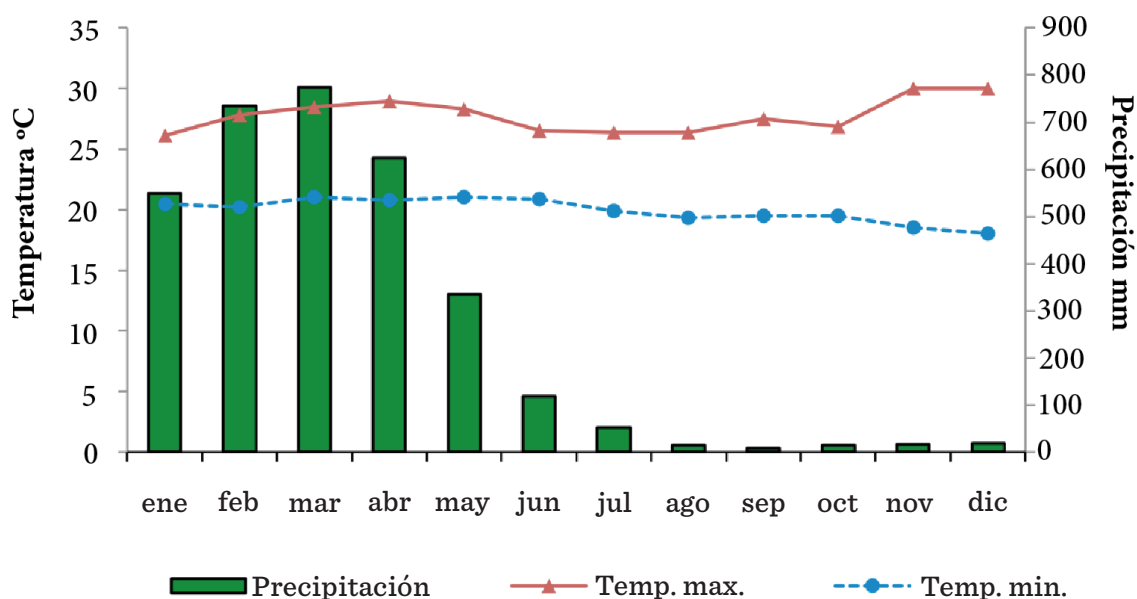
El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y azufrada sobre el crecimiento inicial de *C. pubescens*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Granja Experimental “El Oasis”, de la Escuela de Ingeniería Agropecuaria de la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo, Ecuador. El sitio experimental se localiza geográficamente a 0°13'37" N y 79°15'04" W. El clima prevaleciente es tropical húmedo, con temperatura media anual de 23.5 °C y precipitación anual de 3 257 mm (Figura 1), con el 92.8% en los primeros cinco meses (enero a mayo) (SENPLADES, 2010).

El establecimiento de *C. pubescens* se llevó a cabo en enero de 2012. Previo a la siembra, las semillas fueron escarificadas, usando ácido sulfúrico al 10 % durante 10 min para favorecer la germinación (Reino y col., 2011). La siembra se realizó en macetas (bolsas negras de polietileno con una capacidad aproximada de 2 kg), el suelo utilizado fue de origen volcánico (andosol), que se recolectó a una profundidad de 0 cm a 20 cm. Las características químicas del suelo fueron analizadas previamente y proporcionadas por el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo (Tabla 1).

Se contó con 120 plantas, donde la parcela experimental estuvo compuesta por 60 plantas. Se ubicaron 5 plantas en un total de 12 filas sobre una plataforma de cemento a campo abierto. La fertilización del suelo (N y macro-



■ Figura 1. Medias mensuales de precipitación y temperatura (máxima y mínima) durante el año 2012 en la Estación Climatológica de la Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo, Ecuador.

Figure 1. Monthly average of precipitation and temperature (maximum and minimum) during 2012 at the climatological station of the Universidad Tecnológica Equinoccial, campus Santo Domingo, Ecuador.

nutrientes P, K, S y Mg), se realizó al momento de preparar las bolsas con el fin de garantizar una adecuada emergencia de las plantas. Los tratamientos consistieron en la aplicación de 0 kg/N·ha⁻¹ y 44 kg/N·ha⁻¹, de acuerdo a lo recomendado por Bernal y Espinosa (2003).

Durante el periodo de crecimiento de la leguminosa se hicieron fertilizaciones en la base de la planta 15 d después de la germinación, y 30 d y 60 d después; para -NS se aplicó 1 g de fertilizante mineral K-Mag[®] (Laboratorios Fertisa, Ecuador), que contiene 0 mg N, 0 mg P, 220 mg K, 180 mg Mg y 220 mg S, las cuales corresponden a dosis de 297 kg/ha⁻¹ de K, 243 kg/ha⁻¹ de Mg y 297 kg/ha⁻¹ de S. Estas fertilizaciones fueron obtenidas del manual de nutrición y fertilización de pastos (Bernal y Espinosa, 2003). Mientras que al tratamiento +NS, además del 1 g de K-mag[®], se adicionó 1 g de sulfato de amonio (NH₄)₂SO₄, que contiene 21 % N y

24 % S (Quarek, Ecuador) que correspondió a una dosis de 284 kg/ha⁻¹, 297 kg/ha⁻¹, 621 kg/ha⁻¹ y 243 kg/ha⁻¹ de N, K, S y Mg, respectivamente.

Para determinar el crecimiento de las plantas de *C. pubescens*, se realizaron 12 muestreos destructivos (uno por semana), correspondientes a las 12 semanas de investigación. Cada muestreo constó de la separación de nódulos, raíz, tallo y hojas de cinco plantas por semana.

Las variables agronómicas estudiadas fueron: número de nódulos (NN), se contaron los nódulos de colores rosados y sanos; longitud de la raíz (LR), fue necesario lavar con agua corriente la raíz para quitar el exceso de tierra, luego se midió (cm) desde el cuello hasta la cofia, empleando un flexómetro (Mod. 30608 Stanley[®], USA); peso de nódulos (PN), consistió en colocar directamente los nódulos en una balanza (Mod. H-5851 Ohaus Scout[®],

■ Tabla 1. Características químicas del suelo andosol de la Granja Experimental “El Oasis”, durante el año 2012.

Table 1. Chemical characteristics of the andosols soil from the “Oasis” Experimental Farm, during 2012.

Propiedad	Valores en muestra	NORM-021-SEMARNAT-2000
Textura	Arcillosa	
Color	Negro	
pH	5.9	Moderadamente ácido
Materia Orgánica (%)	2.2	Muy bajo
Amoniaco (NH ₄)	41.0	Alto
Fósforo (mg/kg)	6.47	Medio
Azufre (mg/kg)	6.31	Medio
Micro nutrientes		
Hierro (mg/kg)	42.0	Adecuado
Cobre (mg/kg)	5.6	Adecuado
Zinc (mg/kg)	1.9	Adecuado
Manganeso (mg/kg)	2.8	Deficiente
Boro (mg/kg)	0.3	Muy bajo
Bases intercambiables		
Potasio intercambiable	0.3	Media
Calcio intercambiable	8.3	Media
Magnesio intercambiable	2.9	Media

USA) (g); altura de planta (AP), se midió con un flexómetro desde la base hasta el ápice (cm); y área foliar (AF), se determinó utilizando la metodología empleada por Rincón y col. (2000).

Las muestras fueron secadas por 48 h en estufa (Horno de secado de plantas, Terlab MA 1001, Monterrey, México) a 65 °C para obtener la materia seca parcial (MSP; g).

El diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar con factores anidados (SAS, 2004). Las fechas de muestreo (n = 12) fueron anidadas dentro del nivel de fertilización (n = 2) mediante el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j(i) + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = variable de respuesta; μ = media general; α_i = efecto el i-ésimo tratamiento; β_j(i) = efecto

del j-ésimo muestreo anidado en el i-ésimo tratamiento; y ε_{ijk} = error experimental.

Para generar las curvas de crecimiento en el tiempo se utilizó un análisis de regresión (SAS, 2004), con el siguiente modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \epsilon$$

Dónde:

Y_i = variable dependiente, i-ésima observación; β₀, β₁, β₂ parámetros de la ecuación que generalmente son desconocidos; X_i = valor de la i-ésima observación de la variable independiente; y ε = error asociado al modelo.

La eficiencia fisiológica de la planta (Aguilar-García y col., 2005; Carranza y col., 2009) fue estimada a través del índice de área foliar (IAF), área foliar específica (AFE), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento del cultivo (TCC), y tasa relativa de crecimiento (TRC).

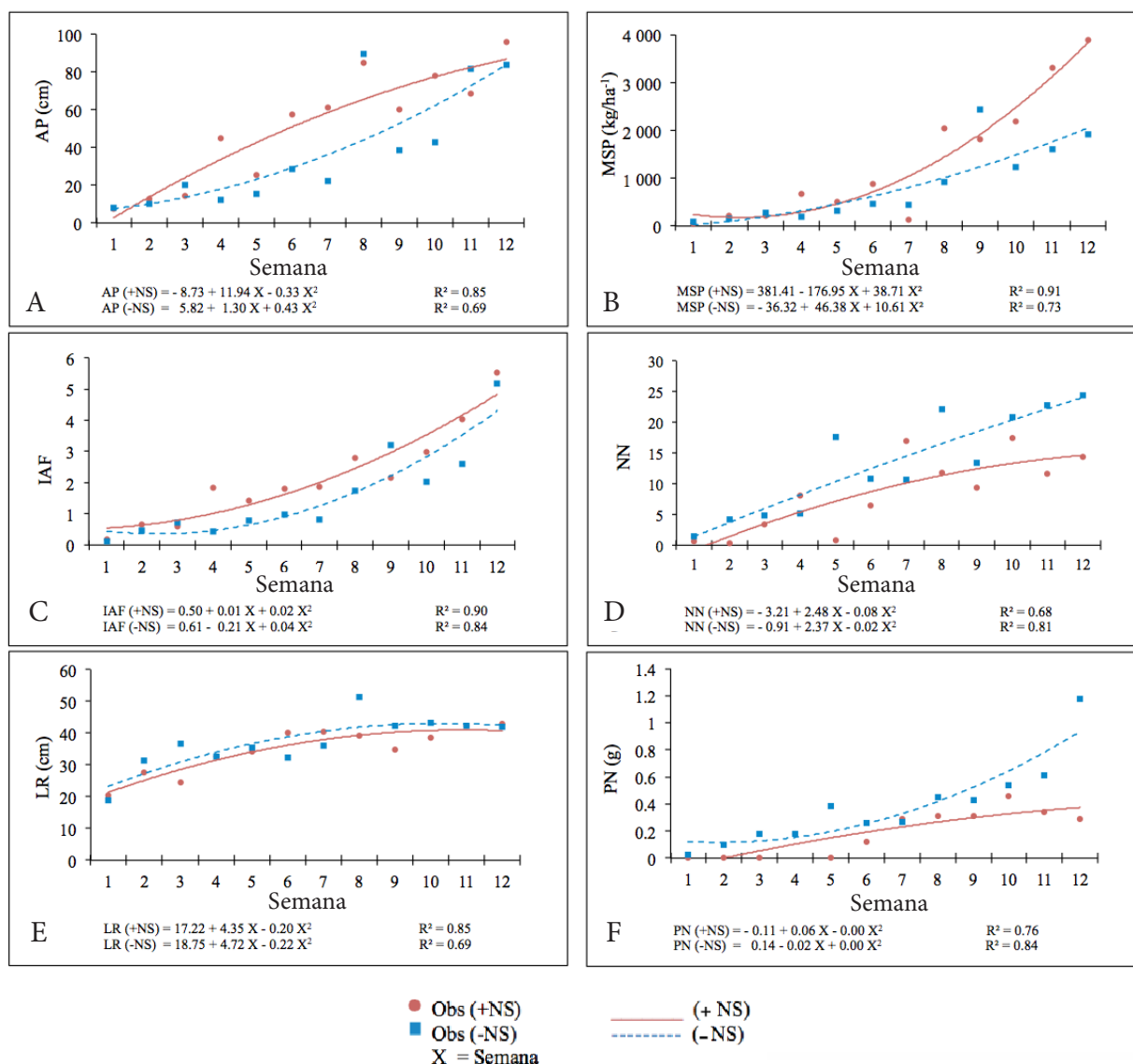
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio, las plantas de centrosema (*C. pubescens*) mostraron un crecimiento cuadrático durante las 12 semanas, (Figura 2A), con efecto significativo ($P < 0.05$) de los tratamientos con nitrógeno y azufre (+NS), en donde la mayor altura de planta se observó con la aplicación de +NS (96 cm), mientras que las plantas que no recibieron estos nutrientes (-NS), solo alcanzaron una altura de 84.8 cm a las 12 semanas. Por su parte, Olivera y col. (2005), al realizar un experimento para evaluar una colección de *Centrosema* spp. en suelos ácidos, encontraron que los *C. pubescens* CIAT-5151, PII-84 y CIAT-476 fueron más promisorios que el resto de cultivares, promediando una altura de plantas de 20.3 cm superior al promedio de todos los cultivares (16.7 cm). Los resultados obtenidos en este trabajo, para AP fueron similares a los obtenidos por Faría-Mármol y col. (2005), quienes estudiaron 10 ecotipos de *C. Pubescens* y hallaron que en el crecimiento en etapas tempranas la AP fue de 93.5 cm; lo cual indicó que independientemente del tratamiento de fertilización las plantas presentaron un desarrollo normal. En otro experimento, Rincón-Rosales y col. (2011), estudiaron la tolerancia al Aluminio (Al) en la arbustiva *Acaciella angustissima* (Mill.) inoculada con *Sinorhizobium mexicanum*, observando que la arbustiva mostró menor altura en presencia del Al y tuvo mejor comportamiento en las plantas inoculadas.

De igual manera, la variable de MSP manifestó que a partir de la quinta semana (Figura 2B), las plantas tratadas con +NS tuvieron una mayor acumulación de biomasa ($P < 0.05$), registrándose un mayor aporte en la última semana con 3 884 kg/ha⁻¹, en comparación a 1 923 kg/ha⁻¹, correspondiente al tratamiento -NS. Estos resultados coinciden con los de Rodríguez y col. (2003), quienes al analizar el potencial agronómico de *Centrosema pubescens*, en condiciones de sabana bien drenada, del estado Anzoátegui, Vene-

zuela, descubrieron que el rendimiento promedio durante la época de lluvias fue de 1 214 kg/MS/ha⁻¹ corte⁻¹. Resultados que están ligados con AP, ya que como se mencionó anteriormente, las plantas con el tratamiento de +NS mostraron mayor altura. Sin embargo, a pesar de haberse presentado mayor altura y acumulación de biomasa en las plantas con la aplicación de +NS, el IAF no se vio afectado ($P > 0.05$). Los dos tratamientos en leguminosas provocaron un crecimiento cuadrático (Figura 2C).

El efecto de la aplicación de +NS en la parte aérea aportó una mayor AP y MSP. Se observó que las plantas -NS exhibieron mayor NN ($P < 0.05$) durante todas las semanas de evaluación (Figura 2D). Las plantas -NS presentaron 24 NN a las 12 semanas, mientras que las plantas que recibieron +NS solo tuvieron 14 NN. Además, los nódulos de las plantas con +NS se tornaron de color gris y en muchas ocasiones se encontraban vacíos (no funcionales). Excepto para NN y PN, el resto de las variables agronómicas se vieron beneficiadas por la aplicación de nitrógeno y azufre (Figura 2). Estos resultados concuerdan con los de Esquivel y col. (2014), quienes señalaron un efecto negativo de la fertilización a base de nitrógeno en la fijación de nitrógeno. Por otro lado, Bécquer y Prévost (2014), al analizar el potencial de formación de nódulos en leguminosas forrajeras y de granos de rizobios, nativos de Sancti Spiritus, Cuba, citaron que la nodulación fue escasa, de tamaño mediano y de color rosa en *Centrosema* spp. Similarmente, Rincón y col. (2000), al analizar la *Leucaena*, descubrieron diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) en el número de nódulos por planta con valores de 8.1, 10.4 y 5.3, respectivamente. Asimismo, Silva y col. (2006), no encontraron efecto de la fertilización nitrogenada sobre la actividad microbial y rendimiento de avena forrajera en un suelo andosol del departamento de Nariño, Colombia. En este estudio, la actividad microbial se incrementó



■ **Figura 2.** Comparación de la tendencia de crecimiento inicial de *Centrosema pubescens* bajo efecto de fertilización nitrogenada (+NS y -NS), para las variables: A = altura de planta (AP), B = materia seca parcial (MSP), C = índice de área foliar (IAF), D = número de nódulos (NN), E = longitud de raíz (LR) y F = peso de nódulos (PN), en Santo Domingo, Ecuador durante 2012.

Figure 2. Comparison of the initial growth trend in *Centrosema pubescens* under the effect of nitrogen fertilization (+NS and -NS): A = plant height (PH), B = partially dry matter (PDM), C = leaf area index (LAI), D = number of nodules (NN), E = root length (RL) and F = nodule weight (NW), in Santo Domingo, Ecuador during 2012.

con la aplicación del fertilizante a la siembra, y a los 45 d y con las dosis altas, sin importar la fuente empleada; la época de aplicación no afectó el número de bacterias, ni la población de hongos, pero sí la de actinomicetos, cuyo número aumentó con la aplicación del fertilizante al momento de la siembra. Las dosis altas de nitrato de potasio

incrementaron las poblaciones de bacterias y actinomicetos.

Sin embargo, Brevedan y col. (2007), demostraron que en estudios realizados en soja, la fertilización presiembra o temprana con altos niveles de nitrógeno están asociados con el aumento de biomasa, lo cual es sinónimo

de un mayor crecimiento vegetativo. Existe la posibilidad de obtener mayor cantidad MSP con la aplicación de N, debido a que al inicio del crecimiento, las plantas aún no desarrollan los nódulos que permiten captar N atmosférico, por lo tanto, la aplicación de N tiende a cubrir las necesidades de las plantas en su etapa temprana de crecimiento.

Los tratamientos de fertilización para longitud de la raíz (LR) en las plantas de *C. pubescens* no mostraron efecto significativo ($P > 0.05$), el incremento de longitud al término de las 12 semanas fue de aproximadamente 20 cm en ambos tratamientos (Figura 2E).

En un trabajo para estudiar la tolerancia al Al de la arbustiva *Acaciella angustissima* (Mill.), inoculada con *Sinorhizobium mexicanum*, se reportó que el peso de la raíz no se modificó por el efecto del inóculo (Rincón-Rosales y col., 2011). Díaz y col. (2011), indicaron que el posible aumento en longitud de las raíces puede ser el resultado de que las plantas sin fertilización nitrogenada busquen los nutrientes, alargando sus raíces, mientras que en las plantas fertilizadas (+NS), las raíces no crecen por la disponibilidad de los elementos en el suelo. Sin embargo, en este estudio no se apreciaron diferencias en la longitud de la raíz, posiblemente como resultado de que el crecimiento estaba limitado por la bolsa de polietileno.

Por otro lado, Gómez-Carabalí y col. (2010), realizaron un estudio para determinar las diferencias en la distribución de raíces, absorción y utilización de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, y S) de una gramínea forrajera C4 (*Brachiaria dictyoneura*) y dos leguminosas C3 (*Arachis pintoi* y *Centrosema macrocarpum*), creciendo bajo dos niveles de fertilización; no encontraron diferencias significativas en biomasa de raíces entre la gramínea y las leguminosas. *Centrosema macrocarpum* tuvo la más alta absorción de N, Ca y S.

Para el PN, se observó que las plantas que no recibieron fertilización (-NS) mostraron un valor promedio final de 1.17 g, que fue significativamente menor ($P < 0.05$) al alcanzado por las plantas con fertilización (+NS) de 0.28 g. Este resultado, bajo las condiciones estudiadas, es posible que se haya presentado como respuesta al mayor número de nódulos (24), por la restricción de nitrógeno (-NS; Figura 2F).

La aplicación de nitrógeno y azufre tuvo un efecto positivo en la parte aérea de las plantas, provocando un mejor desarrollo, pero no la tuvo para la fracción subterránea, afectando negativamente ($P < 0.05$) el desarrollo de NN y PN. Estos resultados son similares a los de Mayz (2007), quien al evaluar el efecto de la fertilización en *Cajanus cajan*, observó un mayor número de nódulos en las plantas sin fertilización, mientras que al aplicar nitrógeno, el número de nódulos se redujo hasta en un 80 % aproximadamente. Además, este autor mencionó que los nódulos sin tratamiento nitrogenado se tornan de color rosado a rojo, que es indicación de nódulos activos. Sin embargo, en el presente estudio, en las plantas que recibieron nitrógeno y azufre (+NS), el color de los nódulos fue blanco (Figura 3), lo que indica un efecto adverso sobre la formación y actividad de la leghemoglobina; impidiendo que llegue el oxígeno a los bacteroides y en consecuencia se evite o controle la fijación de nitrógeno (Sadava y col., 2009), mientras que el PN, es producto del mayor número de nódulos presentados por la restricción de nitrógeno.

Las variables de eficiencia fisiológica: AFE, TAN, TRC y TCC, no fueron influenciadas por el tratamiento de nitrógeno y azufre (Figura 4). Se observó que en los dos tratamientos (-NS y +NS), las plantas tuvieron una tendencia negativa en AFE, TAN y TRC, a medida que transcurría la investigación (Figura 4A, 4B y 4C). De manera contraria, la TCC, para *C. pubescens*, mantuvo una tendencia positiva desde el inicio de la investigación en ambos tratamientos (Figura 4D).



■ **Figura 3.** Desarrollo de la raíz de acuerdo a la fertilización con nitrógeno y azufre (+NS) y la no fertilización (-NS) en *Centrosema pubescens*.
Figure 3. Development of the root according to the fertilization with nitrogen and sulfur (+NS) and nonfertilization (-NS) in *Centrosema pubescens*.

Las variables de eficiencia fisiológica no fueron afectadas por los tratamientos ($P > 0.05$). Como era de esperarse, el IAF en las plantas, independientemente del manejo de la fertilización, tiende a incrementar con el paso del tiempo. Datos similares fueron observados por Hoyos y col. (2009), en un estudio de espinaca, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada, los cuales indicaron que la fertilización con nitrógeno incrementa el IAF por unidad de suelo. Esto pudo ser debido a que el nitrógeno provoca el aumento

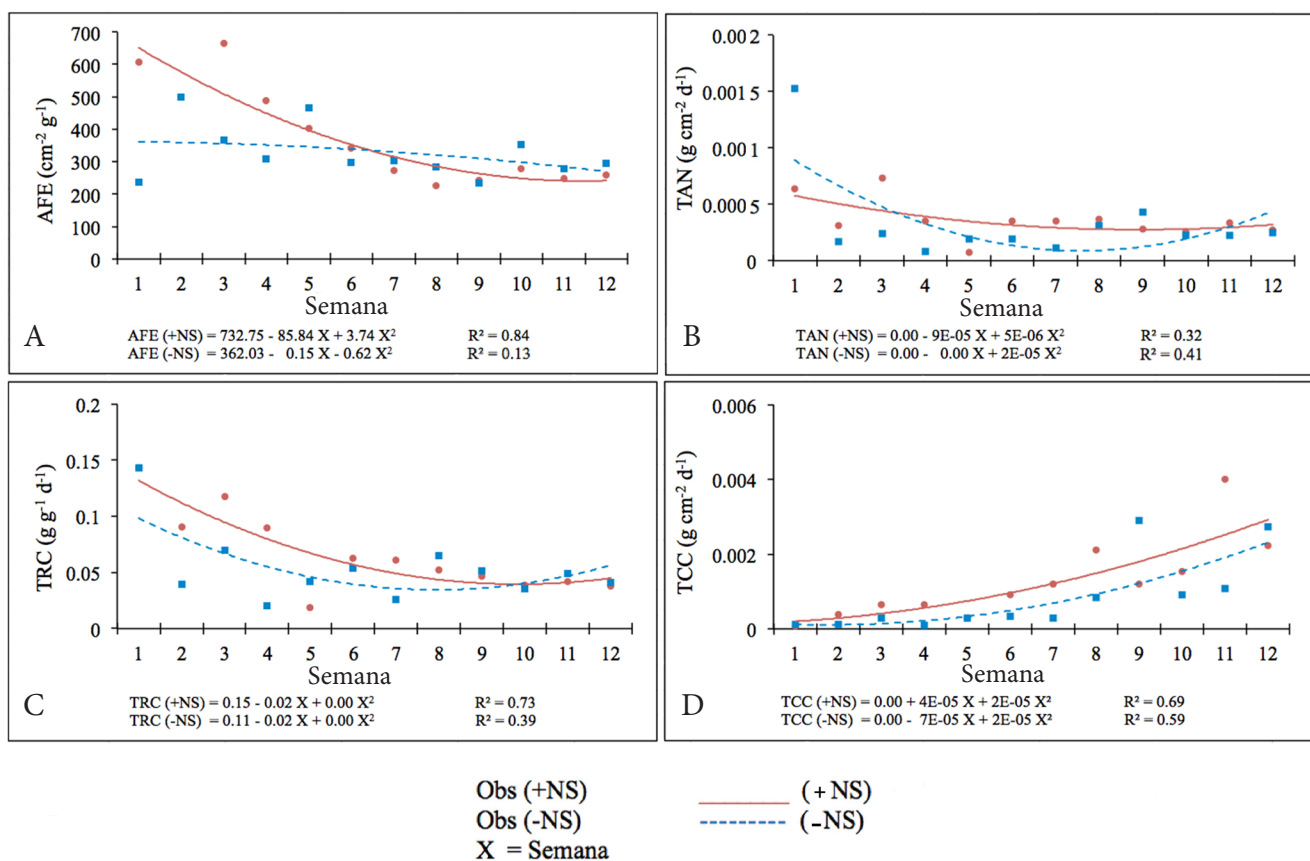
de número de hojas y una mayor expansión foliar. Probablemente, en este estudio no se observaron efectos de la aplicación del fertilizante (+NS) por lo limitado del tiempo de estudio (12 semanas). El área foliar específica (AFE) mostró un decremento a medida que avanzó el ciclo biológico.

Por su parte, Carranza y col. (2009), comentaron que la disminución de TAN se puede deber a una menor interceptación de la radiación solar por parte de las hojas, ya que las mismas, al crecer, tienden a sobreponerse.

Según Hoyos y col. (2009), la TRC se vio afectada, debido probablemente a la mayor acumulación de materia seca, en relación a la producción de fotoasimilados, durante el crecimiento del cultivo. Asimismo, mencionaron que la fertilización nitrogenada puede disminuir el AFE. Sin embargo, la nutrición nitrogenada afecta el desarrollo de la estructura foliar y a las variables de crecimiento (área foliar, duración del área foliar y tasa de expansión foliar), pero no modifica el área foliar por unidad de masa (Grazia y col., 2001).

Por otra parte, la aplicación de nitrógeno para la época seca favorece el desarrollo de la TAN (Del-Pozo y col., 2001); de igual manera, la fertilización favorece a la TRC (Hoyos y col., 2009). El incremento de la TCC es resultado de la constante división celular en los tejidos meristemáticos, tendiendo a incrementar de manera más rápida con la aplicación de fertilización nitrogenada (Hoyos y col., 2009).

En este experimento no fue posible aislar los efectos individuales de los fertilizantes nitrógeno y azufre, debido a que se usó sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, que contiene 21 % N y 24 % S). Según Silva y col. (2010), la fertilización con N y S son sinérgicos en los suelos andosoles. Estos mismos autores mencionaron que cuando se utiliza el sulfato de amonio generalmente se satisfacen las necesidades de azufre.



■ Figura 4. Comparación de la tendencia de crecimiento inicial de *Centrosema pubescens* bajo efecto de fertilización nitrogenada (+NS y -NS), para las variables de eficiencia fisiológica: A = Área foliar específica (AFE), B = tasa de acumulación neta (TAN), C = tasa relativa de crecimiento (TRC) y D = tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en Santo Domingo, Ecuador durante 2012.

Figure 4. Comparison of the initial growth trend in *Centrosema pubescens* under the effect of nitrogen fertilization (+NS and -NS), for physiological efficiency variables: A = specific leaf Area (SLA), B = net accumulation rate (NAR), C = relative growth rate (RGR) and D = crop growth rate (CGR) in Santo Domingo, Ecuador during 2012.

CONCLUSIONES

La leguminosa *C. pubescens*, en presencia de nitrógeno y azufre, presenta mayor altura y produce más materia seca parcial. Sin embargo, con el uso de fertilización nitrogenada y azufre se disminuye el número y peso de los nódulos. Las variables de eficiencia fisiológica: área foliar específica, tasa de acumulación neta, tasa relativa de crecimiento

y tasa de crecimiento del cultivo no se afectaron por el nivel de fertilización con nitrógeno y azufre. Se recomienda seguir investigando el efecto de los nutrientes en el desarrollo de las leguminosas, por ser plantas de interés para alimentación humana y animal, así como por su aporte en la fertilidad del suelo, al ser plantas fijadoras de nitrógeno atmosférico.

REFERENCIAS

Aguilar-García, L., Escalante-Estrada, J. A., Fucikovsky-Zak, L., Tijerina-Chávez, L. y Mark, E. (2005). Área foliar, tasa de asimilación neta, ren-

dimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*. 23(3): 303-310.

Bécquer, C. J. y Prévost, D. (2014). Potencial

de formación de nódulos en leguminosas forrajeras y de granos de rizobios, nativos de Sancti Spiritus, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48(3): 301-307.

Bernal, J. y Espinosa, J. (2003). *Manual de nutrición y fertilización de pastos*. Quito, ECU: International Plant Nutrition Institute/Editorial. 94 Pp.

Brevedan, R. E., Fioretti, M. N., Baioni, S. S., Palomo, I. R., and Laborde, H. (2007). Fertilización nitrogenada de soja bajo riego. *International Journal of Experimental Botany*. 76(1): 153-167.

Calvache, M. (2014). El suelo y la productividad agrícola en la Sierra del Ecuador, en XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. [En línea]. Disponible en: https://www.academiaedu/9324382/LOS_SUELOS_DEL_ECUADOR. Fecha de consulta: 21 de octubre de 2016.

Carranza, C., Lancho, O., Miranda, D. y Chaves, B. (2009). Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Batavia cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*. 27(1): 41-48.

Castillo, R., Vecino, U., Cedié, Y. y Dixon, Y. (2011). Leguminosas nativas en áreas ganaderas de la Isla de la Juventud, Cuba. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 15(1): 13-27.

Chingala, G., Mtimuni, J. P., Msiska, H., Gondwe, T., and Chigwe, F. C. (2013). Milk production performance of Friesian-Holstein cows fed diets containing *Medicago sativa*, *Centrosema pubescens*, or groundnut haulms (*Arachis hypogaea*). *Tropical Animal Health and Production*. 45(7): 1485-1488

Del-Pozo, P. P., Herrera, R. S., García, M., Cruz, A. M. y Romero, A. (2001). Análisis del crecimiento y desarrollo del pasto estrella con y sin adición de fertilizante nitrogenado. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 35(1): 51-58.

Díaz, J. G., Rojas, G., Him, Y., Hernández, N., Torrealba, E. y Rodríguez, Z. (2011). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento en vivero de Cocuy (*Agave cocui* Trelease). *Revista de la Facultad de Agronomía*. 28(1): 264-272.

Esquivel, A., Lamadrid, L. J., Díaz, B., Torres, R. y Pérez, E. (2014). Efecto de la fertilización mineral y biológica sobre tres genotipos de frijol común en un suelo ferralítico rojo típico. *Centro Agrícola*. 41(1): 19-23.

Faría-Mármol, J., Morillo, D. E., and Chirinos, Z. (2005). Effect of defoliation frequencies on the dry matter yield and nutrient content of two *Centrosema* species. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 13(1): 13-18.

Gómez-Carabalí, A., Idupulapati-Madhusudana, R., and Ricaute, J. (2010). Differences in root distribution, nutrient acquisition and nutrient utilization by tropical forage species grown in degraded hillside soil conditions. *Acta Agronómica*. 59(2): 197-210.

Grazia, J., Tittonell, P. A. y Chiesa, Á. (2001). Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Investigación Agrícola: Producción Protegida Vegetal*. 16(3): 355-365.

Hoyos, V., Rodríguez, M., Cárdenas-Hernández, J. F. y Balaguera-López, H. E. (2009). Análisis del crecimiento de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) bajo el efecto de diferentes fuentes y dosis de nitrógeno. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 3(2): 175-187.

Lugo-Soto, M., Ramírez, R. y Entrena, I. (2009). Roca fosfórica y superfosfato triple como fuentes de fósforo para *Centrosema* en un suelo ácido. *Zootecnia Tropical*. 27(4): 443-456.

Mayz, F. J. (2007). *Cajanus Cajan* L. Fijación biológica de nitrógeno (FBN) en un suelo de sabana. Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 24(1): 312-317.

Olivera, Y., Machado, R., Ramírez, J. y Cepero, B. (2005). Evaluación de una colección de *Centrosema* spp. en un suelo ácido. *Pastos y Forrajes*. 28(2): 99-106.

Pérez, M. J., Morillo, M. y Malpica, L. (2009). Eficiencia de cuatro especies de *Centrosema* para utilizar fósforo de la roca fosfórica Riecito en suelos con diferentes capacidades de retención de fósforo. *Zootecnia Tropical*. 27(3): 239-247.

Pirela-León, M. F., Morillo, D. E. y Faría-Mármol, J. (2003). Evaluación de cinco accesiones de *Centrosema pubescens* para la alimentación de bovinos en un bosque húmedo tropical. *Revista Científica*. 13(1): 28-32.

Quero, A. R., Enríquez, J. F. y Miranda, L. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia*. 32(8): 566-571.

Reino, J., Sánchez, J. A., Muñoz, B., González, Y. y Montejo, L. (2011). Efecto combinado de la escarificación y la temperatura en la germinación de semillas de leguminosas herbáceas. *Pastos y Forrajes*. 34(2):179-184.

Rincón, J. J., Clavero, T., Razz, R., Pietrosoli, S., Méndez-Castro, F. y Noguera, N. (2000). Efecto de la inoculación con cepas nativas e introducidas de *Rhizobium* sobre la fijación de nitrógeno en leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit). *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 17(4): 342-357.

Rincón-Rosales, R., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Montes-Molina, J. A., Gutiérrez-Miceli, F. A., and Luc Dendooven, L. (2011). Aluminium tolerance in the tropical leguminous N₂-fixing shrub *Acacia angustissima* (Mill.) Britton & Rose inoculated with *Sinorhizobium mexicanum*. *Gayana Botánica*. 68(2): 188-195.

Rodríguez, I., Flores, A. y Schultze-Kraft, R. (2003). Potencial agronómico de *Centrosema pubescens* en condiciones de sabana bien drenada del estado Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 21(2):197-217.

Rojas, S., Olivares, J., Jiménez, R. y Hernández, E. (2005). Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico, en *Redvet*. [En línea]. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050505/050509.pdf>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2012.

Sadava, D., Heller, H., Orians, G., Purves, W. y Hillis, D. (2009). Las plantas con flor: forma y función. La nutrición de las plantas. En D. Sadava, G., Heller, G., Orians, W, Purves, y D. Hillis, (Eds.), *Vida la ciencia de la biología* (pp. 780-795). Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.

Sánchez, A. y Faría, J. M. (2013). Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. 31(1):16-23.

SAS, Statistical Analysis System (2004). SAS/STAT 9.1 User's guide: Basics. Institute Statistical Analysis System. Cary, NC, USA. [En línea]. Disponible en: https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf.

Fecha de consulta: 10 de enero de 2012.

SENPLADES, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2010). *Agenda zonal para el buen vivir, propuestas de desarrollo y lineamientos para el ordenamiento territorial*. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo y el Programa. Quito, Ecuador: Monsalve Moreno. 74 Pp.

Silva, P. A., Coral, E. D. M. y Menjivar, F. J. C. (2006). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la actividad microbiana y rendimiento de avena forrajera en un suelo Andisol del departamento de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica*. 55(1): 65-74.

Silva, P. A., Menjivar, J. C., Alaya, C. A. y Gómez, H. F. (2010). Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre sobre la recuperación de una pradera degradada de kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoechst en Nariño, Colombia, en *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. [En línea]. Disponible en: <http://www.secsue.org/wp-content/uploads/2015/06/9.-Amanda-Silva-kikuyo.-U.-Narino-Colombia.pdf>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2012.