

Variación morfológica en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de población

Edwin R. Alvarado Ramírez¹
Jonathan R. Garay Martínez²
Benigno Estrada Drouaillet¹
Juan C. Martínez González¹
Adelaido R. Rojas García³
Santiago Joaquín Cancino^{1§}

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias-Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario *Campus* Victoria, edificio Centro de Gestión del Conocimiento, 4° Piso. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP. 87120. Tel. 834 318172.1 (win.bodybuilders@hotmail.com; benestrada@docentes.uat.edu.mx; jmartinez@docentes.uat.edu.mx). ²Campo Experimental Las Huastecas-INIFAP. Carretera Tampico-Mante km 55, Villa Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. CP. 89610. Tel. 834 1061012. (garay.jonathan@inifap.gob.mx). ³Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia núm. 2-Universidad Autónoma de Guerrero. Carretera Acapulco-Pinotepa Nacional km 197. Cuajinicuilapa, Guerrero, México. CP. 41940. Tel. 595 1107672. (rogarcia.05@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: sjoaquin@docentes.uat.edu.mx.

Resumen

Las especies arbóreas se utilizan para mejorar la nutrición de rumiantes y *Moringa oleifera*, puede ser una alternativa de alimentación, por el forraje de alto valor nutritivo. Sin embargo, los arreglos topológicos modifican la estructura de la planta y en consecuencia el valor nutritivo. Por tanto, se evaluó el efecto de diferentes densidades de población (D50, D100 y D200 para 50, 100 y 200 mil plantas ha⁻¹, respectivamente) y cinco cortes cada 28 días sobre las características morfológicas de *Moringa oleifera*, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, en condiciones de temporal y durante el periodo de julio a noviembre de 2017. Las variables evaluadas fueron: altura de rebrote (AR), diámetro basal de planta (DBP), número de ramas (NRP), contenido relativo de clorofila (CRC), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE). Los resultados indicaron que no hubo interacción ($p > 0.05$) entre las densidades de población y cortes. Se observó que los valores de AR, DBP y NRP disminuyeron ($p \leq 0.05$) al incrementar la densidad de plantas; caso contrario sucedió con IAF y AFE. El CRC fue similar ($p > 0.05$) en todas las densidades evaluadas. En conclusión, al aumentar la densidad de población de moringa de D50 a D200 afectó de manera negativa los componentes morfológicos aéreos de las plantas, principalmente el tallo, el cual influyó sobre la cantidad y dimensiones de ramas.

Palabras clave: árboles forrajeros, densidades de población, manejo agronómico.

Recibido: febrero de 2020

Aceptado: abril de 2020

Introducción

La ganadería en el Noreste de México presenta dificultades, principalmente porque la mayoría de los pastos utilizados presentan rendimientos de forraje de 2 a 5 t MS ha⁻¹ y bajo valor nutritivo, alrededor de 40% de digestibilidad y contenidos de proteína cruda entre 3 y 7% (Ávila, 2013). Asimismo, durante la época seca la producción de forraje disminuye considerablemente, hasta en 90% (Garay-Martínez *et al.*, 2018). Para hacer frente a lo anterior, se ha propuesto la inclusión de especies arbóreas con alto valor nutritivo en la dieta para rumiantes, con el objetivo de incrementar el valor nutritivo de la dieta y, por ende, mejorar los parámetros productivos en los animales (Lombo *et al.*, 2013).

En este sentido, una opción puede ser la utilización de *Moringa oleifera* Lam., comúnmente conocida como moringa, es una especie arbórea (García *et al.*, 2006), originaria de los bosques tropicales del noreste de la India (Ramachandran *et al.*, 1980). Destaca por su valor nutritivo, principalmente por la cantidad de proteína (de 23 a 30%) en sus hojas (Moyo *et al.*, 2011; Zheng *et al.*, 2016; Alvarado-Ramírez *et al.*, 2018), lo que favorece la alimentación animal (Román-Miranda *et al.*, 2013), ya que la proteína es el nutriente de mayor costo (Lugo *et al.*, 2012).

Aunado a esto, las hojas de moringa contienen de 321 a 521 g kg⁻¹ MS de fibra detergente neutro, de 224 a 361 g kg⁻¹ MS fibra detergente ácido (Makkar y Becker, 1996; Reyes *et al.*, 2006; Mendieta-Araica *et al.*, 2012), aproximadamente 2.27 Mcal kg⁻¹ MS de energía metabolizable y 79% de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (Makkar y Becker, 1997; Reyes, 2004). Asimismo, se ha reportado la presencia de 19 aminoácidos, de los cuales 10 son esenciales en la nutrición animal; en mayor y menor proporción se encuentran leucina y metionina con 19.6 y 2.9 mg g⁻¹ de MS, respectivamente (Moyo *et al.*, 2011).

Por otra parte, la moringa presenta notable plasticidad ecológica para adaptarse a su entorno, tolera suelos desde ácidos hasta alcalinos (Padilla *et al.*, 2012), pero sin problemas de encharcamiento prolongado; asimismo, subsiste a temperaturas extremas desde -1 hasta 48 °C (Troup, 1921), períodos prolongados de sequía y requiere de una precipitación mínima de 250 mm distribuidos durante el año para subsistir (Abdulkarim *et al.*, 2007). Como especie forrajera, su capacidad de rebrote después del corte es eficiente (Nouman *et al.*, 2014) y produce grandes cantidades de biomasa, 15 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (Reyes, 2004).

No obstante, el factor que influye significativamente en el rendimiento de una especie es la densidad de población de plantas (Goss, 2012; Noda-Leyva y Martín-Martín, 2017). Al ser óptima, proporciona una adecuada cobertura foliar (Sadeghi *et al.*, 2009) y esto permite interceptar la radiación fotosintéticamente activa (Tinoco *et al.*, 2008), la cual es utilizada por la planta en el proceso de la fotosíntesis (Monteith, 1977) para la producción de biomasa (Strieder *et al.*, 2008).

Sin embargo, también se ha reportado que densidades altas puede originar pérdida de plantas (Foidl *et al.*, 2001) y alteraciones en su composición morfológica y química (De Carvalho *et al.*, 2012), esto como consecuencia de la competencia intra e interespecífica por radiación, espacio, nutrientes y agua (Pérez *et al.*, 2010). Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes densidades de población sobre las características morfológicas de *Moringa oleifera* Lam. en condiciones semiáridas y durante la época de lluvias.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en condiciones de temporal, de julio a noviembre de 2017, en la Posta Zootécnica ‘Ing. Herminio García González’, propiedad de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ubicada en el municipio de Güémez, Tamaulipas, México (23° 56’ 26’’ latitud norte y 99° 05’ 59’’ longitud oeste, a 193 msnm). El suelo es de textura arcillosa, con pH de 8.4, conductividad eléctrica de 0.84 dS m⁻¹, contenido de materia orgánica y nitrógeno de 4.43 y 0.26%, respectivamente. El clima se clasifica como semiárido [BS₁ (h’) hw; Vargas *et al.*, 2007] y se caracteriza por una precipitación pluvial y temperatura media anual de 884 mm y 24.3 °C, respectivamente. La temperatura y precipitación pluvial acumulada registrada durante el periodo de evaluación se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Precipitación acumulada, temperatura mínima y máxima registradas en cada uno de los muestreos (5 cortes) durante el periodo de evaluación (julio a noviembre de 2017).

Variable climática	Corte				
	1	2	3	4	5
Temperatura mínima (°C)	21	21	17	10	7
Temperatura máxima (°C)	42	42	39	35	35
Precipitación (mm)	10.1	60.9	97.6	127.9	22.2

Se evaluaron tres densidades de población (D50: 50 000; D100: 10 000 y D200: 200 000 plantas ha⁻¹) de *Moringa oleifera*. La siembra fue en surcos separados a 0.5 m y una distancia entre plantas de 0.1, 0.2 y 0.4 m, para obtener las densidades de D200, D100 y D50, respectivamente. El tamaño de la parcela grande fue de 20 × 20 m y las chicas de 4 × 4 m. Se consideró como parcela útil una superficie de 2 × 2 m situada en la parte central de cada parcela chica.

La preparación del suelo consistió en airear y mullir el suelo mediante dos pases de rastra cruzados y uno con rastra desterronadora (Rotovator). La siembra se realizó el 5 de febrero de 2017 de manera manual con semilla botánica, sin tratamiento pregerminativo y se depositaron dos semillas por golpe. Transcurridos 30 días después de la siembra (dds), se efectuó un raleo dejando la planta más robusta. Asimismo, en la etapa de establecimiento del cultivo se aplicaron riegos de auxilio a capacidad de campo con un intervalo de 14 días a partir de la siembra hasta el corte de uniformidad y a partir de este momento el cultivo se manejó en condiciones de temporal.

El 5 de julio de 2017 se realizó el corte de uniformidad (120 dds) a 25 cm sobre el nivel del suelo y se fertilizó con 100, 50 y 50 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Como fuentes de fertilizante se utilizaron urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅) y óxido de potasio (60% K₂O). El control de malezas se realizó cada mes de forma manual entre plantas y surcos.

Las mediciones se realizaron cada 28 días durante cinco meses a partir del corte de uniformidad; para ello, en la parcela útil de cada repetición en cada tratamiento se seleccionaron y etiquetaron cinco plantas representativas y se midió: el diámetro basal de planta (DBP, mm), altura de rebrote (AR, cm), número de ramas (NRP), contenido relativo de clorofila (CRC, unidades SPAD), índice de área foliar (IAF) y área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹).

El DBP se midió a 5 cm sobre el nivel del suelo utilizando un calibrador digital marca Mitotuyo® (modelo 500, AOS Absolute Digimatic), la AR con un flexómetro (Truper®) desde el nivel del corte de uniformidad hasta la yema apical de una rama representativa por planta. Para la estimación de CRC, IAF y AFE se seleccionó una hoja completamente desarrollada en el tercio medio de la planta. El CRC se obtuvo con el medidor portátil de clorofila SPAD-502 Plus (Konica Minolta®, Inc.), con el cual se tomó la lectura de 10 foliólulos apicales por hoja y se promedió.

Para IAF y AFE, se separaron los foliolos del raquis principal presentes en la hoja que se utilizó en la medición del CRC y se determinó el área (medidor de área foliar modelo CI-202, CID Bio-Science®, Inc.), con dichos valores se estimó el IAF y el AFE. Todas las muestras se colocaron en bolsas de papel estraza y se secaron en un horno de circulación de aire forzado (Thermo Scientific™ modelo Heratherm™ OGS100) a 65 °C hasta mantener un peso constante. Una vez secados, se pesaron en una balanza analítica marca ADAM® (Modelo NBL 254 e/i, Nimbus®, Analytical Balances™). El NRP se obtuvo mediante la cuantificación de las ramas que presentaron más de una hoja.

Las variables se analizaron mediante el procedimiento GLM (SAS, 2002), en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en un arreglo de parcelas divididas; donde la parcela grande fue la densidad y la pequeña los cortes. Donde se encontró diferencia significativa entre tratamientos se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p=0.05$). Además, se realizó un análisis de regresión para determinar el efecto de la densidad sobre las variables evaluadas.

Resultados y discusión

Los análisis de varianza realizados mostraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre densidades de población en todas las variables evaluadas, con excepción del contenido relativo de clorofila (Cuadro 2). En la fuente de variación corte, se encontró que solo en las variables AR, DBP y NRP existió efecto significativo ($p \leq 0.05$), como se esperaba, ya que las condiciones ambientales variaron durante el periodo de evaluación (Cuadro 1). Con relación al efecto de la interacción densidad de población por corte no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$; Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza de la densidad de población, cortes e interacciones (D×C) de cada variable evaluada en *Moringa oleifera* Lam.

Variable	Efectos		
	Densidad (D)	Corte (C)	D × C
Altura de rebrote (cm)	**	**	ns
Diámetro basal de planta (mm)	**	**	ns
Número de ramas por planta	**	**	ns
Área foliar específica (cm ² g ⁻¹)	*	ns	ns
Índice de área foliar	**	ns	ns
Contenido relativo de clorofila (unidades SPAD)	ns	ns	ns

* = ($p \leq 0.05$); ** = ($p \leq 0.01$); NS = no significativo.

La AR disminuyó ($p \leq 0.05$) 31% cuando la densidad fue de 50 a 100 mil plantas ha^{-1} (19.05 vs. 13.13 cm; Cuadro 3). Se observó que a mayor densidad de plantas los valores de DBP y NRP, fueron menores ($p \leq 0.05$). En este sentido, cuando la densidad fue de 50 a 200 mil plantas ha^{-1} , el DBP y NRP disminuyó 34 y 36% respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medias de las características morfológicas de *Moringa oleifera*, evaluadas a diferentes densidades de población, durante el periodo de julio a noviembre de 2017.

Variable	Densidad de población (plantas ha^{-1})			DMS
	D50	D100	D200	
Altura de rebrote (cm)	19.05	13.13	11.75	2.2
Diámetro basal de planta (mm)	20.5	14.9	13.6	1.12
Número de ramas por planta	5.3	4	3.4	0.54

Literales diferentes (a, b, c) dentro de una misma fila indican diferencia significativa entre densidades de población (Tukey; $p = 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Se observó que en los cortes uno, dos y cinco, al aumentar la densidad de población la AR disminuyó ($p \leq 0.05$). En este sentido, los valores obtenidos en la D100 y D200 en los cortes uno (7.3 y 5.3 cm, respectivamente) y cinco (3 y 2.7 cm, respectivamente) fueron similares estadísticamente ($p > 0.5$) e inferiores a los obtenidos en el corte dos (18.7 y 14.6 cm, respectivamente), mientras que en la D50 todos sus valores difieren significativamente entre sí. La mayor AR se registró en el corte dos en la D50 (29.7 cm), seguida de las registradas en los cortes uno (18.3 cm) y cinco (4.6 cm; Figura 1A). Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los cortes para la variable DBP (Figura 1B). Así mismo, cuando la densidad de población incrementó de D50 a D200 se redujo 22% el DBP y los valores menores y mayores se presentaron en el corte uno (19.8 y 15.1 mm) y cinco (23 y 18.3 mm), en las D50 y D200, respectivamente (Figura 1B).

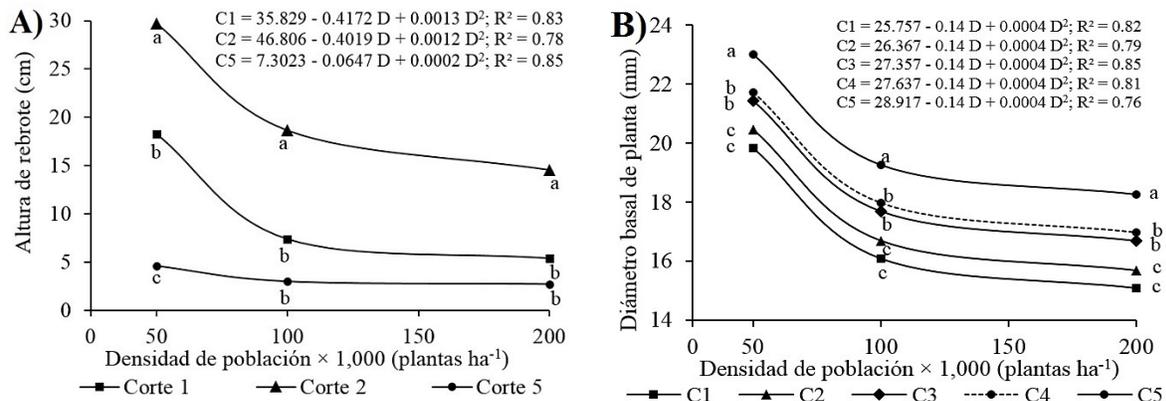


Figura 1. Tendencia de la altura de rebrote (A) y del diámetro basal de planta (B) con relación a la densidad de población (D) y cortes (C) de *Moringa oleifera*. Medias en una misma densidad con literales diferentes (a, b, c) indican diferencia significativa (Tukey; $p = 0.05$).

Los resultados encontrados en este estudio indican que el aumento en la densidad de plantas por unidad de superficie de suelo, originó un efecto significativo en la estructura aérea de moringa. En este sentido, el tallo principal, disminuyó el grosor en la población más densa (D200), mientras que

en la menos densa (D50), aumentó. Lo anterior, concuerda con lo observado por otros investigadores, quienes, al evaluar diferentes densidades de población de moringa, observaron que el desarrollo morfológico se vio afectado negativamente al aumentar la densidad de población y que el tallo fue el órgano aéreo que sufrió más cambios, al incrementar la densidad, disminuyó el diámetro (Goss, 2012; Longo *et al.*, 2017).

Lo anterior se debe a la competencia intraespecífica que se genera entre plantas, principalmente por espacio subterráneo y aéreo, nutrientes disponibles y agua, cuando las poblaciones son muy densas (Ella *et al.*, 1989; Foidl *et al.*, 2001). Contrariamente a estos resultados, en un estudio realizado en Cuba se observó que en densidades de 250 000 a 1 000 000 plantas ha⁻¹ no existió diferencia en el grosor de tallo, pero si hubo una elongación (Sosa-Rodríguez *et al.*, 2017), lo que conlleva a suponer que el cultivo respondió al manejo al que fue sometido (Toral *et al.*, 2006).

En este trabajo, la altura de rebrote disminuyó al incrementar la densidad de población de D50 a D100, esto contrasta con un estudio donde evaluaron desde 12 hasta 197 mil plantas ha⁻¹ y no encontraron diferencias en la altura de la planta (Goss, 2012); sin embargo, los rebrotes fueron delgados y endebles (Sosa-Rodríguez *et al.*, 2017), lo cual indica que las plantas compitieron por la luz solar disponible (Amaglo *et al.*, 2006). Ante esto, se puede inferir que la diferencia de la altura de rebrote entre las densidades se debió al área foliar remanente, la cual contribuyó en la disminución del periodo de recuperación, por ende, en la rápida formación de nuevos órganos aéreos para subsistir (Stür *et al.*, 1994).

También, se observó que cuando la temperatura ambiental se mantuvo en un rango de 21 a 42 °C y la precipitación pluvial acumulada se incrementó de 10.1 a 60.9 mm, las plantas respondieron positivamente en todas las densidades; mientras que a mayor amplitud térmica (7 - 35 °C), la respuesta fue negativa, aun cuando hubo una precipitación acumulada de 22.2 mm. Al respecto, se ha mencionado que en esta especie la temperatura ambiental es el factor que influye significativamente en su desarrollo (Meza-Carranco *et al.*, 2016), temperaturas que se encuentran en un rango de 26 a 29 °C le son favorables Olson y Alvarado-Cárdenas (2016); mientras que las inferiores a 20 °C afectan el crecimiento y desarrollo (Paliwal *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2015).

De igual manera, otros autores indican que el crecimiento de las plantas está determinado por la cantidad de agua disponible en el suelo (Ledea *et al.*, 2017) y en el caso de especies forrajeras, se ha demostrado que influye sobre la morfogénesis de las plantas (Patel *et al.*, 2014). Asimismo, la humedad en el suelo es necesaria para que los nutrimentos disponibles sean absorbidos y translocados hacia los distintos órganos de la planta y al utilizar poblaciones densas la demanda de estos es mayor (Firbank y Watkinson, 1990).

En cuanto al NRP, se observó que la densidad tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en los cortes uno y tres. Donde, al incrementar la densidad ocasionó una disminución en la cantidad de ramas y hojas por planta (Figura 2A). En este sentido, el NRP obtenido en ambos cortes, D50 y D100 difirieron significativamente entre si ($p \leq 0.05$) y fue en el tercer corte donde se presentaron los mayores valores (7.0 y 4.2, respectivamente) y en el primero los menores (3.8 y 2.1, respectivamente), mientras que en la D200 los valores fueron similares ($p > 0.05$) en ambos cortes (2.3 y 3.6, respectivamente, Figura 2A).

Se observó que los valores mayores ($p \leq 0.05$) en el IAF y AFE se obtuvieron en la densidad D200 (1.8 y 245 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente) mientras que en la D50 y D100, los valores para estas variables fueron similares (Figura 2B). Por otra parte, no se observaron diferencias en el CRC en las tres densidades evaluadas y los valores estuvieron entre 48 y 50 unidades SPAD (Figura 2B).

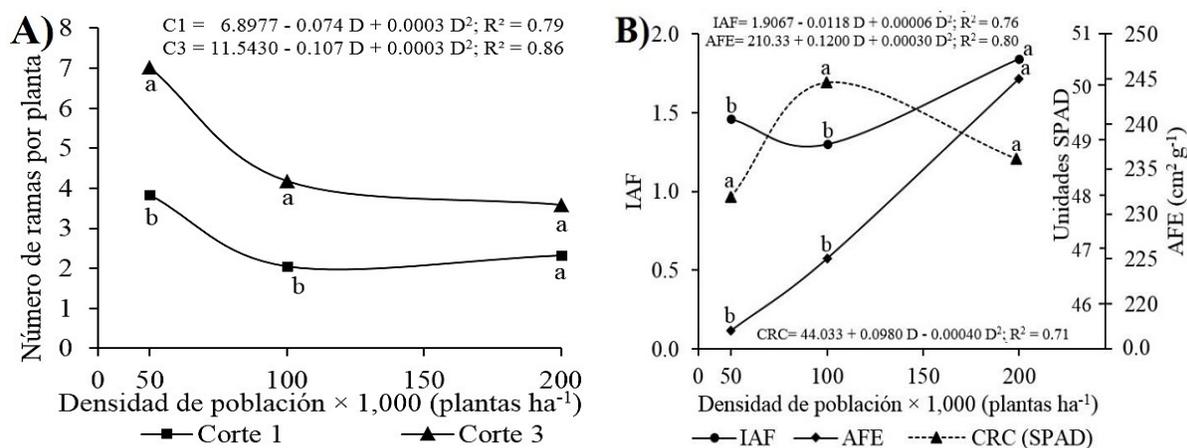


Figura 2. Tendencia del número de ramas por planta (A) y del contenido relativo de clorofila, área foliar específica e índice de área foliar (CRC, AFE e IAF, respectivamente (B) con relación a la densidad de población (D); y cortes (C) en *Moringa oleifera*. Medias en una misma densidad (A) y variable (B) con literales diferentes (a, b) indican diferencia significativa (Tukey; $p = 0.05$).

El comportamiento en el NRP coincide con lo reportado por otros investigadores, quienes observaron que en poblaciones bajas la cantidad de ramas es mayor (Sosa-Rodríguez *et al.*, 2017) y por consiguiente el número y el tamaño de las hojas tiende a aumentar (Dos Santos *et al.*, 2017). Al respecto, se ha mencionado que en especies arbóreas forrajeras se utiliza la poda como un mecanismo para estimular la emisión de ramas nuevas (Ramachandran *et al.*, 1980).

Sin embargo, se ha reportado que al podar la planta se genera una inhibición en la asimilación de nutrientes disponibles en el suelo (Reyes *et al.*, 2006) y que la capacidad de rebrote es limitada por el grosor de tallo (Foidl *et al.*, 2001), debido a que este actúa como un órgano de acumulación de carbohidratos de reserva y que estos a su vez son utilizados por las plantas en la formación de rebrotes y tejido fotosintético (Sadeghi *et al.*, 2009).

En este estudio, las plantas que presentaron tallos con mayor grosor (D50), la acumulación de reservas fue mayor, lo cual se reflejó en un rebrote más vigoroso, en términos de cantidad y dimensiones de ramas. También, se observó que en las poblaciones D50 y D100 la emergencia de ramas nuevas por planta fue mayor cuando se incrementó la precipitación pluvial, mientras que en la población D200 el comportamiento de esta variable fue el mismo, independientemente de la temperatura ambiental o la precipitación pluvial.

En este sentido, las condiciones climáticas afectan la morfología de los órganos de la planta (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018). Un factor importante es la disponibilidad de agua en el suelo, ya que influye directamente en el desarrollo foliar, el cual es regido por los estomas, quienes regulan el gasto de agua (transpiración) en función de las condiciones ambientales y las actividades fotosintéticas (Medrano *et al.*, 2007).

Respecto al efecto de la densidad de plantas sobre el área foliar, estos resultados concuerdan con los de otros autores, quienes señalaron que la densidad de población está asociada positivamente con el índice de área foliar (Damtew *et al.*, 2011), ya que al incrementar la población de plantas aumenta la cobertura foliar sobre el suelo (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011), lo cual sucedió al aumentar la población a D200. Se ha mencionado que índices de área foliar altos incrementan la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (Tinoco *et al.*, 2008), la que a su vez es aprovechada por el cultivo (Strieder *et al.*, 2008) y aumenta la fotosíntesis (Goss, 2012).

Los valores del área foliar específica fueron mayores en la densidad más alta (D200), por lo tanto, se puede suponer que la planta respondió fisiológicamente a la competencia entre plantas y en consecuencia el espesor de la hoja fue menor; lo cual resulta favorable, ya que se ha mencionado que en especies forrajeras existe una correlación positiva entre el AFE y la concentración de nitrógeno, y ésta a su vez, con el contenido de proteína cruda (Pérez *et al.*, 2004; Garay *et al.*, 2017).

Conclusiones

La morfología de los órganos de la planta de moringa se modificó al incrementar la densidad de plantas; principalmente en el vigor del rebrote, que se reflejó en el tamaño y la cantidad de ramas por planta después del corte. Con densidades D200 se optimiza el uso del suelo, ya que se obtienen los valores mayores en el IAF.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada al primer autor.

Literatura citada

- Abdulkarim, S. M.; Long, K.; Lai O. M.; Muhammad, S. K. S. and Ghazali, H. M. 2007. Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. Food Chem. 105(4):1382-1389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013>.
- Alvarado-Ramírez, E. R.; Joaquín-Cancino, S.; Estrada-Drouaillet, B.; Martínez-González, J. C. y Hernández-Meléndez, J. 2018. *Moringa oleifera* Lam.: Una alternativa forrajera en la producción pecuaria en México. Agroproductividad. 11(2):106-110. <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/134/112>
- Amaglo, N. K.; Timpo, G. M.; Ellis, W. O. and Bennett, R. N. 2006. Effect of spacing and harvest frequency on the growth and leaf yield of moringa (*Moringa oleifera* Lam.), a leafy vegetable crop. Ghana J. Hortic. 6(1):33-40. <http://ir.knust.edu.gh/handle/123456789/9664>.
- Ávila, J. M. 2013. Producción de semilla de los pastos Angleton y Medio Bluestem. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). México. 19 p.
- Damtew, Z.; Tesfaye, B. and Bisrat, D. 2011. Leaf, essential oil and artemisinin yield of *Artemisia (Artemisia annua* L.) as influenced by harvesting age and plant population density. World J. Agric. Sci. 7(4):404-412. [https://www.idosi.org/wjas/wjas7\(4\)/6.pdf](https://www.idosi.org/wjas/wjas7(4)/6.pdf).

- De Carvalho, B. A. A.; Alcântara, N. F.; Cabral, N. A. y Maggion, K. 2012. Comportamento morfoagronômico de feij o caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. *Rev. Cienc. Agrar.* 55(3):184-189. <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2012.059>.
- Dos Santos, M. C. A.; Gomes, D. I.; De Oliveira, W. F.; Carvalho, E. A. L.; Santana, K. R. S.; Pinheiro, W. A. A.; Alves, K. S. and Mezzomo, R. 2017. Influence of dry and rainy seasons on the morphological characteristics of *Brachiaria Brizantha* cv. Marandú in grazing system. *In: Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science.* Parapinski, M.; Dalle C. M. S. and Schmidt, P. (eds). Brazilian Society of Animal Science. Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil. 643 p.
- Ella, A.; Jacobsen, C.; Stür, W. W. and Blair, G. 1989. Effect of plant density and cutting frequency on the productivity of four tree legumes. *Trop. Grasslands.* 23(1):28-34. <http://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/pages/view/tropicalGrasslands>.
- Ferreira, C. P.; Rabello, O. P. S.; Borsoi, A.; Soares, V. E.; Taffarel, L. E.; Tiago, P. J. and Mansano, S. M. V. 2015. Initial growth of *Moringa oleifera* Lam. under different planting densities in autumn/winter in south Brazil. *Afr. J. Agric. Res.* 10(5):394-398. <https://pdfs.semanticscholar.org/3cf7/2e8da722379e35d95da0316d3a1916c98723.pdf>.
- Firbank, L. G. and Watkinson A. R. 1990. On the effects of competition: From monocultures to mixtures. *In: Perspectives on plant competition.* Academic Press Inc. San Diego, California, USA. 165-192 pp.
- Foidl, N.; Makkar, H. P. S. and Becker, K. 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. *In: The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa.* Fuglie, L. J. (ed.) Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA) is a joint international institution of the African, Caribbean and Pacific (ACP) Group of States and the European Union (EU). Nederland. 45-77 pp.
- Garay, J. R.; Joaquín, S.; Zárate, P.; Ibarra, M. A.; Martínez J. C.; González, R. P. and Cienfuegos, E. G. 2017. Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. *Trop. Grassl. Forrajes Trop.* 5(2):66-76. [http://dx.doi.org/10.17138/tgft\(5\)66-76](http://dx.doi.org/10.17138/tgft(5)66-76).
- Garay-Martínez, J. R.; Joaquín-Cancino, S.; Estrada-Drouaillet B.; Martínez-González, J. C.; Joaquín-Torres, B. M.; Limas-Martínez, A. G. y Hernández-Meléndez, J. 2018. Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. *Ecosist. Recur. Agropec.* 5(15):573-581. <http://dx.doi.org/10.19136/era.a5n15.1634>.
- García, D. E.; Medina, M. G.; Domínguez, C.; Baldizán, A.; Humbría, J. y Cova, L. 2006. Evaluación química de especies no leguminosas con potencial forrajero en el estado de Trujillo, Venezuela. *Zootec. Trop.* 24(4):401-415. http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692006000400002.
- Goss, M. 2012. A study of the initial establishment of multi-purpose moringa (*Moringa oleifera* Lam) at various plant densities, their effect on biomass accumulation and leaf yield when grown as vegetable. *Afr. J. Plant Sci.* 6(3):125-129. <https://doi.org/10.5897/AJPS11.259>. http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v10n3/Data/Crecimiento_y-produccion-de-biomasa-de-moringa-oleifera-en-condiciones-climaticas-del-Noreste-de-Mexico.pdf.
- Ledea, R. J. L.; Benítez, G. D. G.; Arias, P. R. C. y Guerra, M. A. 2017. Comportamiento agronómico de cultivares de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la salinidad. *Rev. Prod. Anim.* 29(3):18-28. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-79202017000300004.

- Ledea-Rodríguez, J. L.; Ray-Ramírez, J. V.; Arias-Pérez, R. C.; Cruz-Tejeda, J. M.; Rosell-Alonso, G. y Reyes-Pérez, J. J. 2018. Comportamiento agronómico y productivo de nuevas variedades de *Cenchrus purpureus* tolerantes a la sequía. *Agron. Mesoam.* 29(2):343-362. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v29n2/1021-7444-am-29-02-00343.pdf>.
- Lombo, D.; Ibrahim, M.; Villanueva, C.; Benjamín, T. y Skarpe, C. 2013. Disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua. *Agrofor. Am.* 50(1):62-68. <http://bco.catie.ac.cr/portal-revistas/index.php/AGRO/article/view/62>.
- Longo, M. L.; Cansian, K.; Silva, M. C.; Lenis, P. R.; Ledesma, L. L. M.; Amaral, I. P. O.; Leonardo, A. P. and Vargas, J. F. M. 2017. Morphologic development of *Moringa oleifera* transplanted with different spacing between rows and plants. *In: Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Brazilian Society of Animal Science.* Parapinski, M.; Dalle C. M. S. and Schmidt, P. (eds). Brazilian Society of Animal Science. Foz do Iguaçu, Paraná, Brazil. 666 p.
- Lugo, S. M.; Molina, F.; González, I.; González, J. y Sánchez, E. 2012. Efecto de la altura y frecuencia de corte sobre la producción de materia seca y proteína cruda de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootec. Trop.* 30(4):317-325. <http://www.scielo.org.ve/pdf/zt/v30n4/art08.pdf>.
- Makkar, H. P. S. and Becker, K. 1996. Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 63(1):211-228. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01023-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01023-1).
- Makkar, H. P. S. and Becker, K. 1997. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *J. Agric. Sci.* 128(3):311-322. <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/nutrients-and-antiquality-factors-in-different-morphological-parts-of-the-moringa-oleifera-tree/AC1F4152C9A110C56C5441C39CD37E39>.
- Medrano, H.; Bota, J.; Cifre, J.; Flexas, J.; Ribas-Carbó, M. and Gulías, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investig. Geograf.* 43(1):63-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17604304>.
- Mendieta-Araica, B.; Spörndly, N.; Reyes-Sánchez, N.; Salmerón-Miranda, F. and Halling, M. 2012. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different planting densities and levels of nitrogen fertilization. *Agrofor. Syst.* 87(1):81-92. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9525-5>.
- Meza-Carranco, Z.; Olivares-Sáenz, E.; Gutiérrez-Ornelas, E.; Bernal-Barragán, H.; Aranda-Ruíz, J.; Vázquez-Alvarado, R. E. y Carranza-De la Rosa, R. 2016. Crecimiento y producción de biomasa de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) bajo las condiciones climáticas del Noreste de México. *Tecnocien. Chih.* 10(3):143-153.
- Monteith, J. L. 1997. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 281(980):277-329. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>.
- Moyo, B.; Masika, P. J.; Hugo, A. and Muchenje, V. 2011. Nutritional characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Afr. J. Biotechnol.* 10(60):12925-12933. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB10.1599>.
- Noda-Leyva, Y. and Martín-Martín, G. J. 2017. Effect of planting distance on the yield of *Morus alba* (L.) var. yu-12. *Past. y Forr.* 40(1):23-28. <http://www.redalyc.org/pdf/2691/269150990003.pdf>.

- Nouman, W.; Basra, S. M. A.; Siddiqui, M. T.; Yasmeen, A.; Gull, T. and Alcayde, M. A. C. 2014. Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. Turk. J. Agric. For. 38(1):1-14. <https://dergipark.org.tr/download/article-file/119377>.
- Olson, M. E. y Alvarado-Cárdenas, L. O. 2016. ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera* en México? Un análisis de su distribución potencial. Rev. Mex. Biodivers. 87(3):1089-1102. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>.
- Padilla, C.; Fraga, N. y Suárez, M. 2012. Efecto del tiempo de remojo de las semillas de moringa (*Moringa oleifera*) en el comportamiento de la germinación y en indicadores del crecimiento de la planta. Rev. Cub. Cien. Agríc. 46(4):419-421. <http://www.redalyc.org/pdf/1930/193027579013.pdf>.
- Paliwal, R.; Sharma, V. y Pracheta, A. 2011. Review on horse radish tree (*Moringa oleifera*): A Multipurpose tree with high economic and commercial importance. Asian J. Biotechnol. 3(4):317-328. <https://doi.org/10.3923/ajbkr.2011.317.328>.
- Patel, V. R., Pramod, S., and Rao, K. S. 2014. Cambial activity, annual rhythm of xylem production in relation to phenology and climatic factors and lignification pattern during xylogenesis in drum-stick tree (*Moringa oleifera*). Flora 209(10):556-566. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2014.08.002>.
- Pérez, A. J. A.; García, M. E.; Enríquez, Q. J. F.; Quero, C. A. R.; Pérez, P. J. y Hernández, G. A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "Mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). Téc. Pecu. Méx. 42(3):447-458. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1397>.
- Pérez, A.; Sánchez, T.; Armengol, N. y Reyes, F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. Past. y Forr. 33(4):1-16. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S0864-03942010000400001>.
- Ramachandran, C.; Peter, K. V. and Gopalakrishnan, P. K. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. Econ. Bot. 1980;34(3):276-283. <https://www.jstor.org/stable/4254186>.
- Reyes, S. N. 2004. Marango: cultivo y utilización en la alimentación animal. Universidad Nacional Agraria. Managua Nicaragua. 20 p.
- Reyes, S. N.; Ledin, S. and Ledin, I. 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. Agrofor. Syst., 66(3):231-242. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-8847-y>.
- Román-Miranda, M. L.; Martínez-Rosas, L. A.; Mora-Santacruz, A.; Torres-Morán, P.; Gallegos-Rodríguez, A. y Avendaño-López, A. 2013. *Leucaena lanceolata* S. Watson ssp. *lanceolata*, especie forestal con potencial para ser introducida en sistemas silvopastoriles. Rev. Chapingo Ser. Cienc. For. Ambient. 19(1):103-114. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S2007-40182013000100009>.
- Sadeghi, S.; Rahnavard, A. and Ashraf, Z. Y. 2009. Study importance of sowing date and plant density effect on black cumin (*Cuminum carvi*) Yield. Bot. Res. Intl. 2(2):94-98. <https://pdfs.semanticscholar.org/9cb2/7f4f5eea9da0ccf7682421f25d26107cac84.pdf>.
- Sánchez-Hernández, M. A.; Aguilar-Martínez, C. U.; Valenzuela-Jiménez, N.; Sánchez-Hernández, C.; Jiménez-Rojas, M. C. y Villanueva-Verduzco, C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. Agron. Mesoam. 22(2):281-295. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v22n2/a05v22n2.pdf>.
- SAS. 2002. SAS User's Guide: Statistics (version 9.0). Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc.

- Sosa-Rodríguez, A. A.; Ledea-Rodríguez, J. L.; Estrada-Prado, W. y Molinet-Salas, D. 2017. Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleifera*). Agron. Mesoam. 28(1):207-211. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637016>.
- Strieder, M. L.; Ferreira, S. P. R.; Rambo, L.; Sangoi, L.; Alves, S. A.; Endrigo, P. C. and Batista, J. D. 2008. Crop management systems and maize grain yield under narrow row spacing. Sci. Agr. 65(4):346-353. <http://www.scielo.br/pdf/sa/v65n4/04.pdf>.
- Stür, W. W.; Shelton, H. M. and Gutteridge, R. C. 1994. Defoliation management of forage tree legumes. In: Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture. Gutteridge, R. C. and Shelton, H. M. (Eds). CAB International. Wallingford, United Kingdom. 158-167 pp.
- Tinoco, A. C. A.; Ramírez, F. A.; Villareal, F. E. y Ruiz, C. A. 2008. Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. Agric. Téc. Méx. 34(3):271-278. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n3/v34n3a1.pdf>.
- Toral, O.; Iglesias, J. M. y Reino, J. 2006. Comportamiento del germoplasma arbóreo forrajero en condiciones de Cuba. Past. Forr. 29(4):337-350. <http://www.redalyc.org/pdf/2691/269121676001.pdf>.
- Troup, R. S. 1921. The silviculture of Indian trees. Clarendon Press. Inglaterra, Reino Unido. 783 p.
- Vargas, T. V.; Hernández, R. M. E.; Gutiérrez, L. J.; Plácido, D. C. J. M. y Jiménez, C. A. 2007. Clasificación climática del Estado de Tamaulipas, México. CienciaUAT. 2(2):15-19. <http://www.redalyc.org/pdf/4419/441942910001.pdf>.
- Zheng, Y., Zhang, Y., and Wu, J. 2016. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest China. Ind. Crop. Prod. 91(3):88-96. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.032>.