



CRECIMIENTO, DESARROLLO Y CALIDAD DE PLÁNTULAS DE *Moringa oleifera* (Lamark) INOCULADAS CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL †

[GROWTH, DEVELOPMENT AND QUALITY OF *Moringa oleifera* (Lamark) SEEDLINGS INOCULATED WITH PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA]

José Leonardo Ledea-Rodríguez¹, Juan José Reyes-Pérez²,
Thelma Castellanos¹, Carlos Angulo¹, Teodoro Reynoso-Granados¹
and Lilia Alcaraz-Meléndez^{1*}

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR). Instituto Politécnico Nacional. N° 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, México. e-mail: lalcaraz04@cibnor.mx

²Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Av. Quito. Km 1 ½ vía a Santo Domingo. Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The *Moringa* genus is made up of thirteen species and is characterized by its rapid growth. Studies relating to gender in association with plant growth promoting bacteria (PGPB) are limited. **Objective:** To evaluate the growth, development, and quality of *Moringa oleifera* Lam seedlings inoculated with plant growth promoting bacteria under greenhouse conditions. **Methodology:** The following were defined as treatments: *Bacillus niacini*; *B. cereus*, *Moraxela osloensis*, *Azospirillum brasilense* (positive control) and an absolute control, which were arranged in a completely randomized design with four replications. **Results:** Bacterial inoculated promoted an increase in the number of leaves per plant, standing out *A. brasilense* (10.8), *M. osloensis* (11.45) and *B. cereus* (11.05) ($P \leq 0.001$). The plants inoculated with *B. cereus* produced 0.80 t DM ha⁻¹ of leaves and in whole plant 12.92 t DM ha⁻¹, a value higher than that promoted by the rest of the inoculated ($P \leq 0.01$), all stimulated leaf development with respect to the absolute control ($P \leq 0.001$), and only *A. brasilense* and *B. niacini* favored the length and thickness ($P \leq 0.01$) of the roots. **Implications:** The application of the bacterial inoculated referred to in concentrations of 10⁷ CFU mL⁻¹ is recommended to promote the production of aerial biomass of *Moringa* plants under greenhouse conditions. **Conclusion:** Bacterial inoculated promoted morphological modifications in plants that favored growth, leaf quantity and the proportion of aerial biomass with respect to the root, but to a small extent in the accumulation of DM. According to the Dickson index, the inoculated plants were of quality.

Key words: Moringaceae; growth rates; seedling quality; PGPB.

RESUMEN

Antecedentes: El género *Moringa* está constituido por trece especies y se caracteriza por su rápido crecimiento. Los estudios que relacionan al género en la asociación con bacterias promotoras del crecimiento (PGPB) son limitados. **Objetivo:** Evaluar el crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de *Moringa oleifera* Lam inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento en condiciones de invernadero. **Metodología:** Se definieron como tratamientos: *Bacillus niacini*; *B. cereus*, *Moraxela osloensis*, *Azospirillum brasiliense* (control positivo) y un control absoluto, los cuales fueron dispuestos en un diseño completamente aleatorio con cuatro repeticiones. **Resultados:** Los inóculos bacterianos promovieron el incremento del número de hojas por planta, destacándose *A. brasiliense* (10.8), *M. osloensis* (11.45) y *B. cereus* (11.05) ($P \leq 0.001$). Las plantas inoculadas con *B. cereus* produjeron 0.80 t MS ha⁻¹ de hojas y en planta íntegra 12.92 t MS ha⁻¹, valor superior al promovido por el resto de los inóculos ($P \leq 0.01$), todos estimularon el desarrollo foliar respecto al control absoluto ($P \leq 0.001$), y solo *A. brasiliense* y *B. niacini* favorecieron la longitud y el grosor ($P \leq 0.01$) de las raíces. **Implicaciones:** Se recomienda la aplicación de los inóculos bacterianos a los que se hace referencia en concentraciones de 10⁷ UFC mL⁻¹ para promover la producción de biomasa aérea de plantas de *Moringa* en condiciones de invernadero. **Conclusión:** Los inóculos bacterianos promovieron modificaciones morfológicas en las plantas que favorecieron el crecimiento, la cantidad de hojas y la proporción de biomasa aérea respecto a la raíz, pero en poca medida en la acumulación de MS. De acuerdo con el índice de Dickson las plantas inoculadas fueron de calidad.

Palabras claves: Moringácea; tasas de crecimiento; calidad de plántulas; PGPB.

† Submitted April 7, 2020 – Accepted May 19, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

INTRODUCCIÓN

El interés en la producción de cultivos con potencial antioxidante, con propiedades medicinales y que compensen diferencias alimentarias en grupos etarios específicos se está incrementando a nivel mundial con énfasis en países en vías de desarrollo, y como estilo de vida en países más desarrollados (Kou *et al.*, 2018a).

Sin embargo, cultivos con estas potencialidades en climas áridos son limitados por las propias exigencias del ecosistema, Behrman (1974) resaltó la importancia de desarrollar trabajos investigativos con el fin de conocer mejor las exigencias de los ecosistemas áridos y semiáridos; y de esta forma mejorar el desarrollo sostenible de recursos vegetales con características funcionales y propiedades nutraceuticas en zonas áridas del planeta.

Los árboles y arbustos que se encuentran dentro del género *Moringa* son considerados caducifolios perennes y de rápido crecimiento en el primer año (Bécquer *et al.*, 2018) pocas exigencias desde el punto de vista agro técnico para su cultivo—y se reproduce por semilla básica (gámica) o esquejes (semillas agámica). Dentro de este género existen 13 especies, donde la *Moringa oleifera* Lamark es la más difundida por su alto valor nutricional, perfil de aminoácidos, compuestos antioxidantes y contenido mineral, lo que ha conllevado a que se le preste especial atención para el aprovechamiento de propiedades nutraceuticas y antioxidantes de las hojas, mismas que poseen propiedades medicinales (Kou *et al.*, 2018b).

En el período de crecimiento se ha observado que la mayor acumulación de biomasa ocurre entre los 45 y 60 días, lo que favorece la producción de hojas respecto a los tallos (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2017). Para aprovechar las bondades de esta planta, se han establecido diferentes sistemas de manejo agronómico en climas tropicales principalmente, como la siembra en altas densidades, cortes en diferentes intervalos de tiempo o empleo en diferentes estados fenológicos (Foidl y Mayorga, 2003), estrategias que conllevan paulatinamente a la pérdida de plantas ya que la intensificación del sistema de cultivo propicia competencia por nutrientes, luz y espacio vital entre las plantas (Zheng *et al.*, 2016).

Para mitigar los efectos de las pérdidas de semillas se han desarrollado alternativas para el cultivo en condiciones de vivero, que han incluido sustratos sin tierra, como el aserrín y cáscaras de arroz, los cuales proporcionan un ambiente propicio para la germinación de semillas y la emergencia de las plántulas (Duarte-Aguilar y Mendieta-Araica, 2014).

Para el crecimiento temprano de las plántulas se ha utilizado la mezcla de sustratos (paja de arroz, aserrín) y otros del tipo comercial, para combinarlos con estiércol de origen animal, fertilizantes químicos y la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos (Barrios, 2013). También se ha empleado microorganismos, como es el caso de las bacterias promotoras del crecimiento, las cuales promueven la protección contra el ataque de patógenos y el crecimiento (Zayed, 2012), añadiéndole vigor y resistencia por los efectos hormonales y favoreciendo la disponibilidad de nutrientes a la planta (Zebboudj *et al.*, 2014).

Las respuestas que muestran las plantas al ser inoculadas con PGPB, pueden ser utilizadas para obtener plántulas de calidad en condiciones de invernadero e implementar sistemas de cultivos en climas semiáridos (Villalón *et al.*, 2016); Ede *et al.*, (2015) definieron a los indicadores morfológicos y fisiológicos como óptimos para valorar la calidad de una plántula producida en condiciones de vivero y/o invernadero, mientras que Toral e Iglesias (2012), señalaron a la respuesta agronómica, productiva e indicadores de crecimiento como un complemento importante entre los atributos que se deben considerar en el proceso de evaluación de especies arbóreas.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento, desarrollo y calidad de plántulas de *Moringa oleifera* Lam inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las semillas de *Moringa oleifera* se colectaron en las coordenadas LAT 24° 07'45.47" y LON 110° 20'14.72" en el estado de Baja California Sur, La Paz, México.

La cosecha de las semillas se realizó tres meses antes de su uso, trasladando los frutos al laboratorio de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), entre los 24°08'10.03 LN y 110°25'35.31 LO al noroeste de la ciudad de La Paz.

Condiciones de experimentación

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Biotecnología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), México (24°08'10.03 LN y 110°25'35.31 LO) en invernadero con condiciones controladas de temperatura y humedad. La temperatura se registró mediante un

HOBO 8K Pendant, parte UA-001-08, y la humedad relativa mediante un hidrómetro digital VEE GEE.

Las variaciones de temperatura y humedad relativa se monitorearon durante toda la experimentación cada seis horas para cada variable partir de las 6:00 am, arrojando valores promedios en la madrugada, mañana, tarde y noche de 22.8 ± 0.2 ; 22.6 ± 0.03 ; 31.5 ± 0.43 y 23.8 ± 0.22 °C; y 66.3 ± 1.44 ; 69.6 ± 1.54 ; $70.4 \pm 1.70\%$, en orden.

Se prepararon cajas de plástico (58.2 x 37.3 x 13 cm) que fueron permeabilizadas con polietileno para mantener la humedad de las plantas. En cada caja se colocaron 15 bolsas de polietileno (18 x 26 cm) llenas de sustrato SOGEMIX-PGM® a base de turba de *Sphagnum* de granulación fina, humectado previamente durante 24 horas.

En las posteriores 24 horas del llenado de las bolsas se aplicó riego directamente dentro de estas y a cada caja de plástico se añadieron nueve litros de agua corriente para garantizar la humedad del sustrato, este procedimiento se repitió cada seis días durante todo el experimento disminuyendo el volumen a tres litros de agua por cada caja de plástico, asegurando de esta manera la humedad del sustrato durante el proceso de crecimiento de las plantas.

Tratamientos y diseño experimental

Se definieron como tratamientos (Trat) bacterias promotoras del crecimiento, estas se distribuyeron en un diseño completamente aleatorio con cuatro réplicas. Se ubicó al *Bacillus niacini* como tratamiento 1 (Trat 1); *Moraxella osloensis* (Trat 2); *Bacillus cereus* (Trat 3); *Azospirillum brasilense* “Control positivo” (Trat 4) y Control absoluto “Sin aplicación de bacterias” (Trat 5).

Cepas bacterianas

Las cepas *Bacillus niacini* y *Moraxella osloensis* se aislaron de suelo, *Bacillus cereus* de rizósfera de albahaca en Baja California Sur (Aguilar, 2014). *Azospirillum brasilense* se obtuvo de la Colección Alemana de Microorganismos (DSMZ, siglas en alemán) (DSM 1843). Todas las cepas se encontraban en crio preservación en medio Agar extracto de levadura y manitol (YMA) 0 -20 °C. La preparación del inóculo bacteriano se desarrolló en el laboratorio de Ecología Microbiana Molecular del CIBNOR.

Preparación de los inóculos y aplicación

El cultivo madre para cada inóculo se colocó en una incubadora con agitación continua a 150 rpm y 30 °C durante 24 horas. Los conteos de UFC se realizaron

por diluciones sucesivas hasta alcanzar para cada cepa bacterianas 1×10^7 UFC mL⁻¹.

Se desarrollaron los cálculos para mantener las UFC en el volumen total del inóculo a aplicar, y de este se añadieron 25 mL en la base del tallo de cada plántula, las aplicaciones comenzaron al observarse el 98% de germinación y se repitieron cada siete días por cuatro ocasiones dentro del ciclo de crecimiento.

Mediciones en las plantas

Variables Morfológicas

Por cada réplica correspondiente a cada tratamiento se ubicaron quince plantas, de estas, para las mediciones morfológicas, se seleccionaron de forma aleatoria cinco por réplica antes de la aplicación de los inóculos, para un total de veinte plantas por cada tratamiento. En cada planta se midió la altura (cm) (contemplada desde la base del tallo hasta la yema apical) antes de la primera aplicación del inóculo, y cada cinco días hasta completar los 45 días.

A los 45 días se separaron las plantas y se les cuantificó el número de hojas por planta y el grosor del tallo medido con un vernier digital a cinco centímetros por encima del cuello de la raíz.

Se midió la longitud de la raíz desde el cuello hasta la cofia, y con los valores de longitud del tallo y de raíz se calculó la relación tallo/raíz. Para el cálculo del índice de robustez se integraron las variables altura de la planta y diámetro del cuello de la raíz mediante la ecuación propuesta por Torres, Barberis y Lewis (1995):

$$IR = \frac{\text{Altura de la planta (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}}$$

Se separaron las hojas, tallos y raíz en cada réplica dentro de cada tratamiento y se introdujeron en una estufa de circulación de aire a 35 °C hasta peso constante. El peso seco de cada fracción se utilizó para el cálculo de índices de calidad en base a proporción de biomasa (PB), proporción de hojas (PPH), proporción de tallos (PPT), proporción de raíz (PPR) según las recomendaciones de Villar *et al.*, (2004) mientras que el índice de Dickson (ID) e índice de lignificación (IL) se calcularon según lo descritos por Dickson, Leaf y Hosner (1960) y Villalón *et al.*, (2016), respectivamente, los cuales se relacionan a continuación:

$$\text{Proporción de biomasa (PB)} = \frac{\text{Biomasa aérea (BMA)}}{\text{Biomasa de raíz (BMR)}}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporción de hojas (gr}_{\text{(hojas)}} \text{ gr}_{\text{(planta)}}^{-1}) \text{ (PPH)} \\ = \frac{\text{Peso de hojas}_{\text{(gr)}}}{\text{Peso de planta}_{\text{(gr)}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporción de tallos (gr}_{\text{(tallos)}} \text{ gr}_{\text{(planta)}}^{-1}) \text{ (PPT)} \\ = \frac{\text{Peso de tallos}_{\text{(gr)}}}{\text{Peso de planta}_{\text{(gr)}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporción de raíz (gr}_{\text{(raíz)}} \text{ gr}_{\text{(planta)}}^{-1}) \text{ (PPR)} \\ = \frac{\text{Peso de raíz}_{\text{(gr)}}}{\text{Peso de planta}_{\text{(gr)}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Índice de Dickson (ID)} \\ = \frac{\text{Masa seca total}_{\text{(gr)}}}{\frac{\text{Altura}_{\text{cm}}}{\text{Diámetro}_{\text{mm}}} + \frac{\text{Masa seca aérea}_{\text{gr}}}{\text{Peso de la raíz}_{\text{gr}}}} \end{aligned}$$

$$\text{Índice de Lignificación (IL)} = \frac{\text{Masa total seca}_{\text{gr}}}{\text{Masa total húmeda}_{\text{gr}}}$$

Variables productivas.

Rendimiento de Materia Seca (MS) de hojas y planta íntegra

Los valores de peso seco de hojas y tallos se utilizaron para determinar el porcentaje de MS según la siguiente ecuación:

$$\%MS = [(PF - PS)/PF]$$

Dónde: PF= Peso fresco de la muestra; PS= Peso seco de la muestra

A partir del peso fresco y las dimensiones de las charolas (0.1225 m²) se estimó el rendimiento de materia verde (MV) por metro cuadrado (m²), y este valor se multiplicó por el porcentaje de materia seca (MS) correspondiente, dividiéndose entre 100 para obtener el peso seco de la muestra (hojas y tallos), luego se extrapola el valor a una hectárea (10 000 m²) y de esta manera se obtuvo el rendimiento de hojas MS ha⁻¹. El rendimiento de la planta íntegra se obtuvo a partir de la sumatoria de los pesos secos de hojas y tallos.

Variables morfo fisiológicas

Al momento del corte (45 días) en la primera hoja imparipinnada se consideró el largo (cm) y ancho (promedio de la porción de la base, media y apical) mediante un vernier digital de 0.01 mm de precisión.

En cada tratamiento con los valores medios y longitudinales de las hojas se determinó el área de estas y se calculó el Área Foliar (AF) mediante ecuaciones de regresión múltiple. A partir del valor del AF se calculó: Duración del área foliar (DAF) e Índice de área foliar (IAF) según las consideraciones de Hunt y Hunt (1990):

$$\text{DAF} = (\text{AF}_2 + \text{AF}_1) - \left(\frac{\text{T}_2 - \text{T}_1}{2} \right)$$

$$\text{IAF} = \frac{\text{AF}_2 + \text{AF}_1}{2 \times \left(\frac{1}{S} \right)}$$

Dónde: AF=Área foliar; T₁= Inicio del crecimiento de la planta T₂=Al finalizar el experimento (45 días); S=área del suelo cubierta.

Las medidas de la altura de la planta tomadas cada cinco días después de la aplicación del primer inóculo, se utilizaron para estimar la Tasa de crecimiento absoluto (TCA) y Tasa de crecimiento relativo (TCR), mediante los procedimientos descritos por De Armas *et al.* (1988), y cuyas ecuaciones se identifican a continuación.

$$\text{TCA (cm día}^{-1}) = \left(\frac{A_2 - A_1}{T_2 - T_1} \right)$$

$$\text{TCR (cm cm}^{-1} \text{ día}^{-1}) = \left(\frac{A_2 - A_1}{T_2 - T_1} \right) \times \left(\frac{1}{A_2} \right)$$

Dónde: A=Altura; T=tiempo

Al relacionar el AF, el peso fresco de hojas, tallos, raíces y planta íntegra como sumatoria del peso de los órganos mencionados, se estimaron las siguientes variables (Villar *et al.*, 2004):

$$\begin{aligned} \text{Área Efectiva Foliar (AEF)} (\text{cm}_{\text{hojas}}^2 \text{ gr}_{\text{hojas}}^{-1}) \\ = \frac{\text{AF}_{\text{(cm}^2)}}{\text{Peso fresco de hojas}_{\text{(gr)}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de Asimilación Neta (TAN)} (\text{gr}_{\text{planta íntegra}} \text{ cm}_{\text{hojas}}^2 \text{ día}^{-1}) \\ = \frac{\text{AF}_{\text{(cm}^2)}}{\text{Peso fresco de la planta}_{\text{(gr)}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{La Razón de Área Foliar (LRA)} (\text{gr}_{\text{(hoja)}} \text{ gr}_{\text{(planta)}}^{-1}) \\ = \left[(\text{AF}_{\text{(hojas)}} \right. \\ \left. * \text{Peso de hojas}_{\text{(gr)}} \right) \times \left[(\text{gr}_{\text{(hojas)}} \right. \\ \left. * \text{gr}_{\text{(planta)}} \right) \end{aligned}$$

Análisis estadístico

Se procedió en un ANAVA unifactorial. El análisis estadístico de los datos se realizaron mediante el software Statistic v 12.0, para la comprobación de la

normalidad de los datos se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Massey, 1951) y para la homogeneidad de varianza las recomendaciones de Bartlett (1937). La comparación de media se desarrolló mediante la prueba de Tukey a 95% de intervalo de confianza.

Para la altura de la planta se procedió en un Análisis de Covarianza (ANACOVA), se consideró como covariable la altura de la planta antes de la aplicación de los tratamientos (inóculos bacterianos) y la variable dependiente la altura final (45 días). El análisis se desarrolló según el siguiente modelo matemático:

$$Y = \mu + T_i - b X_j + e_{ij}$$

Dónde: μ = promedio del modelo; T_i = i-ésimo tratamiento; b =constante del modelo; X_j =j-ésima altura; e = error de la estimación.

La estimación del AF se desarrolló a partir de ecuaciones de regresión múltiple mediante el siguiente modelo matemático:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} \dots \beta_k X_{ki} + \varepsilon_i$$

Dónde:

Y_i = representa AF como variable dependiente; β_0 = Y-intercepto o coordenada de origen; $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots \beta_k$ = Pendientes de la ecuación; X_{1i} = Representa el efecto medio del promedio de la variable largo de hoja; X_{2i} = Representa el efecto medio del promedio de la variable ancho de hoja; X_{3i} = Representa el efecto medio del promedio de la variable área de la hoja; $\beta_k X_{ki}$ = Recta de regresión de Y sobre $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$; ε_i = Error para cada variable independiente

RESULTADOS

Se observó que los inóculos bacterianos promovieron el crecimiento respecto al control absoluto, y que el *A. brasiliense* se diferenció de forma significativa ($P \leq 0.001$) del resto de los tratamientos. *B. niacini* fue la cepa que menos aportes tuvo en el incremento de la altura de la planta, pero de igual forma se diferenció ($P \leq 0.001$) del control absoluto (Tabla 1).

En la evaluación de la estructura de la planta (Tabla 2), se obtuvieron diferencias ($P \leq 0.001$) entre los tratamientos en el número de hojas y grosor de los tallos, los menores valores los promovió el *B. niacini*, estos fueron similares a los del control absoluto ($P \geq 0.05$).

El control positivo (*A. brasiliense*) compartió superíndices $P \geq 0.05$ con los inóculos bacterianos en las variables morfológicas. En la acumulación de MS de hojas y planta íntegra se diferenció ($P \leq 0.001$) del *B. cereus*, el cual promovió el mayor acumulado de MS, el control positivo y el resto de los inóculos bacterianos no se diferenciaron del control absoluto ($P \geq 0.05$).

Para los indicadores morfo fisiológicos foliares (Tabla 3), se observó que, todos los inóculos estimularon el incremento del área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), con la consecuente duración del área foliar (DAF). El *B. cereus* fue la única cepa que se diferenció ($P \leq 0.001$) del control positivo (*A. brasiliense*), compartiendo ($P \geq 0.05$) superíndices con el resto de los tratamientos, y estos, con el control absoluto, para las tasas de crecimiento absoluto (TCA) y relativo (TCR), el *A. brasiliense* fue el de mayor promedio ($P \leq 0.01$) respecto al control absoluto, pero sin diferencias con el resto de los inóculos bacterianos.

No se observaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) para las variables Área Foliar Específica (AFE), Tasa de Asimilación Neta (TAN), la razón área foliar (LRA) y proporción de hojas, pero si para la proporción de tallos, arrojando los mayores valores ($P \leq 0.01$) las plantas inoculadas con cepas de *A. brasiliense* y *B. cereus*, diferenciándose del control absoluto, mientras que, para la proporción de raíces, fue el control absoluto quien se diferenció ($P \leq 0.001$) de forma mayoritaria respecto a las plantas inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento.

Tabla 1. Análisis de covarianza para altura de la planta a los 45 días de edad.

Tratamientos	¹ Altura de planta (cm)	±EE	² Altura de planta (cm)	±EE	Significación de la regresión
<i>Bacillus niacin</i>	51.76	2.58	51.77 ^c	2.96	0.001
<i>Moraxella osloensis</i>	62.23	3.53	61.78 ^b	2.96	
<i>Bacillus cereus</i>	57.55	2.70	60.91 ^b	3.02	
<i>Azospirillum brasiliense</i>	68.70	4.06	67.17 ^a	2.97	
Control absoluto	44.94	3.76	43.54 ^d	2.97	

Altura de la planta¹ Corresponden a promedios reales.

Altura de la planta² Corresponde a promedios con valor de ajuste de 13.1, según ecuación de regresión del ANACOVA.

$P \leq 0.001$ Sugiere significación de ajuste del modelo regresión del ANACOVA.

±EE Error estándar para medias reales y ajustadas

Tabla 2. Morfología de hojas y tallo de plantas de *M. oleifera* inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento a los 45 días.

Tratamientos	Número de hojas por planta	Longitud de la hoja (cm)	Ancho medio de la hoja (cm)	Grosor del tallo (cm)	Relación Hoja/Tallo	Rendimiento de hojas (MS ha ⁻¹)	Rendimiento total (MS ha ⁻¹)
<i>Bacillus niacini</i>	9.2±1.96 ^{bc}	9.61±2.69	4.96±0.78	0.32±0.05 ^{bc}	67.30±21.62	0.29±0.0 ^b (1.42)	6.25±0.034 ^b
<i>Moraxella osloensis</i>	11.45±2.39 ^a	8.76±1.73	5.16±0.84	0.35±0.06 ^{ab}	78.41±22.47	0.30±0.0 ^b (1.42)	9.7±2.68 ^{ab}
<i>Bacillus cereus</i>	11.85±2.30 ^a	9.12±1.22	5.18±0.96	0.38±0.08 ^a	59.72±15.43	0.80±0.04 ^a (1.43)	12.92±3.43 ^a
<i>Azospirillum brasiliense</i>	10.8±1.91 ^{ab}	9.26±1.28	5.17±0.82	0.35±0.06 ^{ab}	57.89±8.48	0.30±0.0 ^b 1.42	7.17±0.37 ^b
Control absoluto	8.68±2.22 ^c	9.36±1.29	5.15±0.98	0.27±0.1 ^c	54.39±32.50	0.26±0.0 ^b (1.42)	5.52±1.14 ^b
P	0.001	0.64	0.93	0.001	0.68	0.01	0.01
±EE	0.38	0.080	0.001	0.062	19.05	0.0013	1.82

a, b, c Valores con superíndices de letras diferentes para cada columna se diferencian significativamente para $P \leq 0.05$ según Tukey

Valores entre paréntesis representan promedios transformados para $\sqrt{(x+1)}$

Al analizar la morfología de la raíz y otros indicadores asociados, se observaron modificaciones por el efecto de los inóculos bacterianos y los valores fueron poco contrastantes entre variables (Tabla 4).

Las plantas con mayor índice de robustez ($P \leq 0.01$) fueron aquellas que se inocularon con *A. brasiliense*, y esta compartió superíndices ($P \geq 0.05$) con las tratadas con *M. osloensis*, pero se diferenció ($P \leq 0.01$) del resto de los tratamientos, los cuales se asemejaron ($P \geq 0.05$) al control absoluto, mientras que para el diámetro del cuello de la raíz, las plantas inoculadas con *M. osloensis* y *B. cereus* se diferenciaron de forma significativa ($P \leq 0.001$) del control absoluto presentando los mayores diámetros, las plantas inoculadas con *B. niacini* y *A. brasiliense* compartieron superíndices, pero tampoco se diferenciaron ($P \geq 0.05$) del control absoluto (Tabla 4).

El LR y GR, los resultados fueron similares para ambas variables, el control absoluto presentó los mayores promedios, y de este se diferenciaron ($P \leq 0.01$) las plantas inoculadas con *M. osloensis* y *B. cereus*.

La relación BMA/BMR o como también se denomina, índice de proporcionalidad biométrica, los inóculos bacterianos favorecieron ($P \leq 0.05$) el acúmulo de biomasa aérea respecto a la radicular en atención al control absoluto. Las plantas inoculadas con *B. cereus* superaron ($P \leq 0.05$) aquellas inoculadas con *M. osloensis* y *A. brasiliense*. En el PSR el

Control absoluto y *B. niacini* mostraron los mayores valores ($P \leq 0.01$) respecto al resto de los tratamientos, para el peso fresco no se registraron diferencias ($P \geq 0.05$).

El índice de Dickson no mostró diferencias ($P \geq 0.05$) entre tratamientos, lo que sugiere uniformidad en el contenido de MS entre la parte aérea (hojas y tallos) y subterránea (raíces), este índice mostró una tendencia ($P \leq 0.10$) en el incremento de la acumulación de MS. De forma similar el índice de lignificación tampoco mostró diferencias promovidas por los tratamientos, y también manifestó una tendencia al incremento de compuestos estructurales y pérdida de agua.

DISCUSIÓN

En el presente estudio no se empleó ningún tipo de fertilizante ni fuente nitrogenada, sin embargo, las plantas inoculadas con *A. brasiliense* fueron las que más crecieron respecto al resto de los inóculos y control absoluto. Camelo *et al.*, (2011) señalaron que cuando esta bacteria crece en un medio desprovisto de fuentes nitrogenadas, promueve el crecimiento de las plantas produciendo AIA a partir del triptófano, mediante la ruta del ácido-3-pirúvico (PIyA) (Tien *et al.*, 1979), considerándose este mecanismo como específico de la bacteria, este es un resultado muy importante para la agronomía de la Moringa en ecosistemas semidesérticos, tal cual es la condición de aproximadamente el 15% de la nación mexicana, donde está incluida la Península de Baja California.

Tabla 3. Comportamiento de indicadores fisiológicos foliares y de crecimiento en plantas de *M. oleifera* inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento a los 45 días de edad.

	<i>Bacillus niacini</i>	<i>Moraxella osloensis</i>	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Azospirillum brasiliense</i>	Control absoluto	P	±EE
AF (cm ²)	16.66±4.67 ^{ab}	17.77±4.62 ^{ab}	20.28±4.46 ^a	17.16±4.01 ^{ab}	13.9±4.56 ^b	0.01	1.02
IAF	17.56±4.75 ^{ab}	18.54±4.66 ^{ab}	21.13±4.50 ^a	17.95±4.06 ^{ab}	14.71±4.62 ^b	0.001	1.04
DAF (cm ² día ⁻¹)	1.16±4.67 ^{ab}	2.27±4.62 ^{ab}	4.78±4.46 ^a	1.66±4.01 ^{ab}	-1.57±4.56 ^b	0.001	1.02
TCA (cm día ⁻¹)	0.55±0.47 ^{ab}	0.93±0.86 ^a	0.59±0.57 ^{ab}	1.037±1.26 ^a	0.12±0.26 ^b	0.01	0.001
	(1.25)	(1.35)	(1.26)	(1.35)	(1.33)		
TCR (cm día ⁻¹)*10 ⁻³	0.009±0.01 ^{ab}	0.014±0.01 ^a	0.009±0.01 ^{ab}	0.014±0.02 ^a	0.002±0.01 ^b	0.01	1.01
	(1.102)	(1.103)	(1.101)	(1.103)	(1.099)		
AFE (cm ² gr ⁻¹)	0.24±0.03	0.24±0.03	0.27±0.05	0.24±0.02	0.23±0.01	0.57	0.03
TAN (gr cm ² día ⁻¹)	10.16±1.77	11.14±1.70	10.18±0.32	11.57±0.85	13±0.75	0.108	0.22
LRA (cm ² gr ⁻¹)	0.096±0.02	0.093±0.01	0.094±0.01	0.087±0.01	0.077±0.00	0.24	0.001
PPH (gr ¹ (hojas) gr ⁻¹ (planta))	0.41±0.03	0.39±0.07	0.35±0.04	0.37±0.01	0.33±0.01	0.18	0.001
PPT (gr ¹ (tallos) gr ⁻¹ (planta))	0.36±0.08 ^{ab}	0.40±0.04 ^{ab}	0.44±0.02 ^a	0.42±0.05 ^a	0.26±0.07 ^b	0.01	0.001
PPR (gr ¹ (raíz) gr ⁻¹ (planta))	0.24±0.11 ^b	0.21±0.04 ^b	0.21±0.03 ^b	0.21±0.05 ^b	0.41±0.06 ^a	0.006	0.001

a, b, c Valores de superíndices con letras diferentes se diferencian significativamente para P≤0.05 según Tukey.

Números entre paréntesis corresponden a valores transformados mediante Log (x+2).

AF: Área foliar; IAF: Índice de área foliar; DAF: Duración del área foliar; TCA: Tasa de crecimiento absoluto; TCR: Tasa de crecimiento relativo; AFE: Área foliar efectiva; TAN: Tasa de asimilación neta; LRA: La razón de área foliar; PPH: Proporción de hojas; PPT: Proporción de tallos; PPR: Proporción de raíces.

Dentro de las transformaciones que promueve el *A. brasiliense* en la planta, Romero *et al.*, (2014) señalaron que el AIA promovido y producido por esta bacteria, además de promover reacciones en cadena que se expresan en el crecimiento de la planta, al sobrepasar las concentraciones endógenas por el efecto bacteriano provoca inhibición del crecimiento. La planta para contrarrestar este efecto acumulativo de la hormona la redirige al floema y raíz, en esta última se mantiene como reserva, y la ubicada en el floema, aumenta su diámetro, lo que facilita mayor incorporación de agua en la planta incrementando el crecimiento respecto a otras plantas, por esta particularidad, a esta cepa bacteriana se le considera como el inóculo ideal para plantas que crecen en condiciones de estrés (Bashan y Dubrovsky, 1996) por lo que es un control positivo excelente para los experimentos presentados en este trabajo.

Una de las limitantes de plántulas de alto porte para el trasplante en ecosistemas áridos, es su directa relación con un alto consumo de agua por el mayor desarrollo foliar, por lo que se consideran plantas de baja calidad al limitarse la supervivencia en ecosistemas áridos (Villalón *et al.*, 2016), sin embargo, las transformaciones anatómicas y estructurales que promueve el *A. brasiliense* a nivel de floema y raíces suprimen esta limitante, efectos que pueden relacionarse con los resultados obtenidos y que favorece su aplicación en ecosistemas adversos o de climas extremos, condicionados por el déficit hídrico.

Zayed (2012) experimentó inoculando bacterias promotoras del crecimiento en plántulas de *M. oleifera* hasta 90 días de edad. Obtuvo alturas por el efecto combinado de los inóculos bacterianos y la edad superiores a las del presente estudio, señalando valores de altura para plantas inoculadas con *A. brasiliense* 120.80 cm; 110.80 cm en *Azotobacter chroococcum*; 89.20 cm con *Saccharomyces cerevisiae* y para las inoculadas con *Pseudomonas fluorescens* alcanzaron 90.40 cm, la edad de corte permitió según este autor mayor tiempo de exposición a las cepas microbianas y con ello mayor desarrollo de la planta.

Zayed *op. cit.* identificó que la promoción del crecimiento por parte del *A. brasiliense* y *S. fluorescens*: fue por la producción de AIA y citoquininas, *A. chroococcum* y *S. cerevisiae* la producción de citoquininas y giberilinas (GAs), donde todo pareció indicar que el suministro poli hormonal por parte de algunas bacterias (*A. brasiliense* y *P. fluorescens*) tiene un mejor efecto, y por tanto, mejor respuesta en las plantas que en aquellas donde la bacteria promueve o direcciona su estímulo a un solo tipo de hormona, sin embargo, se debe considerar que la respuesta en la planta se verá influenciada por la representatividad en términos de concentración del tipo de hormona, y su consecuente efecto (Zayed, 2012).

Tabla 4. Morfología de la raíz e índice de robustez en plantas de *M. oleifera* inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento a los 45 días de edad.

Indicadores morfológicos	Tratamientos					P	EE
	<i>Bacillus niacini</i>	<i>Moraxella osloensis</i>	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Azospirillum brasiliense</i>	Control absoluto		
Índice de Robustez	13.48±3.82 ^b	14.87±5.60 ^{ab}	13.10±2.82 ^b	17.7±5.13 ^a	12.99±4.16 ^b	0.01	0.79
Diámetro del cuello de raíz(cm)	0.39±0.07 ^{ab}	0.42±1.08 ^a	0.44±0.07 ^a	0.40±0.08 ^{ab}	0.34±0.06 ^b	0.001	0.0002
Grosor de la raíz (cm)	1.31±0.48 ^{ab}	1.18±0.44 ^b	1.25±0.23 ^b	1.30±0.26 ^{ab}	1.58±0.20 ^a	0.01	0.004
Longitud de la raíz (cm)	4.53±1.11 ^{ab}	3.54±1 ^c	3.96±0.60 ^{bc}	5.16±1.50 ^a	5.05±0.65 ^a	0.001	0.37
*Relación Tallo/Raíz (cm)	12.06±3.84 ^{bc} (3.43)	21.34±2.16 ^a (4.41)	14.85±0.61 ^{ab} (3.82)	14.37±1.30 ^{ab} (3.72)	8.9±1.48 ^c (2.94)	0.001	0.05
BMA/BMR	2.28±2.86 ^{ab}	2.53±0.55 ^b	2.84±0.42 ^a	2.51±1.13 ^b	0.83±0.54 ^c	0.03	0.008
Peso fresco de raíz(gr)	47.70±3.08	42.21±2.58	41.62±1.32	44.04±2.32	51.20±2.0	0.064	30.96
Peso seco de raíz (gr)	6.09±19.9 ^{ab}	4.98±14.81 ^b	4.48±5.26 ^b	4.99±8.11 ^b	10.65±10.91 ^a	0.01	1.28
ID	2.27±1.69	2.26±0.56	2.15±0.62	1.82±0.33	0.73±0.34	0.204	0.80
IL	0.10±0.04	0.11±0.01	0.10±0.0	0.10±0.01	0.85±0.02	0.53	0.80

a, b, c Superíndices con letras diferentes se diferencian significativamente para $P \leq 0.05$ según Tukey.

*Números entre paréntesis corresponden a valores transformados mediante \sqrt{x} .

ID: Índice de Dickson; IL: Índice de Lignificación.

La variable producción de hojas (Tabla 2), tiene una importancia relevante en el cultivo de la Moringa, ya que en ellas se encuentran los principales compuestos activos (Cuellar-Núñez *et al.*, 2018). Hassanein y Al-Soqeer (2018) en la caracterización de ocho procedencias de Moringa en cuatro localidades de Arabia Saudita, obtuvieron número de hojas inferiores, respecto al control absoluto del presente estudio, el ancho (0.3-1.2 cm) y largo (1-4 cm) también resultaron inferiores. Es consecuente que, a mayor rapidez de crecimiento, mayor demanda energética, y por tanto, mayor desarrollo de láminas foliares para captar suficiente energía solar y producir compuestos osmóticamente activos que servirán, como fuente de energía primaria en el proceso de multiplicación celular (Ledea-Rodríguez *et al.*, 2018a).

En la presente investigación la variabilidad en números de hojas y su morfología se vinculan con estímulos hormonales que se promueven por los inóculos bacterianos, Jordán y Casaretto (2006) señalaron que la combinación de GAs y AIA, ambas promovidas por el *A. brasiliense* estimulan el crecimiento de la planta y la producción de brotes a partir de una relación antagónica entre ellas. Mientras que para los *Bacillus* sp. la producción de citocininas y ácido giberélico intervienen de forma directa en la producción de hojas (Baset-Mía *et al.*, 2017), a partir de los antecedentes mencionados, se considera que dichos efectos promovieron la producción de hojas en el presente estudio (Tabla 2).

Dentro del papel antagónico entre hormonas del crecimiento se ha documentado que, la combinación de las citocininas con otras hormonas (auxinas) induce la acumulación de ciclinas (Jordán y Casaretto, 2006; Baset-Mía *et al.*, 2017), estas promueven nuevos ciclos en la célula y en la división celular, lo que genera la formación de nuevas estructuras, como tallos, brotes y hojas principalmente (Camelo *et al.*, 2011). Se considera entonces que, en el presente estudio se manifestaron los fenómenos mencionados, al coincidir las plantas que manifestaron un crecimiento más acelerado con las que presentaron significativamente mayor número de hojas ($P \leq 0.05$).

La proporción de hojas respecto a los tallos indicó ser una particularidad de la edad de la planta y condiciones de experimentación al no presentarse diferencias entre los tratamientos ($P \geq 0.05$). Los valores indicados por Ledea-Rodríguez *et al.*, (2018b) en las condiciones de campo en la región oriental de Cuba, fueron inferiores (1.4), donde, las condiciones en las que crecieron las plantas de la presente experimentación, pudieron retardar el período de senescencia, referente a esto, se ha señalado que las ciclinas indican o retardan el proceso de senescencia (Camelo, Vera y Bonilla, 2011). La permanencia de hojas en la planta en estudio incrementa de forma relevante su valor nutricional, y que esta no se vea afectada por el desarrollo de los tallos es un mérito para resaltar por parte de los inóculos bacterianos considerados en la presente investigación.

En el grosor del tallo, los resultados que se obtuvieron en dos acepciones de *Moringa* fueron superiores a los del presente estudio, refiriéndose valores de 0.72 y 0.70 cm (Bernice *et al.*, 2018), las diferencias pueden estribar en las condiciones de experimentación, respecto a la presente investigación.

En esta misma variable, los valores obtenidos por Haouvang *et al.*, (2017) al someter plántulas de *M. oleifera* Lam a fertilización química, orgánica y sus combinaciones oscilaron entre 0.2-0.47 cm siendo similares a los de la presente investigación, lo que sugiere, que estímulos que incluyan una sobre expresión en los ritmos de crecimiento de la planta, traducen en mayor producción de compuestos en la elongación del tallo que en su engrosamiento, lo cual en intereses agronómicos es favorable debido al cúmulo de compuestos estructurales que condicionalmente están presentes en este órgano y que le resta valor nutritivo a la biomasa.

El conjunto de manifestaciones morfológicas suele tener un efecto en la productividad de la planta y acumulación de MS (Tabla 2). Foidl y Mayorga (2003) para el rendimiento de MS total de la *M. oleifera* se señalaron valores de 5.067 t ha⁻¹, promedio que resultó congruente para todos los tratamientos excepto para el que empleó *B. cereus* como inóculo que arrojó rendimientos de 12.92 t MS ha, valor que se aproximó al obtenido con el empleo de densidades de siembra de 65000 plantas ha⁻¹ (Zheng, Zhang y Wu, 2016), donde el mayor valor se alcanzó con inóculo de *B. cereus* con 0.8 t MS ha⁻¹, oscilando el resto de los valores entre 0.26-0.30 t MS ha⁻¹, lo que implica una gran cantidad de agua en el tejido de las hojas, y se relaciona con las condiciones de experimentación.

Es meritorio mencionar que, en plántulas de *M. oleifera*, no se han referidos trabajos donde se incluyan las variables de calidad y desarrollo foliar de la *Moringa* en condiciones de vivero, siendo este el primer reporte. Los inóculos bacterianos promovieron el desarrollo foliar de la planta (AF, IAF, DAF), así como el crecimiento (TCA y TCR) en función del tiempo (Tabla 3), es un efecto esperado a partir de la acción de grupos de hormonas, por lo cual, las bacterias empleadas son consideradas como promotoras del crecimiento (Barrera *et al.*, 2014).

Las variables que describen el desarrollo foliar llegan a explicar hasta el 80% de la variación de las tasas de crecimiento, mientras que variables fisiológicas como, la Tasa de Asimilación Neta (TAN), La Razón Aérea (LRA) y Área Foliar Efectiva (AFE), explican, las diferencias de las tasas de crecimiento entre especies (Villar *et al.*, 2004).

La TAN describe la producción de materia seca por la planta a partir de los recursos de la fotosíntesis y la respiración, indicando la eficiencia de los procesos mencionados en el incremento de peso de la planta, mientras que la segunda variable (LRA), fracciona la ganancia de peso por unidad de área foliar, siendo la TCR, el producto de la combinación de TAN x LRA cuando se considera el incremento de peso en tejidos, y la AFE señala el incremento de la masa en función del área foliar (Villar *et al.*, 2004), aunque otros criterios sobre esta última variable apuntan a la descripción de una relación entre el área foliar de la planta y el potencial fotosintético y respiratorio para la acumulación de materia seca (MS) (Barrera, Suarez y Luz Marina, 2014).

Ensayos que se desarrollan en condiciones de invernadero o cámaras de cultivos la disponibilidad de iluminación es de $\geq 300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de la radiación fotosintéticamente activa, por lo que la inversión en enzimas fotosintéticas no se maximiza (Lambers *et al.*, 1979), cobrando mayor importancia relativa, la morfología y la arquitectura de la planta. Estas podrían ser algunas consideraciones de similitudes de valores de TAN entre tratamientos.

En condiciones de experimentación en invernaderos suele sobre expresarse la LRA, sin embargo, las combinaciones de disminuida capacidad fotosintética, abundante disponibilidad de agua y rápido crecimiento promovido por las PGPB, propiciaron hojas suculentas de bajos pesos específicos por unidad de área foliar, contribuyendo a que se manifestaran LRA entre 0.077-0.096 cm² para ganar 0.01 gr de tejido, cuando esto ocurre se deriva el nitrógeno foliar hacia la captura de fotones.

A partir de las observaciones de las variables fisiológicas TAN, AFE y LRA, descritas como fundamentales para la descripción del crecimiento de las plantas (Lambers *et al.*, 1979; Antúnez *et al.*, 2001; Villar *et al.*, 2004), se considera que, las condiciones de experimentación y el acelerado crecimiento por el efecto de los inóculos bacterianos, modificaron el hábito de crecimiento de las plantas y distribución de recursos de forma diferente entre los órganos, con función de captación de luz y asimilación de dióxido de carbono (hojas), absorción de agua y nutrientes minerales (raíces) y de sostén (tallos) (Villar *et al.*, 2004).

Para las proporciones de hojas, tallos y raíces respecto al peso de la planta, resultados publicados señalan valores de 0.40; 0.28 y 0.32, en orden (Poorter y Nagel, 2000). Respecto al presente estudio los valores se asemejan a los reflejados en el control absoluto, significando la expresión morfológica en respuesta a la producción endógena de estas hormonas, dónde se puede afirmar la producción por

parte de los inóculos bacterianos, *Bacillus* (Islam *et al.*, 2017; Aloo *et al.*, 2019), *Azospirillum* (Hadas y Okon, 1987; Zayed, 2012; Larraburu y Llorente, 2015), en la producción de citoquininas (promotoras de la aparición de brotes y hojas) en las plantas inoculadas.

Por parte de los indicadores de calidad de la planta (Tabla 4), el índice de robustez relaciona la altura de la planta con el grosor del tallo para definir la fortaleza de la planta para afrontar la desecación por el efecto del viento al relacionarla, en su interpretación valores inferiores a seis sugieren plantas robustas, mientras que valores superiores a este, indican plantas débiles, y mientras más alejados sean, más frágiles resultan ser las plantas para la resistencia al aire, crecimiento erecto y desarrollo en condiciones de campo (García, 2018a), mientras que otras consideraciones sugieren que una planta de buena calidad presentan elevados valores en el diámetro del cuello de la raíz y bajos coeficientes de índice de robustez (García y Mora, 2016), este aspecto solo se cumple si existe la intensión de trasplante.

El desarrollo radicular de la planta, además de las características del sustrato, que para el presente estudio no fue una limitante, refleja la capacidad de almacenamiento de energía por parte de las plantas, y que, en caso de una desproporción, la planta corre el riesgo de no sobrevivir. Para un sistema de policultivo en condiciones de vivero que incluía *M. oleifera*; *L. leucocephala* y *Cajanus cajan*, Noguera-Talavera *et al.*, (2014) observaron longitudes de raíces de 19.7 cm; 23.8 y 27.1 cm, en orden,; promedios superiores a los señalados en la tabla 4, por haber empleado una edad de cultivo superior a la del presente estudio, sin embargo, para el grosor de la raíz, los valores reflejados fueron de 1.17; 0.4 y 0.2 cm, respectivamente, notablemente inferiores a los obtenidos en la presente investigación que osciló entre 1.18-1.58 cm (Tabla 4). Las diferencias pueden estribar en el sustrato empleado en cada estudio, Noguera-Talavera *op. cit.* utilizaron suelo y en el presente estudio sustrato para germinación, donde los nivel de compactación, por los efectos del riego y tiempo de experimentación, pudieron influir en un mejor desarrollo del sistema radicular, respecto a lo comentado y en consideración al presente estudio, los resultados sugieren que, los efectos combinados de cargas hormonales estimuladas por las bacterias en estudio limitaron el desarrollo de las raíces debido a la producción de etileno, fenómeno que ha sido descrito por Jordán y Casaretto (2006) y Camelo *et al.*, (2011).

Para la relación tallo/raíz, las plantas inoculadas con bacterias desarrollaron tallos más largos y raíces más cortas respecto a las plantas consideradas como

control absoluto, en el cual, la longitud de la raíz fue mayor y los tallos más cortos. Se evidenció que los efectos de las cepas bacterianas provocaron un mayor crecimiento de los tallos respecto a las raíces, en consideración Romero *et al.*, (2014) sentenciaron que cuando las raíces, por sus características morfológicas se caracterizan por una deficiente absorción de nutrientes y agua y no provean la energía suficiente a la planta, entonces se generarán tallos cortos y plantas débiles, aspecto descartado en la presente investigación.

En la relación BMA/MBR se observa de mejor forma la implicación de tallos largos con raíces cortas, pero en su expresión en base seca, ya que relaciona la biomasa aérea seca (peso seco de hojas y tallos) con la biomasa seca de las raíces. Las plantas inoculadas tuvieron una proporción más cercana a lo aceptable considerada entre 1.5-2.5 (Noda-Leyva *et al.*, 2015), mientras que el control absoluto se alejó de este valor, lo que significa que hubo mayor proporción de biomasa aérea respecto a la de raíces. Para *M. oleifera* se refieren índices de 1.8 (Noguera-Talavera *et al.*, 2014), sin embargo, es de interés para la presente investigación obtener una mayor proporción de biomasa aérea respecto a la radicular.

Todos los inóculos bacterianos promovieron el crecimiento de la planta y de su área foliar, pero no el de las raíces, Jordán y Casaretto, (2006) mencionaron que cuando existen sinergismos entre hormonas se limita la producción de etileno por parte de la planta, al respecto Camelo *et al.*, (2011) afirmaron que el uso de PGPB disminuyen y en algunos casos inhiben la producción de etileno en la planta debido a la intervención de otras hormonas potenciadas por la acción bacteriana.

Dentro de los indicadores de calidad, el índice de Dickson constituye uno de los criterios más utilizados, expresando el equilibrio en la distribución de la masa y la robustez de la planta. Los valores obtenidos por Aparecida-Rodríguez *et al.*, (2016) (3.8-4.44) en la evaluación de diferentes proporciones de sustratos orgánicos con fibra de coco verde en *M. oleifera* Lam., y los referidos por Villalón-Mendoza *et al.*, (2016) (5.0-8.0) en *Quercus canby* Trel. fueron superiores a los del presente estudio, no así los promedios señalados por Nascimento de Almeida *et al.*, (2019) en *Moringa oleifera* Lam. en diferentes sustratos, los cuales estuvieron muy cercanos a 0.2, definido como el valor bajo permisible para este índice, atendiendo a este valor, las plántulas obtenidas en el presente estudio fueron de calidad que, a pesar de no presentarse diferencias respecto al control absoluto, si se observan en las plantas inoculadas valores numéricos muy interesantes, respecto al control absoluto (Tabla 5).

Se debe considerar que la variabilidad en los valores en el índice de calidad de Dickson va a estar sujeta a varios factores, entre ellos, la especie con que se trabaje, el manejo de las plántulas en el vivero, tipo y proporción del sustrato, volumen del contenedor y, principalmente, la edad de la plántula en que los cambios fueron evaluados (Pereira-Oliveira *et al.*, 2017), por lo que, diferencia con otros estudios solo deberían ubicarse en consideraciones de los autores acerca de su resultado, sin enfatizar una discusión basada en las diferencias numéricas, considerándose además que el índice de Dickson es un valor preconcebido para considerar la calidad de las plántulas, donde 0.2 es el mínimo permisible independientemente de las condiciones de experimentación, argumento a considerar para establecer una discusión respecto a resultados de otros autores.

CONCLUSIONES

Los inóculos bacterianos promovieron modificaciones morfológicas en las plantas que favorecieron el crecimiento, la cantidad de hojas y la proporción de biomasa aérea respecto a la raíz, pero en poca medida en la acumulación de MS. Estos atributos agronómicos indican la efectividad de los inóculos bacterianos en la producción de biomasa aérea, indicador de interés en los sistemas de cultivos de la Moringa, mientras que los índices de calidad (LRA, PPH y AFE) no se favorecieron, el índice de Dickson señaló la calidad de las plantas obtenidas mediante la inoculación con PGPB.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la confianza depositada en el otorgamiento de una beca de estudios (939024). Al M. C. Ángel E. Carrillo García, del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), por compartir el equipamiento, reactivos y experiencia técnica en el proceso de reactivación de las cepas bacterianas y obtención de los inóculos bacterianos.

Financiamiento. La investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología con beca para estudiante de doctorado y por el Programa de Agricultura de Zonas Áridas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz B.C.S. México

Conflicto de intereses. No existen conflictos de intereses en la presente investigación.

Cumplimiento de estándares de ética. No aplican.

Disponibilidad de datos. Los datos están disponibles con Lilia Alcaraz Meléndez, lalcaraz04@cibnor.mx, previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Aloo, B.N., Makumba, B.A. and Mbega, E.R., 2019. The potential of Bacilli rhizobacteria for sustainable crop production and environmental sustainability. *Microbiological Research*, 219(November 2018), pp.26–39. <<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.011>>
- Antúnez, I., Retamosa, E.C. and Villar, R., 2001. Relative growth rate in phylogenetically related deciduous and evergreen woody species. *Oecologia*, 128(2), pp.172–180. <<https://doi.org/10.1007/s004420100645>>
- Aparecida-Rodrigues, L., Araujo-Muniz, T., Silva-Samarão, S. and Erse-Cyrino, A., 2016. Qualidade de mudas de Moringa oleifera Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos orgânicos. *Revista Ceres Vicosa*, 63(4), pp.545–552. <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040016>>
- Barrera, J., Suarez, D. and Luz Marina, M., 2014. Análisis de Crecimiento en Plantas. In: I.A. de I.C. Sinchi, ed. *Análisis de crecimiento en plantas*. [online] Bogotá. pp.25–38. Available at: <http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/5/04_Cap02.pdf>.
- Barrios, N., 2013. Caracterización fenológica en etapa de vivero de moringa (*Moringa oleifera* Lam), trupillo (*Prosopis Juliflora*), neem (*Azadirachta indica*), gualanday (*Jacaranda Caucana Pittier*) y ceiba bonga (*Ceiba Pentandra*), especies forestales adaptadas al trópico como . <<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>>
- Bartlett, M.S., 1937. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A - Mathematical and Physical Sciences*, 160(901), pp.268–282.
- Baset-Mia, M.A., Aminun- Naher, A., Ali-Panhwar, Q. and Tofazzal-Islam, M., 2017. Growth Promotion of Nonlegumes by the Inoculation of Bacillus Species. In: M. Tofazzal, P. Pandey, A. Aeron, R. Mahfuz and C. Kumar, eds. *Bacilli and Agrobiotechnology*, First. Switzerland. p.57.

- <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3>>
- Bashan, Y. and Dubrovsky, J.G., 1996. Azospirillum spp. participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. *Biology and Fertility of Soils*, 23(4), pp.435–440. <<https://doi.org/10.1007/BF00335919>>
- Bécquer, C.J., Cancio, T., Nápoles, J.A., Muir, I., Ávila, U., Álvarez, O. and Madrigal, Y., 2018. Selection of rhizobia due to their effect on germination and incipient development of Moringa oleifera Lam . Phase I: controlled conditions Selección de rizobios por su efecto en la germinación y desarrollo incipiente de Moringa oleifera Lam . Fase I: c. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 52(4), pp.473–484.
- Behrman, D., 1974. *En asociación con la naturaleza. La UNESCO y el medio ambiente*. París.
- Bernice, N.F., Gaillyson, Y.J. and Maryam, H.A., 2018. Nursery performance and early growth of two moringa oleifera accessions grown under varied manure levels. *Journal of Research in Forestry, Wildlife & Environment*, 10(1), pp.1–10.
- Camelo R., M., Vera M., S.P. and Bonilla B., R.R., 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), p.159. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol12_num2_art:227>
- Cuellar-Nuñez, M.L., Luzardo-Ocampo, I., Campos-Vega, R., Gallegos-Corona, M.A., González de Mejía, E. and Loarca-Piña, G., 2018. Physicochemical and nutraceutical properties of moringa (Moringa oleifera) leaves and their effects in an in vivo AOM/DSS-induced colorectal carcinogenesis model. *Food Research International*, [online] 105(November 2017), pp.159–168. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.004>>.
- Dickson, A., Leaf, A.L. and Hosner, J.F., 1960. Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), pp.10–13. <<https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>>
- Duarte-aguilar, C. and Mendieta-araica, B., 2014. Producción de plantas. 14, pp.21–27.
- Ede, A., Ndubuaku, U. and Baiyeri, K., 2015. Media Effects on Emergence and Growth of Moringa (Moringa oleifera Lam) Seedlings in the Nursery. *American Journal of Experimental Agriculture*, 7(3), pp.182–189. <<https://doi.org/10.9734/ajea/2015/13602>>
- Foidl, N. and Mayorga, L., 2003. Utilización del marango (Moringa oleifera) como forraje fresco para ganado. In: *Conferencia electrónica de la FAO sobre 'Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica'*. [online] Nicaragua.pp.3–7. Available at: <<http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/FRG/Agr ofor1/Foidl16.htm>>.
- García, I., 2018. Origen, bondades y usos de Moringa oleifera, Lam: una revisión sistemática. In: V.A. Holguín, ed. *Árboles y arbustos para silvopasturas. Uso, calidad y alometría*, 1st ed. Colombia: Universidad de Tolima.p.136. ISBN: 9789588932569
- García, I.I. and Mora, J., 2016. Manejo y desempeño de Moringa oleifera (Lam) en la etapa de vivero y trasplante. In: *Árboles y arbustos para silvopasturas*. Colombia.pp.86–106.
- Hadas, R. and Okon, Y., 1987. Effect of Azospirillum brasilense inoculation on root morphology and respiration in tomato seedlings. *Biology and Fertility of Soils*, 5(3), pp.241–247. <<https://doi.org/10.1007/BF00256908>>
- Hassanein, A.M.A. and Al-Soqeer, A.A., 2018. Morphological and genetic diversity of Moringa oleifera and Moringa peregrina genotypes. *Horticulture Environment and Biotechnology*, [online] 59(2), pp.251–261. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s13580-018-0024-0>>.
- Hunt, R. and Hunt, R., 1990. Absolute growth rates. *Basic Growth Analysis*, pp.17–24. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_2>
- Islam, M.T., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C.K. and Aeron, A., 2017. *Bacilli and Agrobiotechnology. Bacilli and Agrobiotechnology*. <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3>>
- Jordán, M. and Casaretto, J., 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. In: F.A. Squeo and L. Cardemil, eds. *Fisiología Vegetal*, Universida. La Serena.pp.1–28.
- Kou, X., Li, B., Olayanju, J.B., Drake, J.M. and Chen, N., 2018a. Nutraceutical or pharmacological potential of Moringa oleifera Lam. *Nutrients*, 10(3).

- <<https://doi.org/10.3390/nu10030343>>
- Lambers, H., Chapin III, S.F. and Pons, T.L., 1979. *Plant Physiological Ecology. The Bryologist*. <<https://doi.org/10.2307/3242233>>
- Larraburu, E.E. and Llorente, B.E., 2015. Anatomical changes induced by *Azospirillum brasilense* in in vitro rooting of pink lapacho. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 122(1), pp.175–184. <<https://doi.org/10.1007/s11240-015-0759-6>>
- Ledea Rodríguez, J.L., Rosell Alonso, G., Benítez Jiménez, D.G., Arias Pérez, R.C. and Nuviola Pérez, Y., 2018a. Estructura y rendimiento forrajero de *Moringa oleifera* cv Nicaragua en diferentes frecuencias de corte. *Revista de Producción Animal*, 30(3), pp.13–21.
- Ledea Rodríguez, J.L., Rosell Alonso, G., Benítez Jiménez, D.G., Arias Pérez, R.C., Ray Ramírez, J.V. and Nuviola Pérez, Y., 2017. Efecto del ecotipo y la frecuencia de corte en el rendimiento forrajero de *Moringa oleifera* Lam, en el Valle del Cauto. *Revista de Producción Animal*, 29(3), pp.12–17.
- Ledea Rodríguez, J.L., Rosell Alonso, G., Benítez Jiménez, D.G., Crucito Arias, R., Ray Ramírez, J.V., Nuviola Pérez, Y. and Reyes Pérez, J.J., 2018b. Rendimiento forrajero y sus componentes según la frecuencia de corte de *Moringa oleifera*, variedad Criolla. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), p.425. <<https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.30436>>
- Massey, F.J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, [online] 46(253), pp.68–78. Available at: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1951.10500769>>.
- Nascimento de Almeida, G., Grazielly, L., Nascimento de Almeida, G., Rayron, J., José de Holanda, M. and Cristina, E., 2019. Desenvolvimento de mudas de moringa oleifera submetidas a diferentes substratos. *Ciencia Agrícola*, 7(2), pp.846–848.
- Noda-Leyva, Y., Pérez-Vásquez, A. and Valdés-Rodríguez, O.A., 2015. Establecimiento de tres especies de oleaginosas bajo asociación. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), p.323. <<https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19326>>
- Noguera-Talavera, A., Reyes-Sánchez, N., Membreño, J.J., Duarte-Aguilar, C. and Mendieta-Araica, B., 2014. Calidad de plántulas de tres especies forrajeras (*Moringa oleifera* Lam., *Leucaena leucocephala* y *Cajanus cajan*) en condiciones de vivero. *La Calera*, 14(22), pp.21–27.
- Pereira-Oliveira, K.T., Assis deOliveira, F. De, Gonçalves-Cavalcante, A.L., De Paiva-Dantas, R., Teixeira de Oliveira, M.K. and Barbosa de Medeiros Costa, J.P., 2017. Qualidade de mudas de moringa sob diferentes níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 36(88), p.497. <<https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1038>>
- Poorter, H. and Nagel, O., 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, [online] 27(12), p.1191. Available at: <https://doi.org/10.1071/PP99173_CO>.
- Romero, A.M., Vega, D. and Correa, O.S., 2014. *Azospirillum brasilense* mitigates water stress imposed by a vascular disease by increasing xylem vessel area and stem hydraulic conductivity in tomato. *Applied Soil Ecology*, 82, pp.38–43. <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.010>>
- Tien, T.M., Gaskins, M.H. and Hubbell, D.H., 1979. Plant Growth Substances Produced by *Azospirillum brasilense* and Their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and environmental microbiology*, [online] 37(5), pp.1016–24. Available at: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16345372>> <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC243341>>.
- Toral, O.C. and Iglesias, J.M., 2012. Evaluation of forage tree and shrub accessions during the establishment period. *Pastos y Forrajes*, 35(1), pp.17–28.
- Torres, P.S., Barberis, M.J. and Lewis, J.P., 1995. Robustness of numerical methods for vegetation classification. *Akadémiai Kiadó*, 10(1), pp.11–16.
- Villalón, H., Ramos, J.C., Vega, B.M. and Muños, M.A., 2016. Indicadores de calidad de la planta de *Quercus canbyi* Trel. (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 12(1), pp.46–52.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J.L., Poorter, H., Valladares, F. and Marañón, T., 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos

- funcionales e implicaciones ecológicas. In: *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. pp.191–227.
- Zayed, M.S., 2012. Improvement of growth and nutritional quality of *Moringa oleifera* using different biofertilizers. *Annals of Agricultural Sciences*, 57(1), pp.53–62. <<https://doi.org/10.1016/j.aosas.2012.03.004>>
- Zebboudj, N., Yezli, W., Hamini-Kadar, N., Kihal, M. and Henni, E.J., 2014. Antifungal activity of lactic acid bacteria against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* isolated from diseased date palm in south Algeria. *International Journal of Biosciences (IJB)*, 5(9), pp.99–106. <<https://doi.org/10.12692/ijb/5.9.99-106>>
- Zheng, Y., Zhang, Y. and Wu, J., 2016. Yield and quality of *Moringa oleifera* under different planting densities and cutting heights in southwest China. *Industrial Crops and Products*, 91, pp.88–96. <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.032>>