



Morfometría aérea en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de siembra, en sabanas de Monagas, Venezuela

Aerial morphometry in *Moringa oleifera* Lam. at different planting densities, in savannahs of Monagas, Venezuela

Autores

*Raul E. Granado Gimón

✉ raulgranadogimon@gmail.com

Guillermo S. Romero Marcano

✉ guillermo.ro80@gmail.com

Ramón Silva Acuña

✉ drramonsilvaa@gmail.com

Rodolfo J. González Betancourt

✉ gonzalezbetancourtrodolfo@gmail.com

Universidad de Oriente. Maturín,
Monagas, Venezuela.

Resumen

Con el objetivo de evaluar las variables morfométricas primarias, de ramas y de hojas por planta, en moringa, se instaló un experimento en el fundo “Guachimari”, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela. Se realizó un vivero para producir plántulas, que fueron posteriormente trasplantadas a campo. Se empleó el diseño de bloques al azar, con cinco tratamientos o densidades de siembra (16.000, 20.000, 26.666, 40.000 y 80.000 plantas·ha⁻¹), cuatro repeticiones y unidades experimentales de 9 m². La cosecha fue realizada 215 días después del trasplante, previo a la misma se determinó la morfometría aérea primaria: altura de planta (AP), diámetro basal del tallo, número de ramas y el índice de robustez (IR); posterior a esta, se cuantificaron las variables morfométricas de rama: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama (APR); y en la hoja: longitud y ancho. Los valores fueron estudiados mediante procedimiento ANAVA, estadística descriptiva, análisis de regresión y correlaciones. La densidad de siembra no afectó ($P>0,05$) la mayoría de las variables morfométricas del follaje, a excepción del IR y la APR, con máximos coincidentes, cercanos a la densidad crítica de 50.000 plantas·ha⁻¹, e influenciados por limitaciones físicas del suelo. En correlaciones morfométricas, la variable AP se asoció positivamente con variables medidas en rama y en hoja ($r=0,71^{**}$); en contraste hubo asociación negativa entre el número de ramas·planta⁻¹ y el número de hojas·rama⁻¹ ($r=-0,74^{**}$). Aspectos genéticos y fisiológicos del cultivo están involucrados, sobre todo el hábito de crecimiento vertical a tasas elevadas.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, densidad de siembra, índice de robustez, correlación morfométrica.

Abstract

In order to evaluate the primary morphometric variables, of branches and leaves per plant, in moringa, an experiment was set up at the “Guachimari” farm, Maturín municipality, Monagas state, Venezuela. A nursery was created to produce seedlings, which were later transplanted to the field. A randomized block design was used, with five treatments or planting densities (16,000; 20,000; 26,666; 40,000 and 80,000 plants·ha⁻¹), four repetitions and experimental units of 9 m². The harvest was carried out 215 days after transplantation. Prior to this, the primary aerial morphometry was determined: plant height (PH), basal stem diameter, number of branches and the robustness index RI; after this, the branch morphometric variables were quantified: length, diameter, number of leaves and height to the first branch (HFB); and in the leaf: length and width. The values were studied using the ANOVA procedure, descriptive statistics, regression analysis and correlations. Planting density did not affect ($P>0.05$) most of the foliage morphometric variables, except for RI and HFB, with coinciding maxima, close to the critical density of 50,000 plants·ha⁻¹, and influenced by physical limitations of the soil. In morphometric correlations, the variable PH was positively associated with variables measured in branch and leaf ($r=0.71^{**}$); in contrast, there was a negative association between the number of branches·plant⁻¹ and the number of leaves·branch⁻¹ ($r=-0.74^{**}$). Genetic and physiological aspects of the crop are involved, especially the habit of vertical growth at high rates.

Keywords: *Moringa oleifera*, planting density, robustness index, morphometric correlation.

Citación sugerida: Granado Gimón, R. E., Romero Marcano, G. S., Silva Acuña, R. y González Betancourt, R. J. (2025). Morfometría aérea en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de siembra, en sabanas de Monagas, Venezuela. *La Técnica*, 15(1), 42-51. DOI: <https://doi.org/10.33936/latecnica.v15i1.7155>

Recibido: Diciembre 05, 2024

Aceptado: Febrero 26, 2025

Publicado: Abril 16, 2025



Introducción

Moringa oleifera Lam. es una planta multipropósito, de origen asiático, que tolera largos periodos de sequía y se adapta a una amplia gama de condiciones edafoclimáticas (Carrión et al., 2022); su follaje es reconocido como excelente suplemento nutricional para humanos y animales, al poseer propiedades antioxidantes, insulino-sensibilizantes e inmuno-moduladoras. Así como también, se le atribuyen efectos anti-cancerígenos, anti-inflamatorios y actividad anti-microbiana, anti-fúngica, anti-viral y anti-helmíntica (Hernández e Iglesias, 2022).

Asimismo, puede ser propagada con factibilidad mediante el método sexual, sus semillas carecen de periodo de latencia y su viabilidad puede extenderse por un año. El cultivo de *Moringa* está mundialmente referenciado para la alimentación de especies rumiantes con mejora significativa de las variables productivas (Sánchez-Santillan et al., 2022). Kursor et al. (2019) señalaron que la especie presentó rendimientos en biomasa seca superiores a $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (aproximadamente $1,87 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$), influenciados entre otras razones por la densidad de siembra. Motis y Reader (2019) lograron observar en plantaciones con programas de fertilización mixta, rendimientos de biomasa seca entre 0,12 y $0,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, en densidades bajas de $2.285,71 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($1,25 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$).

Lago-Abascal et al. (2024) consideraron la densidad de $41.666,66 \text{ plantas} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($0,80 \text{ m} \times 0,30 \text{ m}$), como óptima para producir forraje de calidad, en condiciones óptimas de suelo y lluvias; densidades mayores, provocaron interacción entre las plantas por luz (fototropismo); de manera similar, Sosa-Rodríguez et al. (2017) establecieron el cultivo en distintas densidades de siembra y reportaron que a menor distancia de siembra ocurrió aumento de la altura total y el rendimiento en biomasa fue mayor; aunque, el número de brotes fue significativamente menor; además, Navas-Panadero (2019) señaló que las condiciones climáticas influyeron en el rendimiento y la relación tallo-hoja de la planta.

En la actualidad, productores y técnicos reconocen las bondades nutritivas de la *Moringa*, pero desconocen el manejo del cultivo para obtener resultados satisfactorios en producción de follaje; donde la mayor debilidad está en el establecimiento de bancos forrajeros. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación consistió en evaluar las variables morfológicas primarias incluyendo: altura de planta, diámetro basal del tallo, número de ramas y el índice de robustez por planta; y en ramas se analizaron: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama, así como la longitud y ancho de la hoja, a fin de determinar la densidad de siembra pertinente.

Materiales y métodos

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el fundo “Guachimari”, localidad Primero de Mayo, parroquia San Vicente, municipio Maturín, estado Monagas, Venezuela, localizado geográficamente en coordenadas $9^{\circ}43'00,3'' \text{ N}$ y $63^{\circ}17'55,1'' \text{ O}$ a 116 m de altitud. El área experimental se localiza en la zona agroecológica de bosque seco tropical; suelos de orden ultisol y vegetación de sabana. La pluviometría anual es de 1.069 mm y temperatura promedio de $25,8^{\circ} \text{ C}$ (Climate.data.org, 2023).

Establecimiento del vivero

Se realizó un vivero para producir las plántulas de *Moringa*. Para ello se cosecharon frutos maduros de la especie *M. oleifera* var. *supergenius*, provenientes del banco de semillas ubicado en la Agrobases “Indio Maturín”, sector Las Cayenas, parroquia Santa Cruz, municipio Maturín, estado Monagas. Previo a la siembra, las semillas fueron seleccionadas en función a tamaño (diámetro ecuatorial aproximado entre 10 y 13 mm) y coloración (testa marrón oscuro con alas blanquecinas) (Romero-Marcano et al., 2022); se desinfectaron con solución 10% v/v de hipoclorito de sodio y posteriormente se realizó un triple enjuague en agua corriente. Seguidamente, se sometieron a tratamiento pregerminativo de inmersión en agua corriente, durante las 12 horas previas a la siembra. La siembra se realizó en bolsas de polietileno negro de 2 kg, colmadas con el respectivo sustrato, constituido por 80% de suelo franco arenoso y 20% de estiércol bovino. La caracterización física y química del sustrato se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad de Oriente, Campus Juanico y presentó pH de 5,81; conductividad eléctrica de $18,16 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$; capacidad de intercambio catiónico de $3 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$; contenido de materia orgánica de 3,87% y contenido de fósforo de 14 ppm.

Por bolsa, se colocaron tres semillas, a 2 cm de profundidad; inmediatamente, se saturó el sustrato con agua y de allí en adelante, las aplicaciones del riego fue interdiaria. Ocurrida la emergencia de las plántulas se realizó el raleo con tijeras, conservando la plántula más vigorosa por bolsa. La fase de vivero se condujo por 42 días. Previo al establecimiento en campo, se aplicó un muestreo aleatorio simple con “n” de 85 plántulas ($N \text{ en vivero} = 1000 \text{ plántulas}$), midiéndoles las variables: altura de plántula, diámetro de tallo y número de hojas, obteniéndose valores promedios de $49,69 \pm 0,99 \text{ cm}$; $8,71 \pm 0,12 \text{ mm}$ y $13,13 \pm 0,13$, respectivamente, con el objetivo de caracterizar el material llevado a campo.

Establecimiento del experimento en campo

El área efectiva del ensayo, ocupó 506 m^2 , incluyendo los bordes del área experimental, donde las dimensiones alcanzaron 23 m

de largo por 22 m de ancho. El experimento estuvo constituido de 20 parcelas, organizadas en cuatro franjas, separadas de 2 m; cada franja con cinco parcelas y cada parcela de 9 m², siendo sus dimensiones de 3 x 3 m. Las densidades de siembra evaluadas correspondieron a: 16.000, 20.000, 26.666, 40.000 y 80.000 plantas·ha⁻¹, donde, varió la distancia entre hileras (125, 100, 75, 50 y 25 cm, respectivamente), manteniéndose constante la distancia de 50 cm, entre las plantas. Cada densidad de siembra representada en cuatro parcelas, independientes por franja de siembra.

Previo a la siembra, se realizó la preparación manual del terreno, que comprendió el desmalezado y la demarcación de las parcelas, orientándolas en franjas de forma perpendicular a la pendiente del terreno. Delimitadas las parcelas, los puntos de siembra de 20 cm de profundidad se aperturaron con una ahoyadora a motor marca EFCO® modelo TR 1551, Italia. Realizada la siembra en campo, se efectuó el manejo agronómico correspondiente, que incluyó: desmalezado de las parcelas, a intervalos de 30 días; control de: bachacos *Atta* sp., realizado con Attilan®, colocando 5 g en la entrada de la colonia, y el control de otros insectos-plagas observados en el follaje, con aspersiones de CYPER® aplicado en concentración de 1 mL·L⁻¹. El área del ensayo estuvo comprendida dentro de un sistema de riego por aspersión. Desde el establecimiento en campo hasta el corte de uniformización transcurrieron 4 meses y medio.

Análisis físico-químico del suelo en el área experimental. Pruebas pre y post siembra

Previo a la siembra, el suelo del área experimental, se caracterizó física y químicamente. Por muestreo a 20 cm de profundidad, se determinó ser de textura franco arenoso; pH de 5,16; conductividad eléctrica de 1,65 ds·m⁻¹; materia orgánica de 2,33%; capacidad de intercambio catiónico de 1,8 meq·100 g⁻¹ y contenido de fósforo de 2,54 ppm.

Posterior a la siembra del cultivo en campo, se realizó una calicata contigua al área de la parcela experimental a la profundidad de 120 cm, caracterizándose los distintos horizontes del suelo. La densidad aparente utilizando el método Uhland, correspondió a: 1,6036 entre 0-10 cm; 1,7267 entre 10-20 cm; 1,6171 entre 20-30 cm y 1,6863 g·cm⁻³ entre 30-40 cm, respectivamente. El porcentaje de humedad en las muestras fue: 5,25% entre 0-10 cm, y de 5,46% entre 20-30 cm, siendo la velocidad de infiltración de: 0,034 entre 0-10 cm; 0,144 entre 10-20 cm; 0,408 entre 20-30 cm y 0,756 L·h⁻¹ entre 30-40 cm, respectivamente. Silva-Araujo y Mirás-Avalos (2024) señalaron que de acuerdo con las características antes mencionadas, el suelo del área experimental presentó horizontes superficiales compactados o medianamente compactados.

Corte de uniformización y cosecha

El corte de uniformización se realizó a 40 cm de altura con respecto a la base de la planta, empleándose serruchos y tijeras de podar. Posterior al corte de uniformización, se realizó una fertilización nitrogenada, con la aplicación de 10 g de

urea·planta⁻¹. La cosecha se realizó a los 90 días posteriores al corte de uniformización.

Determinación de la morfometría aérea

Pasados 90 días del corte de uniformización y previo a la realización de la cosecha se determinó la morfometría aérea primaria: altura de planta, diámetro basal del tallo, el número de ramas y el índice de robustez por planta. Realizada la cosecha, se cuantificaron las variables morfométricas de rama: longitud, diámetro, número de hojas y altura a la primera rama; y en la hoja: la longitud y ancho de la misma.

Procedimiento para medir la morfometría aérea primaria

Por planta, se determinó la altura con cinta métrica flexible, tomándola desde la base de la planta hasta la yema apical; el diámetro basal del tallo a la altura de 5 cm del suelo, utilizando vernier digital MITUTOYO® modelo CD-6"CS. El número de ramas por planta se contabilizó mediante conteo visual y el índice de robustez se obtuvo de la relación entre la altura de planta (cm) y el diámetro basal del tallo (mm) (Rodríguez-Ortiz et al., 2021).

Procedimiento para medir la morfometría de rama

Por planta, se cuantificó la longitud de la rama, medida desde la base del rebrote hasta la yema apical. El diámetro de rama se midió a nivel de la base del rebrote, utilizando vernier digital MITUTOYO® modelo CD-6"CS. El número de hojas por rama se cuantificó mediante conteo visual y la altura a la primera rama se obtuvo midiendo desde la base de la planta hasta el primer rebrote, con cinta métrica flexible.

Procedimiento para medir la morfometría de la hoja

Al par de hojas basales de cada rama, se les determinó la longitud, considerada desde la base del peciolo hasta el ápice; mientras que, el ancho mayor se midió perpendicular al raquis de la hoja.

Diseño del experimento y análisis estadístico

Se implementó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos diferenciados por las cinco densidades de siembra (plantas·ha⁻¹) siendo los tratamientos, las densidades de: 16.000 (D1); 20.000 (D2); 26.666 (D3); 40.000 (D4) y 80.000 (D5), con cuatro repeticiones o bloques correspondientes a las cuatro franjas de cultivo, para un total de 20 unidades experimentales (UE). Cada UE estuvo representada por parcelas de 9 m².

Los datos obtenidos en las variables morfométricas y el índice de robustez fueron procesados inicialmente por las pruebas de Shapiro Wilk y de Bartlett para corroborar cumplimiento de los supuestos de normalidad de los errores y homogeneidad de varianzas, respectivamente.

La comparación entre tratamientos se realizó mediante procedimiento ANAVA; las variables no significativas se analizaron mediante estadística descriptiva basada en cálculos de media y error estándar, generales y por categoría de respuesta. Las variables con diferencias significativas, fueron interpretadas



mediante ajustes de regresión simple, considerando como variable independiente (X), la densidad de siembra.

Se aplicó análisis de correlación de Pearson entre las diferentes variables morfométricas aéreas, aquellas con coeficientes de correlación significativo, fueron representadas mediante diagramas de dispersión. Todos los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando el programa InfoStat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Resultados y discusión

Morfometría aérea primaria

En la tabla 1, se aprecian los valores promedios de morfometría aérea primaria en moringa, de acuerdo con la densidad de siembra; el análisis estadístico no detectó diferencia significativa en la mayoría de las variables morfométricas aéreas primarias: altura de planta, diámetro basal de tallo y número de ramas; sin embargo, para la variable índice de robustez si hubo diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Tabla 1. Morfometría aérea primaria de *Moringa*, sembradas a diferentes densidades.

Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Morfometría aérea primaria ($\bar{X} \pm EE$)			
	Altura de planta (cm)	Diámetro basal de tallo (mm)	Número de ramas	Índice de robustez
16.000	39,16±6,99	14,77±1,44	2,50±0,20	2,64±0,36
20.000	45,70±3,93	14,43±0,67	2,53±0,38	3,17±0,24
26.666	44,68±1,80	14,92±0,59	3,81±0,83	2,99±0,04
40.000	53,46±1,93	14,71±0,58	2,93±0,54	3,64±0,13
80.000	51,02±2,40	14,72±0,14	3,17±0,33	3,47±0,18
P valor	0,9835	0,9835	0,3424	0,0437
Promedio	46,80±3,41	14,71±0,68	2,98±0,45	

Para la variable altura de planta se registraron valores que oscilaron entre 39,16±6,99 y 53,46±1,93 cm; mientras que, para la variable diámetro basal de tallo se reportaron valores entre 14,43±0,67 y 14,92±0,59 mm; el número de ramas por planta presentó valores que fluctuaron entre 2,50±0,20 y 3,17±0,33.

Los valores de altura de planta obtenidos en esta investigación, fueron inferiores a los reportados por Barrios-Gómez et al. (2022) presentando altura de 86,1 cm, con densidades de siembra superiores a las manejadas en el presente experimento. Tales autores también reportaron valores de diámetro y número de ramas, superiores a los obtenidos en este ensayo, siendo de 17,55 mm y 4,7 ramas·planta⁻¹, respectivamente. Ruiz-Hernández et al. (2021) con relación al número de ramas, obtuvieron valores cercanos a los referidos en este experimento, con promedio de 2,64 ramas·planta⁻¹, en plantaciones de menor densidad de siembra (1111,11 plantas·ha⁻¹).

Los valores obtenidos pueden estar influenciados por efectos de compactación del suelo, debido a que el crecimiento del sistema radical está directamente relacionado con el crecimiento aéreo de la planta, al tener raíces de escaso tamaño, no capaces de extraer agua y nutrientes, en consecuencia, se formaron plantas de menor tamaño (Cabeza y Claassen, 2017).

En la figura 1, se observa la tendencia obtenida en la regresión con ajuste cuadrático ($R^2 = 0,81$), mostrando una curva convexa creciente, con incremento del índice de robustez desde la densidad 16.000 plantas·ha⁻¹ hasta la densidad de 56.833 plantas·ha⁻¹ (punto máximo $Y = 3,72$) y posterior descenso del índice.

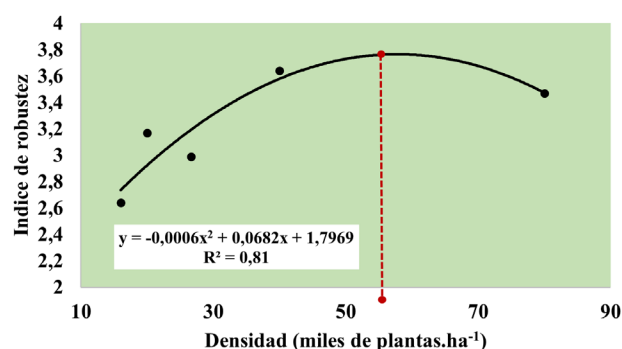


Figura 1. Índice de robustez de acuerdo con la densidad del cultivo de *Moringa*. La línea punteada en rojo, representa el punto de máxima para el índice de robustez.

Tal incremento inicial del índice de robustez entre las densidades más bajas, se interpretó como mayor crecimiento en altura con respecto al diámetro basal del tallo en la planta de *Moringa*; por su parte, el descenso del índice en las densidades más altas se entiende como mayor crecimiento en diámetro basal del tallo con respecto a la altura de la planta. Este comportamiento se puede relacionar con las condiciones físicas limitantes del suelo, debido a que en las densidades de siembra más bajas el laboreo del suelo fue menor (hoyos más distanciados) lo que indirectamente implicó mayor compactación en la parcela.

Por el contrario, en las densidades de siembra más altas, con hoyos más cercanos, hubo mayor movimiento del suelo y por ende menor compactación por el efecto del laboreo. Esta condición provocó menor estrés en las plantas, en consecuencia, Romero-Marcano et al. (2021) señalaron mayor crecimiento en diámetro del tallo de la *Moringa*, con respecto al crecimiento en altura, cuando mejoraron las condiciones de porosidad y/o fertilidad del sustrato, asociadas a mayor confort en el cultivo. Alvarado-Ramírez et al. (2020) también obtuvieron ajustes de

regresión descendentes, para el crecimiento aéreo del cultivo (en altura), coincidiendo el punto máximo cercano a 50.000 plantas·ha⁻¹.

A partir de la morfometría primaria cuantificada no logró evidenciarse un efecto directo de competencia por luminosidad, entre densidades, donde destacó más el factor suelo como limitante del crecimiento aéreo proporcional (altura:diámetro); esto aunado a que el cultivo de moringa tendió a mantener un crecimiento ortotrópico indeterminado, indistintamente fuera su situación ambiental (Alonso et al., 2021).

Morfometría de rama

En la tabla 2, se muestran los valores promedio de morfometría de rama: longitud de rama, diámetro basal de rama, número de hojas y altura a la primera rama, de acuerdo a la densidad de siembra empleada. El análisis estadístico no detectó diferencias para las variables longitud de rama, diámetro basal de rama y número de hojas por rama; no obstante, la variable altura a la primera rama presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Se obtuvo valores de longitud de rama que variaron entre $6,65 \pm 1,80$ y $10,30 \pm 2,06$ cm; para la variable diámetro basal de rama los valores oscilaron entre $3,45 \pm 0,43$ y $4,14 \pm 0,41$ mm; para el número de hojas por rama se reportaron valores entre $5,03 \pm 0,94$ y $6,05 \pm 0,63$. Estos resultados fueron inferiores a los registrados por Ledea-Rodríguez et al. (2018) que en densidad de siembra de 80.000 plantas·ha⁻¹ y frecuencia de corte de 60 días, presentaron valores en diámetro basal de rama y número de hojas por rama de 11 mm y 11 hojas·rama⁻¹, respectivamente.

Tabla 2. Morfometría de ramas de *Moringa* sembrada a diferentes densidades.

Morfometría de rama ($\bar{X} \pm EE$)				
Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Longitud de rama (cm)	Diámetro basal de la rama (mm)	Número de hojas por rama	Altura a la primera rama (cm)
16.000	$6,65 \pm 1,80$	$4,08 \pm 0,76$	$5,67 \pm 0,48$	$19,56 \pm 5,43$
20.000	$7,72 \pm 0,89$	$3,45 \pm 0,43$	$5,48 \pm 0,49$	$27,09 \pm 3,21$
26.666	$6,72 \pm 1,33$	$3,92 \pm 0,97$	$5,03 \pm 0,94$	$25,14 \pm 2,25$
40.000	$10,30 \pm 2,06$	$4,14 \pm 0,41$	$6,05 \pm 0,63$	$33,05 \pm 1,25$
80.000	$9,94 \pm 1,66$	$4,03 \pm 0,41$	$5,44 \pm 0,30$	$29,53 \pm 2,41$
P valor	0,4490	0,9413	0,8203	0,0120
Promedio	$8,26 \pm 1,54$	$3,92 \pm 0,59$	$5,53 \pm 0,56$	

En la figura 2 se observa la tendencia obtenida en la regresión con ajuste cuadrático ($R^2 = 0,81$), exhibiendo una curva convexa creciente, con incremento de altura a la primera rama desde la densidad 16.000 plantas·ha⁻¹ hasta la densidad 55.610 plantas·ha⁻¹ (punto máximo $Y = 34,62$ cm) y posterior descenso.

El aumento en altura de la primera rama con el incremento de la densidad de siembra pudiese interpretarse como una respuesta fisiológica de la planta ante las condiciones de competencia por luz y espacio en la parcela, donde a medida que aumentó la población del cultivo hubo menos disponibilidad lumínica y espacial por planta, por lo cual el rebrote se espera tienda a

aparecer en zonas superiores del tallo (Lago-Abascal et al., 2024); sin embargo, si este fuese el caso, el modelo de regresión esperado sería lineal, y las densidades más altas reportarían elevación continua de la variable, lo cual no sucedió. En cambio, este ascenso inicial en la curva, pareciera estar asociado a las tendencias de altura y diámetro obtenidas en el índice de robustez, donde la planta al presentar mayor crecimiento proporcional en altura, tendió a elevar la ubicación de los rebrotes.

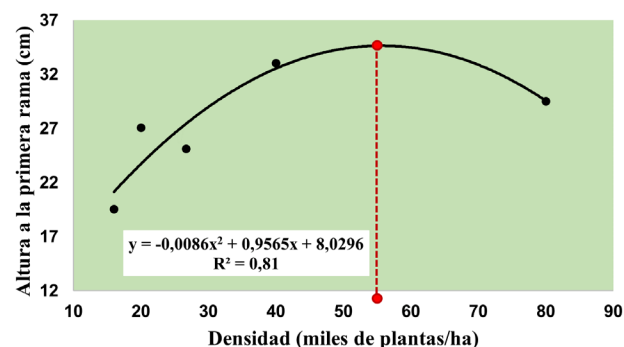


Figura 2. Altura a la primera rama (cm) de acuerdo con la densidad del cultivo de *Moringa*. La línea punteada en rojo, representa el punto de máxima para la altura del rebrote basal (cm).

El descenso en altura de la primera rama en las parcelas de mayor densidad pudo atribuirse a un efecto compensatorio debido al mejor desarrollo radical de estas plantas en un sustrato menos compactado, lo que permitió a la planta la formación de mayor follaje haciéndola menos sensible a la competencia lumínica y espacial asumida (Alonso et al., 2021; Romero-Marcano et al., 2021).

Morfometría de la hoja

En la tabla 3, se presentan los valores de morfometría de la hoja: longitud de hoja y ancho mayor de hoja, de acuerdo a las densidades de siembra estudiadas. El análisis estadístico no detectó diferencias en ninguna de las variables morfométricas de la hoja. La longitud de hoja reportó valores entre $9,25 \pm 2,61$ y $11,65 \pm 0,88$ cm; por su parte, el ancho mayor de hoja registró valores entre $5,23 \pm 1,46$ y $8,25 \pm 0,53$ cm.

Alvarado-Ramírez et al. (2020) registraron longitudes de hoja de 4,44; 20,43 y 19,49 cm en plantación experimental de *Moringa* con tres densidades de siembra 50.000, 100.000 y 200.000 plantas·ha⁻¹, respectivamente, con intervalos de corte de 28 días. La comparación directa indicó que todas las longitudes de hoja encontradas en esta investigación, lograron superar ampliamente el valor citado en la densidad de 50.000 plantas·ha⁻¹, esto debido al manejo de intervalos de corte más prolongados (90 días).

De manera general la falta de diferencias significativas en las variables de crecimiento aéreo del cultivo de *Moringa* resultó una constante experimental; autores como Ledea-Rodríguez et

al. (2018) y Barrios-Gómez et al. (2022) constataron este mismo comportamiento en condiciones de campo, lo cual fue atribuido principalmente al crecimiento acelerado de la especie *M. oleifera*, particularidad genética que se expresó indistintamente fuera la condición ambiental (Alonso et al., 2021).

Tabla 3. Morfometría de la hojas de *Moringa* sembrada a diferentes densidades.

Densidad (plantas·ha ⁻¹)	Morfometría de hoja en cm (X±EE)	
	Longitud de hoja	Ancho mayor de hoja
16.000	9,25±2,61	5,23±1,46
20.000	9,94±0,23	7,12±0,45
26.666	8,97±1,51	6,90±1,97
40.000	11,65±0,88	8,25±0,53
80.000	11,31±1,25	7,68±1,40
P valor	0,5764	0,4977
Promedio	10,22±1,29	7,03±1,16

De manera general la falta de diferencias significativas en las variables de crecimiento aéreo del cultivo de *Moringa* resultó una constante experimental; autores como Barrios-Gómez et al. (2022) y Ledea-Rodríguez et al. (2018) constataron este mismo comportamiento en condiciones de campo, lo cual fue atribuido principalmente al crecimiento acelerado de la especie *M. oleifera*, particularidad genética que se expresó indistintamente fuera la condición ambiental (Alonso et al., 2021).

Correlaciones morfométricas

El análisis estadístico de asociación entre las variables morfométricas detectó correlación significativa y altamente significativa en 10 combinaciones, donde participaron las variables altura de planta, altura a la primera rama, número de ramas·planta⁻¹, número de hojas·rama⁻¹, diámetro de rama, longitud de rama, longitud de hoja y ancho mayor de hoja, descritas a continuación de forma detallada.

Correlación entre la altura de planta vs. altura a la primera rama y longitud de hoja. La variable presentó valores positivos, altamente significativos con respecto a las variables altura del primer rebrote y longitud de hoja (0,83** y 0,74** respectivamente), lo que indicó que a medida que aumentó la altura de la planta también aumentaron los valores de altura a la primera rama y de longitud de hoja (figura 3).

Debido a que la planta de *Moringa* priorizó el crecimiento en longitud (principalmente en su eje vertical) con tasas de crecimiento aproximadas a 23 mm·día⁻¹ (Valdés-Rodríguez et

al., 2018), la elongación del tallo provocó que las brotaciones inferiores se ubicaran a mayor altura en el tallo de la planta, y aparentemente tal estímulo de elongación puede extenderse hasta el crecimiento en longitud de la hoja.

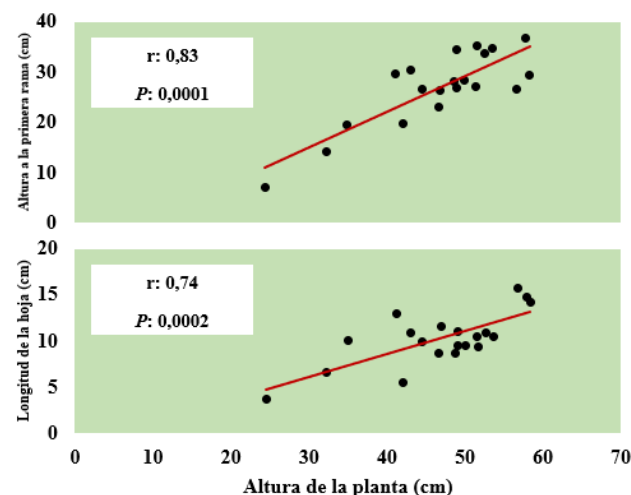


Figura 3. Correlaciones entre las variables morfométricas: altura de la planta en cm (eje X) vs altura a la primera rama en cm (a) y longitud de la hoja en cm (b).

Tal comportamiento de asociación entre altura de planta y medidas relacionadas con la hoja, se evidenció en ensayo realizado por Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2019) que obtuvieron correlación positiva, y altamente significativa entre la altura de la planta y el área foliar ($r = 0,90^{**}$) en plantas adultas de solanáceas. Entretanto, Barrios-Gómez et al. (2022) mostraron correlaciones positivas y altamente significativas entre la variable rendimiento total de biomasa aérea con respecto a la altura de planta y rendimiento total de hoja, en plantas de moringa establecidas en alta densidad.

El análisis del grado de asociación entre el número de ramas·planta⁻¹ vs. número de hojas·rama⁻¹: se observó correlación negativa altamente significativa con respecto a la variable número de hojas·planta⁻¹ ($-0,74^{**}$) se pudo observar que a medida que aumentó el número de ramas·planta⁻¹ disminuyó el número de hojas·rama⁻¹ (figura 4).

La relación estadística podría ser interpretada en respuesta a un efecto compensatorio de carácter genético donde se regula el área foliar fotosintéticamente activa del cultivo en las diferentes densidades de siembra.

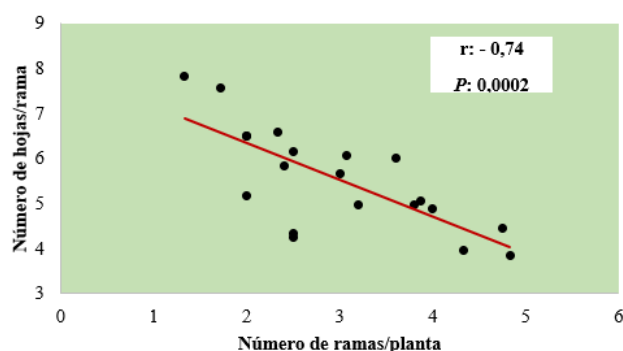


Figura 4. Correlación entre las variables morfométricas: número de ramas.planta⁻¹ vs número de hojas.rama⁻¹.

Relación entre el grado de asociación entre el diámetro de rama vs. longitud de rama, número de hojas.rama⁻¹, longitud de la hoja y ancho de la hoja. La variable diámetro de rama mostró correlación positiva altamente significativa con las variables longitud de rama, número de hojas.rama⁻¹, longitud de la hoja y ancho de la hoja (0,75**; 0,71**; 0,77** y 0,75** respectivamente), lo que indicó que al aumentar el diámetro de la rama también aumentó la longitud de la rama, el número de hojas.rama⁻¹, la longitud de la hoja y el ancho de la hoja (figura 5).

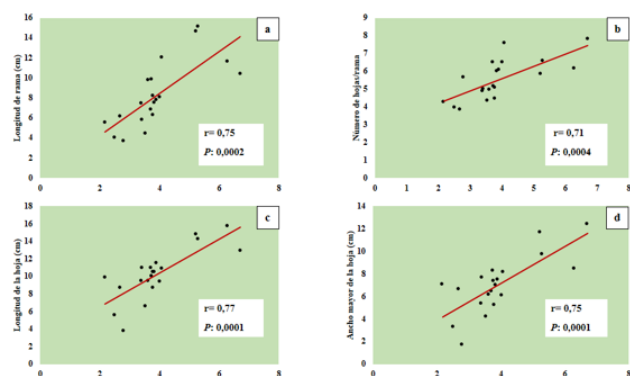


Figura 5. Correlaciones entre las variables morfométricas: diámetro de rama en mm (Eje X) y longitud de rama en cm (a); número de hojas.rama⁻¹ (b); longitud de la hoja en cm (c) y ancho mayor de la hoja en cm (d)

El comportamiento de la planta entendido desde el punto de vista estadístico indica una estrecha y acelerada relación fisiológica en la moringa, entre la formación de tejido fotoactivo y el desarrollo de estructuras semi leñosas en el arbusto, al corresponder una condición de engrosamiento de tallos y ramas, con la expansión foliar de la copa, tal como lo argumentaron Garate-Quispe et al. (2022) en correlaciones positivas similares referidas en plantas forestales.

Relación entre la longitud de rama vs. longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja. La variable longitud de rama presentó correlación positiva altamente significativa con respecto a las variables longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja (0,83** y 0,80**, respectivamente); se pudo evidenciar que a medida que

aumentó la longitud de rama, se incrementaron los valores de longitud de la hoja y ancho mayor de la hoja (figura 6).

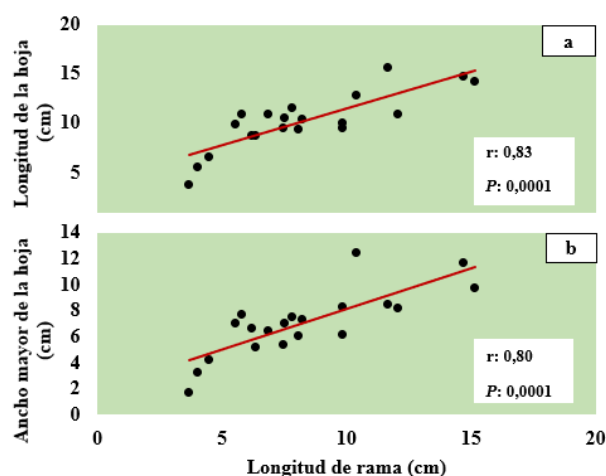


Figura 6. Correlaciones entre las variables morfométricas: longitud de rama en cm (eje X) vs longitud de la hoja en cm (a) y ancho mayor de la hoja en cm (b).

El patrón biológico describió la condición fenológica del cultivo donde las dimensiones de las ramas obviamente estuvieron vinculadas con las dimensiones foliares, al considerar que el follaje de moringa presentó niveles elevados de zeatina (familia de las citoquininas), el crecimiento de ramas y hojas puede ser permanentemente estimulado por estos fitoreguladores, tal como lo afirmaron Ortiz-Rojas et al. (2017).

El análisis de correlación entre la longitud de la hoja vs. ancho mayor de la hoja, indicó que la variable longitud de hoja presentó valor positivo, altamente significativo, con respecto a la variable ancho mayor de hoja (0,88**), tales hallazgos indicaron que al aumentar la longitud de hoja, el ancho mayor aumentó de manera proporcional (figura 7).

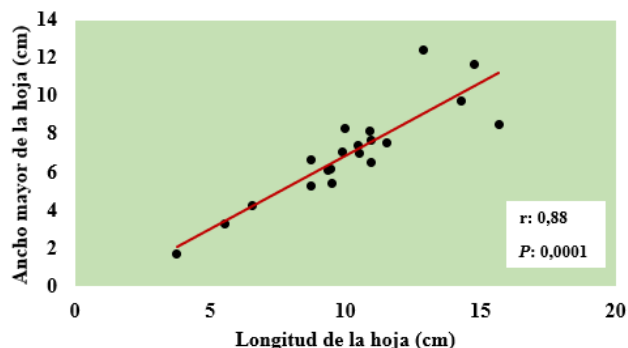


Figura 7. Correlación positiva entre las variables morfométricas: longitud de la hoja en cm y ancho mayor de la hoja en cm.

Se trata de una posible relación de proporcionalidad controlada desde el punto de vista genético y fisiológico del cultivo de la *Moringa* en las condiciones de manejo de densidades de siembra de la especie. Siendo la hoja de *Moringa*, rica en citoquininas, entre las funciones de este fitoregulador, se encuentra la división celular y la morfogénesis de los tejidos, con participación en la defensa contra estreses abiótico y biótico, en la propagación *in vitro* de plantas y en el aumento del rendimiento de los cultivos (Borjas-Ventura et al., 2020).

Comportamiento similar entre longitud y ancho mayor de la hoja fue observado por Del Castillo-Batista et al. (2017) que presentaron valores de correlación positiva significativa ($r=0,77^{**}$), relacionando dichas variables morfométricas en plantas del género *Cestrum* (Familia Solanaceae).

Los hallazgos constatados en las condiciones experimentales en el bosque seco tropical, con relación a la inexistencia de diferencias para las variables de morfometría aérea primaria, de ramas y de hojas, indicaron que sus valores no estuvieron vinculados con las densidades de siembra evaluadas; aunque, el índice de robustez y la altura a la primera rama permitieron señalar alternativas válidas para seleccionar una mejor condición en la densidad de siembra. Las correlaciones morfométricas estudiadas, indicaron grado de asociación de las variables cuantificadas y describieron, en la mayoría de los casos, un crecimiento proporcional del follaje en función de la altura de la planta; además, de constatar que hubo un comportamiento inverso (compensatorio) entre el número de ramas por planta y el número de hojas por rama, que pudiese justificar la uniformidad del follaje ante diferentes circunstancias de comparación.

Conclusión

La densidad de siembra no afectó la mayoría de las variables morfométricas aéreas de la moringa, excepto el índice de robustez y la altura a la primera rama, con máximos coincidentes, cercanos a una densidad crítica de 50.000 plantas·ha⁻¹, influenciados por limitaciones físicas del suelo.

En el estudio de correlaciones morfométricas, la variable altura de planta se asoció positivamente con variables medidas en rama y en hoja; en contraste hubo asociación negativa entre el número de ramas·planta⁻¹ y el número de hojas·rama⁻¹, estas asociaciones involucran aspectos relacionados a la genética y fisiología del cultivo de moringa y sobretodo el hábito de crecimiento vertical a tasas elevadas.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

- Alonso Lazo, J., Do Rosario Vieira, I. T., Ferreira Rabelo Fernandes, M., Rocha, L. M., De Paiva Ferreira, G. A., Zuba Junio, G. R., Tuffi Santos, L. D. y Arruda Sampaio, R. (2021). Crecimiento y desarrollo de posturas de *Moringa oleifera*, producidas en sustratos con lodo de alcantarilla y estiércol bovino. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 55(2), 237-246. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802021000200011&lng=es&tng=es.
- Alvarado Ramírez, E. R., Garay Martínez, J. R., Estrada Drouaillet, B., Martínez González, J. C., Rojas García, A. R. y Joaquín Cancino, S. (2020). Variación morfológica en *Moringa oleifera* Lam. a diferentes densidades de población. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 166-176. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2367>
- Barrios-Gómez, E. J., Rangel-Estrada, S. E., Canul-Ku, J., Hernández-Arenas, M., Hernández-Meneses, E. y González-Pérez, E. (2022). Evaluación morfológica de seis grupos de moringa formados a partir de una población. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(2), 2034-2049. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/48213>.
- Borjas-Ventura, R., Julca-Otiniano, A. y Alvarado-Huamán, L. (2020). Las fitohormonas una pieza clave en el desarrollo de la agricultura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2). DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2020.080200150>.
- Cabeza, R. A. y Claassen, N. (2017). Sistemas radicales de cultivos: extensión, distribución y crecimiento. *Agro Sur*, 45(2), 31-45. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/5894>.
- Carrión Delgado, J. M., Valdés Rodríguez, O. A., Gallardo López, F. y Palacios Wassenaar, O. M. (2022). Potencial agroecológico de *Moringa oleifera* Lam. para el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 42-63. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1077>.
- Climate.Data.Org. (2023). Maturín. <https://es.climatedata.org/search/?q=maturin>.

- Del Castillo-Batista, A. P., Ponce-Saavedra, J. y Montero-Castro, J. C. (2017). Análisis morfométrico de *Cestrum guatemalense*, *C. mexicanum* y *C. pacayense* (Solanaceae). *Rev. Mex. Biodiv.*, 88(1), 56-64. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5876454>.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2020). INFOSTAT versión 2020. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. <http://www.infostat.com.ar>. (Acceso 18.11.2023).
- Elizondo Cabalceta, E. y Monge Pérez, J. E. (2019). Pimiento (*Capsicum annuum*) cultivado bajo invernadero: correlaciones entre variables. *Posgrado y Sociedad*, 17(2), 33-60. DOI: <https://doi.org/10.22458/rpys.v17i2.2278>.
- Garate-Quispe, J., Usca-Mandujano, M., Herrera-Machaca, M. y Alarcón-Aguirre, G. (2022). Efecto del espaciamiento de plantación en la morfometría de copa de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castaña) en la Amazonía Peruana. *Información Tecnológica*, 33(3), 179-188. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000300179>.
- Hernández Rodríguez, J. e Iglesias Marichal, I. (2022). Efectos benéficos de la *Moringa oleifera* en la salud de las personas. *Rev. Cuba. Med. Gen. Integr.*, 38(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252022000100017&lng=en&tlng=en.
- Korsor, M., Ntahonshikira, C., Bello, H. M. y Kwaambwa, H. M. (2019). Rendimiento del crecimiento de *Moringa oleifera* y *Moringa ovalifolia* en el entorno de pastizales semiáridos del centro de Namibia. *Ciencias Agrícolas*, 10, 131-141. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2019.102011>.
- Lago-Abascal, V., Matos-Oliveros, S., Almora-Hernández, E., Pereira-Cuní, L., Monteagudo-Borges, R. y Rodríguez-Jiménez, E. (2024). Evaluación de diferentes densidades de cultivo de *Moringa oleifera* y su manufactura como suplemento nutricional. *Ingeniería Agrícola*, 14(1). <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1830>.
- Ledea-Rodríguez, J. L., Alonso, G. R., Benítez-Jimenez, D. G., Crucito-Arias, R., Ray-Ramírez, J. V., Nuviola-Pérez, Y. y Reyes-Pérez, J. J. (2018). Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de *Moringa oleifera*, variedad *Criolla*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 425-431. <https://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.30436>.
- Motis, T. N. and Reader, S. M. (2019). *Moringa oleifera* leaf production with NPK fertilizer and composted yard waste. *Acta Hort.*, 1253, 405-412. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1253.53>.
- Navas Panadero, A. (2019). Bancos forrajeros de *Moringa oleifera*, en condiciones de bosque húmedo tropical. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 207-218. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v20n2/0122-8706-ccta-20-02-00207.pdf>.
- Ortiz-Rojas, L. Y., Suárez-Botello, J. C. y Chaves-Bedoya, G. (2017). Respuesta en el desarrollo radicular de *Arabidopsis thaliana* al extracto foliar de *Moringa oleifera*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 193-199. Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6131>.
- Rodríguez-Ortiz, G., José-Hernández, Y., Enríquez-Del Valle, J. y Campos-Angeles, G. (2021). Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. CIENCIA ergo-sum, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 28(1). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10464915007>.
- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R. y Maza, I. J. (2021). Calidad morfológica en plántulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) producidas en sustratos compuestos de suelo y estiércol animal. *Revista Ciencia UNEMI*, 14(35), 54-72. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/1090>.
- Romero-Marcano, G., Silva-Acuña, R. y Sánchez-Cuevas, M. C. (2022). Fitopatógenos fúngicos asociados a semillas de moringa en el estado Monagas, Venezuela. *La Calera*, 22(39), 118-126. DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v22i39.15094>.
- Ruiz-Hernández, R., Pérez-Vázquez, A., García-Pérez, E., Landeros-Sánchez, C., Morales-Trejo, F. y Soto-Hernández, R. M. (2021). Caracterización morfológica de accesiones de *Moringa oleifera* provenientes del sur-sureste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7), 1209-1222. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2632>.
- Sánchez-Santillán, P., Rivera-Cristobal, C., Torres-Salado, N., Almaraz-Buendía, I. y Herrera-Pérez, J. (2022). Características químicas y fermentativas in vitro de dietas para becerros con inclusiones crecientes de vaina y hojas de *Moringa oleifera*. *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*, 23(3), e2685. DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2685.
- Silva-Araujo, E. y Mirás-Avalos, J. M. (2024). Densidad aparente. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Zaragoza, España. <https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/6722/8/Densidad.pdf>.
- Sosa-Rodríguez, A. A., Ledea-Rodríguez, J. L., Estrada-Prad, W. y Molinet-Salas, D. (2017). Efecto de la distancia de siembra en variables morfoagronómicas de moringa (*Moringa oleifera*). *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 207-212. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637016>.



Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., Ruíz-Hernández, R. y Pérez-Vásquez, A. (2018). Potencial de la asociación *Moringa* y *Ricinus* en el subtrópico

veracruzano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(9), 1673-1686. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i9.1056>.

Declaración de contribución a la autoría según CRediT

Raúl E. Granado Gimón: investigación, metodología, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Guillermo S. Romero Marcano:** conceptualización, supervisión, curación de datos, análisis formal, redacción-borrador original, redacción-revisión y edición. **Ramón Silva Acuña:** conceptualización, metodología, análisis formal, redacción-revisión y edición final. **Rodolfo J. González Betancourt:** investigación, metodología, supervisión, redacción-revisión y edición.