

InterSedes

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de
Costa Rica



Extracción de nutrientes y productividad de moringa (*moringa oleifera*) con
varias dosis de fertilización nitrogenada

Roberto Cerdas – Ramírez

InterSedes, N° 38. Vol 18. Julio-diciembre (2017). ISSN 2215-2458

URL: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes>

DOI <https://dx.doi.org/10.15517/isucr.v18i38>

InterSedes Revista Electrónica de las Sedes Regionales, Universidad de Costa Rica, América Central.

Correo electrónico: intersedes@gmail.com

Dr. Edgar Solano Muñoz, Director. Teléfono: (506) 2511 0654. Correo electrónico:
edgar.solano@ucr.ac.cr

Editor Técnico: Bach. David Chavarría. Correo electrónico: davidalonso.chavarria@ucr.ac.cr

Montaje de texto: Licda. Margarita Alfaro Bustos. Correo electrónico:
margarita.alfarobustos@gmail.com

Consejo Editorial Revista InterseDES

Dr. Edgar Solano Muñoz - Director - Sede Guanacaste - Universidad de Costa Rica

M.L Mainor González Calvo - Sede Guanacaste - Universidad de Costa Rica

M.L Neldys Ramírez Vásquez - Sede Guanacaste - Universidad de Costa Rica

Dr. Pedro Rafael Valencia Quintana. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Facultad de Agrobiología. México.

M en C.A. Juana Sánchez Alarcón. Universidad Autónoma de Tlaxcala. Facultad de Agrobiología. México.

Mag. Marcelo Pérez Sánchez, Universidad de la República de Uruguay. Uruguay

Maria T. Redmon. Modern Languages & Literatures, Spanish. University of Central Florida.

Dr. Mario Alberto Nájera Espinoza. Universidad de Guadalajara. México.

Ing. Alex Roberto Cabrera Carpio, Mgr. Universidad Nacional de Loja-Ecuador.

Dr. Leonel Ruiz Miyares. Centro de Lingüística Aplicada (CLA). Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Santiago de Cuba. Cuba.

Magíster Bibiana Luz Clara. Profesora e Investigadora de la Universidad FASTA, Mar del Plata. Argentina.

Carlos José Salgado. Profesor del área de mercadeo. Universidad de La Sabana. Colombia.

Daniel Hiernaux-Nicolas. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. México.

Rodolfo Solano Gómez. Instituto Politécnico Nacional - IPN-Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, México.

José Miguel Guzmán Palomino. Universidad de Almería, España.

Dr. José Luis Gómez Olivares. Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México.



Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica, todos los derechos reservados. InterseDES por interseDES.ucr.ac.cr/ojs está bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/cr/)

Extracción de nutrientes y productividad de moringa (*moringa oleifera*) con varias dosis de fertilización nitrogenada

Nutrients extraction and productive behavior of moringa (*moringa oleifera*) with various levels of nitrogen fertilizer

ROBERTO CERDAS – RAMÍREZ¹

Recibido: 11.04.17	Aprobado: 09.02.18
--------------------	--------------------

DOI: <https://doi.org/10.15517/isucr.v18i38.32673>

Resumen

Un experimento, destinado a evaluar la extracción de nutrientes y el comportamiento productivo de Moringa, se llevó a cabo en el cantón de Santa Cruz, Guanacaste, ubicado a una altitud de 54 m, con una precipitación anual de 1834 mm. Se evaluó la producción de biomasa verde y seca, el contenido y la producción de proteína cruda por hectárea y la extracción de nutrientes de la Moringa sometida a cuatro dosis de nitrógeno por corte de 49 días: 33,4, 66,7, 100,0 y 133,4 kgN.ha⁻¹. El rendimiento de biomasa seca varió con las dosis de N aplicado, lo que produjo: 4033, 4887, 6048 y 9834 kgMS.ha⁻¹.corte⁻¹. La producción de proteína cruda por hectárea fue de 731, 1016, 1291 y 2202 kgPC.ha⁻¹.corte⁻¹, con 33,4, 66,7, 100,0 y 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹. Todos los nutrientes se presentaron en cantidades adecuadas para la producción animal. Se recomienda aplicar 133,4 kgN.ha⁻¹.año⁻¹ con cortes de 49 días.

Palabras clave: Moringa; Moringa oleífera; fertilización nitrogenada; proteína por hectárea; extracción de nutrientes;

Abstract

A study intended to evaluate nutrient extraction and productive behavior of Moringa was carried out in the County of Santa Cruz, Guanacaste, located at an altitude of 54 m and with a 1834 mm annual rainfall. The production of green and dry biomass, content and production of raw protein per hectare and nutrients extraction of Moringa, subjected to four nitrogen dosages per cut, with cuts of 49 days were evaluated: 33,4, 66,7, 100,0 and 133,4 kgN.ha⁻¹. The yield of dry biomass varied with the dosage of N applied: 3483, 5482, 5917 and 6297 kgDM.ha⁻¹.cut⁻¹. The production of crude protein was: 355, 692, 758 and 810 kgCP.ha⁻¹.cut⁻¹, with 33,4, 66,7, 100,0 and 133,4 kgN.ha⁻¹.cut⁻¹. All nutrients are presented in suitable animal production quantities. It is recommendable to apply 133,4 kgN.ha⁻¹.cut⁻¹ with cuts of 49 days.

¹ Costarricense. Agrónomo/Zootecnista. Docente e investigador de la Universidad de Costa Rica. Sede de Guanacaste. rcerdasucr@hotmail.com

Key words: Moringa - Moringa oleifera - nitrogen fertilization - protein per hectare - nutrients extraction

Amplias zonas del trópico americano tienen vocación silvopastoril; numerosas especies de árboles tienen alta productividad en términos de proteína por hectárea; su valor nutritivo es superior al de las gramíneas y es más estable; son más resistentes a las épocas de sequía que las gramíneas; pueden servir para múltiples propósitos (ej. forraje, cercas, leña, madera, conservación) y tienen capacidad para fijar nitrógeno en el caso de las leguminosas (Preston y Murgueitio, 1994, citados por Vargas-Sánchez y Estrada-Álvarez, 2011) o incorporar al suelo con el aporte de las hojas senescentes.

El aporte a partir del follaje de los árboles puede representar más del 50% del alimento disponible para los rumiantes en la estación seca, con la práctica de cosecha de las ramas de las especies forrajeras; asimismo, en las regiones de altas precipitaciones, donde las gramíneas constituyen la principal fuente de materia seca (MS) consumible por rumiantes, las hojas y los frutos de los árboles representan un importante elemento en la dieta para pequeños rumiantes. En las zonas áridas, donde ocurren limitaciones por el déficit hídrico, producción de hojas y brotes de árboles y arbustos, el crecimiento de plantas herbáceas puede representar más del 50% de la producción de biomasa vegetal en las tierras de pastoreo (Bennison y Paterson, 1993, citados por Virgúez y Chacón, 1997).

La Moringa es un árbol de crecimiento rápido, que alcanza una altura de 7 a 12 metros hasta la corona; su tronco posee un diámetro de 20 a 30 cm. Tiende a producir raíces fuertes y profundas (F/FRED, 1992, citado por Reyes, 2004) y tiene una vida relativamente corta, alcanzando un promedio de 20 años (von Maydell, 1986, citado por Reyes, 2004). Las hojas son compuestas, alternas imparipinnadas, con una longitud total de 30 a 70 cm. Las flores son blancas, cremosas, con estambres amarillos y nacen en racimos. El fruto es una cápsula colgante color castaño, triangular, de 30 cm de largo y 1,8 cm de diámetro. Las semillas son de color castaño oscuro con tres alas blancas delgadas. La raíz es gruesa. El árbol florece y produce semillas durante todo el año. Crece bien en alturas que van desde el nivel del mar hasta los 1200 m de altitud y prospera en temperaturas altas, considerándose óptimas para un buen comportamiento las que están entre 24 y 32 °C. Se adapta a todo tipo de suelos, desde suelos ácidos hasta alcalinos (pH 4,5-8), aunque la mejor respuesta en desarrollo y productividad se obtiene en suelos neutros o ligeramente alcalinos, bien drenados o arenosos, y donde el nivel freático permanece alto durante todo el año. Tolera suelos arcillosos, pero no encharcamientos prolongados (Duke, 1983, citado por Reyes, 2004).

En trabajos de Foidl y otros (2011, citados por Padilla y otros., 2014) se indica que la Moringa posee gran velocidad y capacidad de rebrote, y que el primer corte se debe realizar a los cinco o seis meses después de la siembra. Los cortes posteriores, se sugiere efectuarlos con machete bien afilado, cada 45 días, en la época de lluvia, y cada 60 días en la época seca, a altura de 20 cm del suelo. Sin embargo, Santiesteban y otros (2012, citados por Padilla y otros, 2014), en trabajos realizados en Cuba, en suelo aluvial del Valle del Cauto, cuando analizaron la altura de corte (10, 20, 30 y 40 cm) y frecuencia de corte (45 y 60 d) en la producción de biomasa para consumo animal, encontraron tendencia al incremento de los valores con respecto al aumento de la altura y la frecuencia de corte.

El mejoramiento de las características nutricionales del forraje y la implementación de sistemas estratégicos de suplementación, como de la presencia de otros estratos vegetales en el área de pastoreo (sistemas silvopastoriles), pueden mejorar las características de la fermentación ruminal, lo cual se reflejaría en mayor productividad y generalmente en una disminución en las emisiones de CH₄ (Carmona y otros, 2005).

Entre los beneficios de fertilizar forrajes, se puede observar un incremento en el contenido de nitrógeno (proteína), de la digestibilidad, la altura de la planta, la densidad, la relación hoja-tallo y mayor producción de biomasa. Además, se obtiene un ligero incremento en el consumo de forraje y la producción de carne y leche, por lo que si se fertiliza y no se aumenta la carga animal para aprovechar la biomasa producida, los beneficios económicos de esta práctica en la producción de carne o leche son pocos (Cerdas, 2011). Moringa oleifera es un árbol con alto potencial para suplir deficiencias alimenticias en sistemas productivos tropicales, especialmente en rumiantes, ya que cuenta con aceptables valores nutricionales, buena palatabilidad, adaptabilidad a condiciones agrestes y alta producción de biomasa (García y otros, 2017).

Uno de los principales problemas que enfrenta el pequeño productor ganadero es la escasez de forraje para alimentar su ganado, especialmente en la época seca. Esto lo ha obligado a depender, en muchos casos, de los rastrojos de su cosecha, impidiéndole utilizarlos como un elemento de conservación de suelos. Recientemente, ha surgido interés en la búsqueda de recursos alimenticios que puedan sustituir parcialmente el uso de concentrados costosos y agroecológicamente distanciados de la realidad ambiental, que permitan proveer energía, proteína y minerales de una manera eficiente y económicamente viable a los animales herbívoros (García 2006).

Según FAO (2007, citado por Birmania, 2013), los sistemas agroforestales son parte importante de estos procesos de cambio de la ganadería hacia sistemas más amigables con la naturaleza. De ahí que la estrategia es desarrollar sistemas silvopastoriles que incrementen la productividad de las fincas ganaderas, mientras se liberan terrenos para el establecimiento de bosque secundario o plantaciones forestales. Esta investigación se realizó para determinar la extracción de nutrientes y el rendimiento de la forrajera arbustiva Moringa, al aplicar dosis crecientes de nitrógeno, en Guanacaste, Costa Rica.

Materiales y métodos

Ubicación y caracterización del área experimental

El experimento se sembró en el 2015, a una altitud de 54 msnm, en la Finca de Santa Cruz, Guanacaste de la Universidad de Costa Rica; lugar que posee una precipitación promedio de 1834 mm.año⁻¹, temperatura media anual de 27,9°C, con evaporación media diaria de 6,8 mm. y radiación solar global diaria de 18,7 MJ. La Finca muestra valores de lluvia mínimos de diciembre a abril y dos períodos lluviosos: de mayo a junio y de agosto a noviembre. El suelo en la Finca Experimental de Santa Cruz se clasifica como Vertic Rhodustalf, orden Alfisol, subgrupo Vertic de textura arcillosa (Chavarría, 1990) y la composición se presenta en el Cuadro 1, producto del muestreo que se realizó en junio de 2015 (CIA, 2015).

Cuadro 1
Condiciones edáficas del ensayo en Santa Cruz, Guanacaste 2015 (CIA, 2015)

<i>H₂O</i>	<i>%</i>		<i>cmol(+).L⁻¹</i>				<i>mg.L⁻¹</i>					
<i>pH</i>	<i>MO</i>	<i>N</i>	<i>AcEx</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>K</i>	<i>P</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>S</i>
6,1	2,55	0,16	0,12	20,86	7,82	0,51	5	2,3	17	27	18	5

Establecimiento del pasto

La semilla de Moringa importada de Guatemala se sembró en bolsas de plástico, rellenas de una mezcla de 1/3 de suelo, 1/3 de arena y 1/3 de materia orgánica y se colocaron bajo un sombreadero, donde se desarrollaron durante un período de 8 a 10 semanas y luego se trasplantaron a las parcelas del ensayo, con un tutor de bambú en cada planta. Se dejó una reserva de plántulas para sustituir a las plantas que murieron en el proceso de trasplante. Las plantas se sembraron en 16 parcelas de 5 m

por 10 m, cada parcela con 171 plantas separadas 0,5 m entre surcos y 0,5 m entre plantas (34200 plantas por hectárea).

Se fertilizaron las parcelas de acuerdo con las necesidades de Moringa y con el análisis de suelo, durante el trasplante del forraje con: 147 N; 65 P₂O₅; 22 K₂O y 16 SO₄ kg.ha⁻¹, divididas en dos aplicaciones, con un intervalo de 15 días entre ellas. Sólo el nitrógeno se dividió en tres aplicaciones. Para el cálculo de fertilizante, se realizó un análisis del suelo (Cuadro 1).

A los 45 días, luego de la siembra, se aplicó 1,0 litro por hectárea de fertilizante foliar completo (N: 110, P₂O₅: 80, K₂O: 60, S: 1500, B: 400, Co: 20, Zn: 800, Cu: 400, Mo: 50, Ca: 250, Mn: 400, Fe: 500 y Mg: 250 mg.L⁻¹) y 0,6 litros por hectárea de magnesio foliar (3,5% MgO).

Manejo del experimento

Seis meses después de la siembra y del control de malezas, plagas y enfermedades, se realizó el corte de uniformidad del ensayo a 50 cm del suelo y se aplicaron a las parcelas el nitrógeno de acuerdo con el tratamiento, fósforo y potasio según el análisis de suelo y las necesidades de la Moringa.

La fertilización se realizó a los 7 días del corte para los cuatro niveles de nitrógeno evaluados: 100, 200, 300 y 400 kg de nitrógeno por hectárea por año. Las dosis de nitrógeno por corte se dividieron en dos, con 15 días entre ellas, para evitar algún síntoma de toxicidad. Además del tratamiento con nitrógeno, se realizó una aplicación adicional de 130 kg de P₂O₅ y 45 kg de K₂O por hectárea por año, distribuidos en las tres aplicaciones (en los tres cortes anuales) con el propósito de corregir las deficiencias del suelo y satisfacer las necesidades de nutrientes de la forrajera evaluada. El nitrógeno se aplicó como nitrato de amonio, el fósforo y potasio como 10-30-10 y todas las cosechas del ensayo se realizaron a los 49 días de edad y a 50 cm de altura.

Tratamientos evaluados, diseño y análisis

En este ensayo se evaluó la respuesta de la Forrajera Moringa a cuatro dosis de fertilizante nitrogenado: 100, 200, 300 y 400 kg de nitrógeno por hectárea por año, correspondientes a 33,4 kg, 66,7 kg, 100 kg y 133,4 kg N por corte de 49 días. Se sembraron cuatro repeticiones por tratamiento, de 50 metros cuadrados, rodeadas de callejones de 3,0 metros de ancho.

Las muestras de follaje se secaron en una estufa para forrajes a 60 °C durante 72 horas (Herrera, 2007).

El ensayo se planteó en el campo como un diseño irrestricto al azar, para evaluar los cuatro niveles de fertilización nitrogenada.

Los datos de las variables evaluadas, a saber: producción de biomasa verde, producción de biomasa seca, contenido de materia seca, altura de la planta, contenido de proteína cruda y producción por hectárea, extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre por hectárea, se analizaron mediante el correspondiente análisis de varianza (InfoStat, 2002) y el análisis se basó en la comparación de las medias de los tratamientos, según la prueba LSD Fisher ($p \leq 0,05$).

Todos los parámetros de laboratorio se analizaron por las metodologías convencionales, (AOAC, 1995); el contenido de materia seca (MS) se determinó en una estufa a 60°C durante 72 horas. Se realizó un análisis foliar completo de cada muestra en el Laboratorio de Suelos y Foliar de la Universidad de Costa Rica, para los macro y micro elementos. El nitrógeno resultante de este análisis se multiplicó por 6,25 para obtener el contenido de proteína cruda de la biomasa.

Resultados y discusión

Producción de biomasa verde y seca

Se encontraron diferencias significativas, entre las dosis de nitrógeno (N) evaluadas ($p \leq 0,0001$) en la producción de forraje verde. Todas de las dosis de nitrógeno aplicadas a la Moringa mostraron diferencias entre medias, en la producción de biomasa verde en toneladas por hectárea por corte (Cuadro 2). Las dosis de nitrógeno aplicado a la Moringa causaron un incremento en la producción de biomasa verde de 19,0% entre las dosis de 33,4 kg y 66,7 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, de 15,3% entre las dosis de 66,7 kg y 100,0 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹ y de 41,5% entre las dosis de 100,0 kg y 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, a los 49 días de crecimiento.

Cuadro 2

Producción de biomasa verde y seca de la Moringa en Santa Cruz, Costa Rica. 2016

<i>Nitrógeno aplicado</i> <i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	<i>Biomasa verde</i> <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	<i>Biomasa seca</i> <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>
33,4	14,44 D	4,03 D
66,7	17,83 C	4,89 C
100,0	21,04 B	6,05 B
133,4	35,95 A	9,83 A
<i>EE ±</i>	<i>1,09</i>	<i>0,35</i>

a,b,c,d muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Los datos del mismo cuadro parecen indicar una alta respuesta de la Moringa a la fertilización nitrogenada, especialmente a altas dosis de nitrógeno, lo que produce una gran cantidad de biomasa de buena calidad para el consumo animal.

Jarquín y otros (2003) indican un alto rendimiento de biomasa fresca total comestible (hojas, pecíolos, brotes y tallos con diámetro inferior a los 5 mm) de 68 toneladas por hectárea por año, equivalentes a 15 toneladas de materia seca por hectárea por año, similar a lo encontrado en este ensayo en los tres cortes anuales. La Moringa tiene una alta tasa de crecimiento y capacidad para producir altas cantidades de materia fresca por metro cuadrado, con altas densidades de siembra, y la edad más adecuada para cosechar esta arbustiva es entre los 45 y 60 días (Reyes, 2004). Otros investigadores (Foidl y otros 1997) reportan valores superiores de biomasa verde de 196 a 297 toneladas por hectárea y por año, pero con 8 cortes anuales. Al comparar la productividad de varias forrajeras arbustivas en Ecuador, Valarezo y Ochoa (2013), encontraron valores inferiores a los observados en esta investigación, de 3,11 toneladas de biomasa verde por hectárea por corte, y Fonseca y otros (2015), valores de 3,97 toneladas de materia fresca, al cosechar a los 45 días a una altura de 40 cm y de 5,85 toneladas de materia fresca, al cosechar a los 60 días a 40 cm de altura.

La Moringa presentó diferencias significativas entre algunas de las dosis de nitrógeno (N) evaluadas ($p \leq 0,0001$) en la producción de biomasa seca. Las dosis de nitrógeno aplicadas mostraron diferencias entre medias, en producción de biomasa seca en kilogramos por hectárea por corte

(Cuadro 2). Las dosis de nitrógeno aplicadas a la Moringa causaron un incremento en la producción de biomasa verde de 17,5% entre las dosis de 33,4 kg y 66,7 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, de 19,2% entre las dosis de 66,7 kg y 100,0 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹ y de 38,5% entre las dosis de 100,0 kg y 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, a los 49 días de crecimiento. La producción de biomasa seca es el producto de la biomasa verde por el contenido de materia seca, la cual no presentó cambios significativos cuando se fertilizó la Moringa, y los valores variaron entre 27,4% y 28,8% con las dosis de nitrógeno aplicado.

Basado en los resultados del Cuadro 2, y debido al incremento en la producción de biomasa, parece apropiado concluir que la Moringa responde bien a las dosis altas de nitrógeno, aunque se debería evaluar los costos de la biomasa adicional, y que en las condiciones de este ensayo, la mejor dosis fue de 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹ de 49 días aproximadamente. El aporte de esta cantidad de nitrógeno se debe hacer en dos dosis con un intervalo de 15 días.

Varios autores han encontrado resultados similares con Moringa a los expuestos en esta investigación: Lok y Suárez (2014) informan de producciones de biomasa seca de 5,8 toneladas por hectárea con cortes a los 60 días sin fertilización y de 6,1 toneladas al aplicar fertilización inorgánica; Foidl y otros (1997) encontraron producciones de 5 a 8 toneladas de materia seca por hectárea por corte con densidades de siembra dentro del rango de esta investigación, en la cual se sembraron 34200 arbustos de Moringa por hectárea. Otros resultados fueron inferiores Petit y otros (2010) reportaron producciones de 1,2 toneladas de materia seca por hectárea por año y Valarezo y Ochoa (2013) de 0,68 toneladas de biomasa seca por hectárea por corte. Además, se encontraron producciones de 1,9 toneladas de materia seca al cosechar a los 60 días, con un corte a 40 cm de altura (Ramos-Trejo y otros, 2015). La altura de la planta al corte y la densidad de población, afectan el crecimiento y la producción de biomasa de *M. oleífera* (Meza-Carranco y otros, 2016).

Se calcularon regresiones para predecir las producciones de biomasa verde y seca de la Moringa, y la de mejor ajuste fue la lineal, que indica de nuevo una excelente respuesta de esta forrajera a la aplicación de nitrógeno (Figura 1).

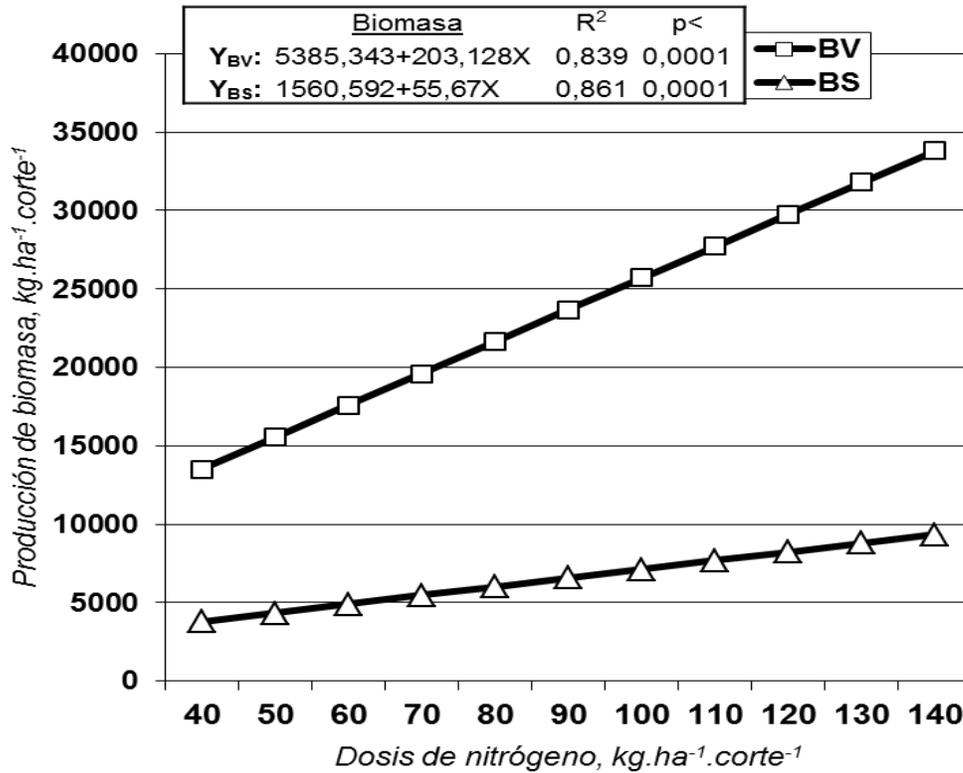


Figura 1.
Regresiones de predicción para la producción de biomasa verde y seca de la Moringa, a los 49 días de rebrote , con varias dosis de fertilizante nitrogenado en Santa Cruz, Guanacaste, 2016

El rendimiento de forraje es el factor que controla la extracción y el consumo de nutrientes, y la práctica de fertilización adquiere mayor significado en aquellas especies con alto potencial genético de producción. Para identificar la dosis apropiada de fertilizante, se debe tomar en cuenta el nivel esperado de producción de forraje, las condiciones del suelo, el ambiente, la tecnología aplicada y el potencial genético de productividad de la especie (Bernal y Espinosa, 2003).

El contenido de hojas (%) de la Moringa, a los 49 días de rebrote, no presentó diferencias significativas con la aplicación de dosis crecientes de nitrógeno, y los valores de contenido de hojas en la biomasa mostraron porcentajes entre 45% a 47%. Ramos-Trejo *et al.* (2015) indican porcentajes de hojas de 49,5% y 57,1% entre los 45 y 60 días de rebrote de la Moringa. Al aumentar la cantidad

de hojas disponibles en un banco proteico o cultivo forrajero, incrementa la cantidad de nutrientes disponibles para los animales y la productividad animal por área, debido a un aumento en el consumo de follaje.

Contenido y producción de proteína cruda

Las dosis de nitrógeno evaluadas (N) muestran diferencias significativas (Cuadro 3) en el contenido de proteína cruda (%PC) de la Moringa ($p \leq 0,003$) cuando se cortó a los 49 días. La proteína cruda se calcula multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor 6,25. En el mismo cuadro, se observa que existe una tendencia del contenido de proteína, en la Moringa, a incrementar con las dosis crecientes de nitrógeno aplicado, pero sólo se encontraron diferencias significativas entre las dosis de 33,4 kg y 66,7 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹.

Cuadro 3
Contenido y producción de proteína cruda de la Moringa en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

<i>Nitrógeno aplicado</i> <i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	<i>Proteína cruda</i> <i>%</i>	<i>Proteína cruda</i> <i>t.ha⁻¹.corte⁻¹</i>
33,4	18,1 b	0,73 D
66,7	20,8 a	1,02 C
100,0	21,4 a	1,29 B
133,4	22,4 a	2,20 A
<i>EE ±</i>	<i>1,26</i>	<i>0,10</i>

a,b,c,d muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Valarezo y Ochoa (2011) informaron sobre contenidos de proteína cruda en Moringa de 22,8%, similar a lo encontrado en esta investigación; de igual manera, García y otros (2006) indican niveles de 18,82% de PC de la Moringa al estudiar 6 forrajeras arbustivas así como valores 24,14% de carbohidratos solubles y 45,13% de fibra neutro detergente (FND); Ramos-Trejo y otros (2015), indicaron 23,35% y 21,75% de PC a los 45 y 60 días respectivamente; Rodríguez y otros (2014), de 22,2% de PC y 40,5% de FND y Padilla y otros (2014), de 21,29% de PC a los 60 días. Por otra parte se reportaron valores superiores de proteína cruda (PC): Rodríguez (2011), de 24,1% de PC, 36,5% de FND y 2,6 megacalorías de energía metabolizable (Mcal de EM); Reyes (2004), de 25,1% de PC, de la cual 47% es de proteína sobrepasante en Moringa; Ly y otros (2016), de 23,4% PC y 50,3% FND a los 60 días; Reyes y otros (2006, citados por Clavero, 2011), de 26,7% PC, 47,7% FND, 35,2% FAD y 60% de digestibilidad.

Los rumiantes producen alrededor del 23% del metano global (Galindo y otros, 2011) como producto de la fermentación de carbohidratos. Sin embargo, Galindo y otros (2012) señalan que el empleo de forrajeras, puede influir si se mejora la actividad ruminal. Así mismo, de acuerdo con Carmona *et al.* (2005), esto podría reflejarse en una reducción de metano por unidad de proteína animal producida, como resultado del mejor balance entre los componentes de la dieta y la presencia de metabolitos secundarios como los taninos (Gallego-Castro y otros, 2014).

La producción de materia seca y el contenido de proteína son dos de las variables que mayormente han sido utilizadas en la evaluación de pastos; sin embargo, ambas variables se correlacionan negativamente. Lo anterior significa que si un pasto se selecciona por su producción forrajera, esto puede ir en detrimento de su valor en proteína y viceversa. De ahí la importancia de ofrecer alternativas, que permitan evaluar simultáneamente la producción de materia seca y el contenido de proteína en pastos tropicales (Juárez-Hernández y Bolaños-Aguilar, 2007).

La producción de proteína por hectárea de la Moringa ($\text{kgPC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$), a los 49 días de rebrote, fue afectada significativamente ($p \leq 0,0001$) por la fertilización nitrogenada, como lo muestra el Cuadro 3.

Las dosis crecientes de nitrógeno causaron un incremento significativo ($p < 0,0001$) en la producción de proteína por hectárea por corte; la mayor producción se logró al aplicar $133,4 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ y fue de 2,20 toneladas de $\text{PC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ (Cuadro 3). Los incrementos en la producción observados fueron de 39%, 27% y 71% para las dosis entre 33,4 y 66,7 $\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$, 66,7 y 100,0 $\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ y entre 100,0 y 133,4 $\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ respectivamente. Por lo anterior, la dosis de nitrógeno recomendada para la Moringa debe ser de $133,4 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ($400 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), debido a que, en este caso, el parámetro kilogramos de proteína cruda por hectárea debería ser el resultado más concluyente a tomar en cuenta, especialmente con los sistemas de producción animal en el trópico y debido al incremento de 71% en la producción de $\text{PC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$, la cual podría compensar el costo. No obstante, la dosis anterior debe fraccionarse en tres aplicaciones, para evitar cualquier reacción de toxicidad.

Algunos investigadores (Reyes, 2004) indican resultados similares a los encontrados en este experimento de 3,77 toneladas de $\text{PC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ o inferiores: Valarezo y Ochoa (2013), de 0,16 toneladas $\text{PC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$; Ramos-Trejo y otros (2015), de 0,23 t y 0,42 t $\text{PC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ a los 45 y 60 días respectivamente.

Los resultados obtenidos (González, 2010 y Jayanegara y otros, 2010, citados por Rodríguez *et al.*, 2014), a partir de la medición de la producción de gas *in vitro*, indicaron el mayor valor nutritivo de las variedades de Moringa y Morera, con respecto a la de *Leucaena* y *Trichanthera*. La Moringa, al igual que la Morera, se consideran suplementos alternativos, con un patrón de fermentación similar al de los alimentos concentrados y valor nutritivo que supera ampliamente el de los forrajes tradicionales.

El forraje de Moringa es una buena fuente de proteína para la alimentación de animales, ya que contiene 25,1% de proteína cruda en base seca, con un contenido de proteína sobrepasante de 47% de la proteína total, y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca es de 79%. El alto valor de proteína digestible en el intestino delgado indica que las hojas de Moringa son una buena fuente de proteína suplementaria para los rumiantes, porque permite que más aminoácidos lleguen directamente al intestino delgado para ser usados directamente con fines productivos (Reyes, 2004).

Extracción de minerales por la forrajera

Los contenidos de macro y microminerales de Moringa variaron significativamente con la fertilización con nitrógeno, pero las tendencias de estos datos son variables. La mayoría de los minerales se presentaron en cantidades adecuadas para la producción animal (Botero, 1999); sin embargo, el contenido de zinc fue deficiente y, el de boro superior, a lo recomendado para todos los tratamientos. La deficiencia encontrada en el suelo donde se evaluó este experimento y la ligera carencia de zinc en el follaje, indican la necesidad de suplementar el cultivo con una fuente adicional de Zn, aunque no presente síntomas visibles, para evitar una disminución en la producción de biomasa.

Padilla y otros (2014), al evaluar tres alturas de corte en Moringa (10, 20 y 30 cm de altura), indicaron contenidos de nutrientes para los 10 cm de 1,12% de Ca, 0,39% de P y 0,50% de Mg; para el corte de 20 cm de 1,14% de Ca, 0,41% de P y 0,53% de Mg y, para el corte a 30 cm, de 1,22% de Ca; 0,35% de P y 0,49% de Mg en la biomasa seca durante la época lluviosa. Por otra parte, los mismos autores reportaron contenidos de nutrientes en la época seca superiores a la lluviosa, para el corte a los 10 cm de 1,42% de Ca, 0,44% de P y 0,72% de Mg; para el corte de 20 cm de 1,44% de Ca, 0,45% de P y 0,83% de Mg y, para el corte a 30 cm, de 1,57% de Ca, 0,41% de P y 0,87% de Mg en la biomasa seca. García y otros (2006), reportaron contenidos de nutrientes en la biomasa seca de Moringa de 0,20% de P, 3,10% de Ca, 1,94% de Mg, 2,65% de K y 0,24% de Na; asimismo, indicaron

que los valores más altos en K y Na los presentó la Moringa, al compararla con otras cinco forrajeras arbustivas en Venezuela.

Las altas concentraciones de potasio tienen repercusiones negativas sobre otros minerales, particularmente Ca y Mg. Es así como se ha señalado que cuando la relación $K/(Ca + Mg)$ es superior a 2,2 (sobre una base iónica equivalente), la posibilidad de presencia de hipocalcemia en el ganado se incrementa (Dugmore, 1998 citado por Correa, 2006). En este trabajo, la relación más alta fue de 0,72 con la aplicación de $66,7 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$ a los 49 días; en consecuencia, alimentar con Moringa no representa ningún riesgo para los animales, aunque esta forrajera no se ofrezca mezclada con pasto de corte. El potasio es el mineral con mayor capacidad de liberación en el rumen debido a que este mineral, a diferencia del Ca, se encuentra en el citosol de las células vegetales (Correa, 2006).

Cuadro 4
Extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre de la Moringa en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$	N		P		K		Ca		Mg		S	
	$\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{corte}^{-1}$											
33,4	117	D	7	C	65	c	84	C	21	c	13	c
66,7	162	C	9	Bc	85	b	94	C	25	c	17	bc
100,0	207	B	11	B	93	b	122	b	33	b	19	b
133,4	352	A	20	A	145	a	202	A	57	a	33	a
<i>EE</i> ±	15,5		1,7		10,2		13,5		3,6		3,2	

a, b, c, d muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

La extracción o cantidad de macroelementos por hectárea de la forrajera Moringa presentó una tendencia a crecer conforme se incrementa la dosis de nitrógeno aplicado, pero no todas las dosis de nitrógeno causaron efectos significativos en la extracción de P, K, Ca, Mg y K; por otra parte, la extracción de nitrógeno mostró un efecto significativo ($p \leq 0,0001$) y aumentó conforme se incrementó la cantidad de fertilizante nitrogenado, debido a la mayor producción de biomasa seca de los tratamientos, como se observa en el Cuadro 4.

Los tratamientos con altas dosis de nitrógeno (100, 0 y 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹) mostraron diferencias significativas y superiores, sobre la extracción de macro y microelementos, que los tratamientos con bajas dosis de fertilizante nitrogenado (Cuadro 5).

Pérez y otros (2010) presentaron resultados de la extracción anual de nutrientes de la Moringa oleífera, cuando se evaluaron varios niveles de producción de biomasa seca por año: para una producción de 20 toneladas de MS por año, de 52 kg de P, 248 kg de Ca, 66 kg de Mg, 296 kg de K, 7 kg de Fe, 0,10 kg de Cu, 0,40 kg de Zn y 0,70 kg de Mn por hectárea por año; para una producción de 40 toneladas de MS por año, de 104 kg de P, 496 kg de Ca, 132 kg de Mg, 592 kg de K, 14 kg de Fe, 0,21 kg de Cu, 0,90 kg de Zn y 1,4 kg de Mn por hectárea por año. De las evidencias anteriores, se puede concluir que, al duplicar la producción de biomasa seca, producto de la mayor fertilización, se duplicó la extracción anual de todos los elementos.

Cuadro 5
Extracción de hierro, cobre, zinc, manganeso y boro de la Moringa en Santa Cruz, Costa Rica, 2016

Nitrógeno aplicado <i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	<i>kg.ha⁻¹.corte⁻¹</i>				
33,4	1,1 b	0,02 b	0,06 c	0,24 c	0,06 c
66,7	1,41 b	0,02 b	0,07 c	0,28 c	0,08 bc
100,0	1,81 ab	0,03 b	0,10 b	0,36 b	0,12 b
133,4	2,93 a	0,06 a	0,15 a	0,54 a	0,17 a
<i>EE±</i>	<i>0,76</i>	<i>0,006</i>	<i>0,01</i>	<i>0,045</i>	<i>0,027</i>

a,b,c muestran diferencias significativas $p \leq 0,05$ LSD Fisher; corte: 49 días

Se calcularon ecuaciones lineales de regresión para predecir las extracciones de N, P y K de la Moringa, con diferentes dosis de nitrógeno por hectárea por corte de 49 días (Figura 2). Del Cuadro

4, se puede calcular que, cuando se aplican $133,4 \text{ kgN.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$, se puede esperar una extracción de nutrientes proporcional de 17,6 N: 1 P: 7,3 K. También de las ecuaciones de la Figura 2, se deduce que, por cada kilogramo de nitrógeno aplicado al cultivo de Moringa, se extraen 2,252 kg de N, 0,122 kg de P y 0,744 kg de K. $\text{ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$

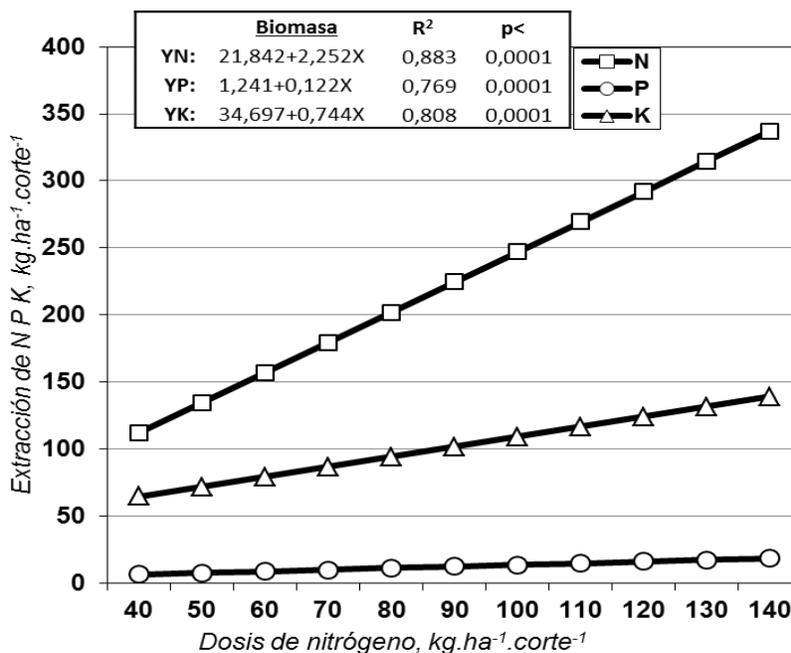


Figura 2.
Regresiones de predicción para la extracción de N P K de la Moringa, a los 49 días de rebrote, con varias dosis de fertilizante nitrogenado en Santa Cruz, Guanacaste, 2016

Existe abundante información sobre los efectos del forraje de árboles en la productividad de bovinos, ovinos y caprinos y los resultados se concentran en mostrar ganancias diarias de peso vivo entre 20-26%, mayores cuando los animales ramonean árboles forrajeros, en comparación con animales que solo recibían pastos en su dieta; producciones diarias de leche de 7-10 kg por vaca, representando un 60-65% más leche por vaca; la productividad (litros por hectárea por año) con 75% más leche para las asociaciones árboles-gramíneas que en los sistemas tradicionales, ganancias diarias de peso entre 400-525 g en animales de reemplazo; cabras en crecimiento con ganancias de peso vivo de 56% más que los sistemas de gramíneas y ganancias diarias de peso vivo entre 85-100 g en ovejas, con un mínimo uso de recursos externos al sistema. Esto puede constituir una solución económicamente viable que no produce daños ambientales y es socialmente aceptada, que producirá beneficios en un corto tiempo, con incrementos sostenibles en la producción animal (Clavero, 2011).

Conclusiones

Se recomienda utilizar fertilizante nitrógeno a razón de 400 kgN.ha⁻¹.año⁻¹, que corresponde a 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, con tres cortes de 49 días, en *Moringa oleifera*, en condiciones similares a las de este ensayo. Con la aplicación de 133,4 kgN.ha⁻¹.corte⁻¹, se genera una extracción de nutrientes de 322 kg de N, 17,5 kg de P y 134 kg de K por hectárea en cada corte. La dosis anterior se debe fraccionar en tres aplicaciones.

REFERENCIAS

- AOAC (1995) Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. Arlington, UA. 684p.
- Bernal J., Espinosa J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. Potash and Phosphate Institute of Canada. 94p.
- Birmanía J. (2013) Las arbóreas, una alternativa nutricional en la producción animal. Sitio Argentino de Producción Animal, 8p.
- Botero R. (1999) Fertilización racional y renovación de pasturas mejoradas en suelos ácidos tropicales. EARTH, Costa Rica. 21p.
- Carmona C.J., Bolívar M.D., Giraldo A.L. (2005) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Rev. Col. Cienc. Pecu. 18:1(49-63).
- Cerdas R. (2011) Programa de fertilización de forrajes; desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. InterSedes. 12 (24):109-128.
- Chavarría F. (1990) Gramíneas de pastoreo bajo fertilización nitrogenada y riego durante la época seca de Guanacaste. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 83p.
- CIA (2014) Reporte de análisis de suelo de la Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste. Laboratorio de Suelos, Universidad de Costa Rica, 1p.

- Clavero T. (2011) Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. Revista de la Universidad del Zulia (Venezuela), año 2, n°2 p.11-35
- Correa H.J. (2006) Calidad nutricional del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp) cosechado a dos edades de rebrote. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 13p.
- Foidl N. y otros (1997) Utilización del marango (*Moringa oleífera*) como forraje fresco para ganado. FAO: Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica, 4 p.
- Fonseca R. y otros (2015) Efecto de combinaciones de altura y frecuencia de corte sobre el rendimiento de la Moringa (*Moringa oleífera*, Lam) en Granma. Revista Granma Ciencia 19(2):1-7
- Galindo, J. y otros (2011). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (Botón de oro) en la población de protozoos y metanógenos ruminales en condiciones in vitro. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 45:33-37.
- Galindo, J. y otros (2012). Efecto de *Samanea saman* (Jacq.) Merr., *Albizia lebbek* (L.) Benth y *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray (material vegetal 23) en la población de metanógenos y en la ecología microbiana ruminal. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 46:273-278.
- Gallego-Castro L.A., Mahecha-Ledesma L. y Angulo-Arizala J. (2014) Potencial forrajero de *Tithonia diversifolia* Hemsl. A Gray en la producción de vacas lecheras. Agron. Mesoam. 25(2),393-403.
- García D., Medina M.G. (2005). Contenido antinutricional de la biomasa comestible en especies forrajeras del género *Albizia*. Zootecnia Tropical 23(4):345-361.
- García DE. y otros (2006) Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado de Trujillo, Venezuela. Zootecnia Trop. 24(4):401-415
- García II. y otros (2017). ¿Cuál es el efecto de la *Moringa oleífera* sobre la dinámica ruminal? Revisión sistemática. Rev. Inv. Vet. Perú 28(1):43-55.

- Herrera R.S. (2007) Toma y procesamiento de la muestra de pasto, su influencia en indicadores morfológicos y composición química. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 41(3):209-213.
- InfoStat (2002) Software estadístico. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. CD.
- Jarquín, S.J; Jarquín, C.M; Reyes, N. (2003). Producción de Biomasa de *Moringa oleífera*, bajo diferentes densidades de siembra y frecuencias de corte en el trópico seco de Nicaragua. Tesis. Ing. Agron. Facultad de Ciencia Animal. Universidad Nacional Agraria. Nicaragua. 59 p.
- Juárez-Hernández J., Bolaños-Aguilar E.D. (2007) Curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*, 23(1),81-90.
- Lok S. y Suárez Y. (2014) Efecto de la aplicación de fertilizantes en la producción de biomasa de *Moringa oleífera* y en algunos indicadores del suelo durante el establecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4):399-403.
- Ly J. y otros (2016) Balance de nitrógeno (n) en cerdos alimentados con harina de follaje de *Moringa oleífera*. *Revista Bio Ciencias*, 3(4):349-358
- Meza-Carranco Z. y otros (2016) Crecimiento y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleífera Lam.*) bajo las condiciones climáticas del Noreste de México. *Tecnociencia Chihuahua* 10(3):143-153.
- Padilla C. y otros (2014) Efecto de la altura de corte en indicadores de la producción de forraje de *Moringa oleífera* cv. Plain. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4):405-409.
- Pérez A. y otros (2010) Características y potencialidades de *Moringa oleífera*, Lamark, una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes*, 33(4):1-16
- Petit J. y otros (2010) Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. *Revista Forestal Venezolana* 54(2):161-167.

- Ramos-Trejo O., Castillo-Huchín J. y Sandoval-Gío J.J. (2015). Effect of cutting intervals and heights in forage productivity of *Moringa oleifera*. *Revista Bio Ciencias* 3(3): 187-194.
- Reyes N. (2004) Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Universidad Nacional Agraria, Nicaragua. Serie técnica N°. 5, 24 p.
- Rodríguez R. (2011) Alimentación de vacas lecheras con *Moringa oleífera* fresco o ensilado y su efecto sobre la producción, composición y calidad de la leche. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad nacional Agraria, Nicaragua. 45p.
- Rodríguez R. y otros (2014) Valor nutritivo de harinas de forraje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4):371-378
- Valarezo J. y Ochoa D. (2013) Rendimiento y valoración nutritiva de especies forrajeras arbustivas establecidas en bancos de proteína, en el sur de la Amazonía ecuatoriana. *Revista Cedamaz*, p.113-123.
- Vargas-Sánchez JE. Y Estrada-Álvarez J. (2011) Evaluación de la producción y calidad nutricional de cinco especies forrajeras (arbustivas y arbóreas) para corte en condiciones de bosque seco tropical. *Vet. Zootec.* 5(2):55-67.
- Virgüez GT. y Chacón E. (1997) Especies arbóreas y arbustivas de potencial forrajero del árido y semi-árido de Venezuela. *Gaceta de Ciencias Veterinarias*, 3(1):15-34.