



DOI: 10.29298/rmcf.v15i86.1468

Artículo de investigación

**Promotor del crecimiento mejora calidad y reduce
permanencia en vivero de *Acacia mangium* Willd.
Growth promoter in *Acacia mangium* Willd. improves
quality and reduces permanence in nursery**

Kolima Peña Calzada^{1*}, Ana Gertrudis Trocones Boggiano^{1,2}, Luis Delgado Fernández¹, Yarlenis Martínez Alonso¹, Yandy Martín Conesa¹, Alexander Calero Hurtado^{1,3}, Juan Carlos Rodríguez Fernández¹

Fecha de recepción/Reception date: 19 de febrero de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 26 de agosto de 2024.

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de *Sancti Spiritus* José Martí Pérez. Cuba.

²School of Furniture Design and Wood Engineering, Transilvania University of Brasov. Romania.

³Integrative Plant Research Laboratory, Institute of Biosciences, Department of Botany and Ecology, Federal University of Mato Grosso, Brazil.

*Autor para correspondencia; correo-e: kolimapena@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: kolimapena@gmail.com

Resumen

Aumentar la calidad de las plántulas en el vivero, disminuir el tiempo de permanencia y obtener material que garantice mayor supervivencia en campo es preocupación de los forestales, en la actualidad. Por lo que el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de un promotor a base de aminoácidos en el crecimiento, calidad y tiempo de permanencia en vivero de *Acacia mangium*. Se estableció un experimento en un diseño completamente aleatorizado, con cuatro tratamientos foliares semanales: VA1 (1.2 mL L⁻¹), VA2 (1.5 mL L⁻¹), VA3 (1.8 mL L⁻¹) y VA0 (0). A los 90 y 120 días de la siembra (dds) se evaluaron atributos e índices morfológicos de calidad y las tasas de crecimiento. La aplicación foliar de *VIUSID Agro*[®] mejoraron las características morfológicas con la dosis VA1 pues entre otras variables, superó al control en la longitud de las plantas en 65 y 54 %, mientras que en la tasa activa de crecimiento los incrementos fueron de 65 %. Principalmente, con la dosis VA1 (1.2 mL L⁻¹) el Índice de *Dickson* alcanzó la calidad media de 0.22 a 120 dds. Los hallazgos sugieren que la aplicación foliar del promotor del crecimiento a base de aminoácidos mejora las características morfológicas, las tasas de crecimiento y desempeña un rol importante en la reducción de la permanencia de plántulas de *A. mangium* en vivero, a un tiempo mínimo de 120 dds cuando se usa la dosis de 1.2 mL L⁻¹.

Palabras clave: *Acacia mangium* Willd., aminoácidos, fertilización foliar, tasas de crecimiento, *VIUSID Agro*[®], viveros forestales.

Abstract

Increasing the quality of seedlings in the nursery, reducing the permanence time and obtaining material that guarantees greater survival in the field is a concern of foresters today. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect of foliar application of a promoter based on amino acids on the growth, quality and residence time in the nursery of *Acacia mangium*. An experiment was established in a completely randomized design with four weekly foliar treatments: VA1 (1.2 mL L⁻¹), VA2 (1.5 mL L⁻¹), VA3 (1.8 mL L⁻¹) and VA0(0). At 90 and 120 days after sowing (das), attributes and morphological indices of quality and growth rates were evaluated. It was found that the foliar application of VIUSID Agro[®] improved the morphological characteristics with the VA1 dose because, among other variables, it surpassed the control in the length of the plants by 65 and 54 %, while in the active growth rate the increases were 65 %. The morphological indices benefited mainly from the VA1 dose (1.2 mL L⁻¹) where the Dickson index reached the average quality of 0.22 at 120 das with VA1. Findings suggest that the foliar application of the amino acid-based growth promoter improves morphological characteristics, growth rates and plays an important role in reducing the permanence of *A. mangium* seedlings in the nursery to a minimum time of 120 das when using the 1.2 mL L⁻¹ dose.

Key words: *Acacia mangium* Willd., amino acids, foliar fertilization, growth rates, VIUSID Agro[®], forest nurseries.

Introducción

Acacia mangium Willd. es una especie de rápido crecimiento y alto valor económico, ampliamente utilizada en la reforestación a nivel mundial. Su cultivo no solo contribuye a la recuperación de áreas boscosas, sino que también tiene un impacto positivo en los sistemas silvopastoriles y agroforestales (Reid *et al.*, 2024). Además, actúa como planta fijadora de nitrógeno, lo que mejora la calidad del suelo y favorece el crecimiento de otros taxa vegetales (Oliveira *et al.*, 2021; Nirsatmanto *et al.*, 2022). En este contexto, el incremento de sus plantaciones se convierte en un objetivo clave para el sector forestal cubano, dado su alto potencial de uso y su capacidad para apoyar el desarrollo económico y ambiental del país (Pérez *et al.*, 2017).

Sin embargo, a pesar de ser una alternativa viable para plantaciones en varias provincias de Cuba, debido a sus adecuadas características morfométricas (rectitud del fuste, características de la copa, diámetro) (Pérez *et al.*, 2017;

Pérez *et al.*, 2019), se ha observado que las plántulas suelen permanecer en vivero entre cuatro y seis meses sin alcanzar la calidad necesaria, lo que afecta su supervivencia en el campo.

Una opción para mejorar el crecimiento y la calidad de las plántulas, así como para reducir su permanencia en vivero puede ser el uso de promotores del crecimiento a base de aminoácidos. Estas sustancias aplicadas foliarmente, solas o combinadas, estimulan el crecimiento de las plantas a través de la estabilización de procesos como la fotosíntesis, transpiración y la conductancia estomática. Además, funcionan como moléculas proteicas, fuentes de energía y mensajeros químicos (Peña *et al.*, 2022; Kawade *et al.*, 2023).

Al respecto, es conocido que en árboles frutales la aplicación foliar conjunta de glicina y triptófano resulta en incrementos notables en la longitud y diámetro de los brotes, el área foliar, la clorofila total, así como en la asimilación de nitrógeno (Mataffo *et al.*, 2020; Mosa *et al.*, 2021). Por otra parte, los aminoácidos aplicados en la fase de vivero proporcionan beneficios en la calidad de las plántulas, preparándolas para el trasplante (Ozyhar *et al.*, 2019).

En especies forestales, no se ha determinado el efecto de este promotor del crecimiento a base de aminoácidos, solo existen antecedentes de su uso en sistemas agroforestales en cultivos como el café (*Coffea arabica* L.) (Posada-Pérez *et al.*, 2021; Bustamante-González *et al.*, 2023; Díaz *et al.*, 2023), en los que las aplicaciones foliares mejoraron la respuesta morfológica del cultivo.

Por lo antes mencionado, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la aplicación foliar del producto comercial *VIUSID Agro*[®] sobre el crecimiento, calidad y tiempo de permanencia en vivero de plántulas de *A. mangium*, bajo la siguiente hipótesis: la aplicación de aminoácidos incrementa la calidad de las plántulas de *A. mangium* cultivadas bajo condiciones controladas, mejora sus características morfológicas, incrementa las tasas de crecimiento y reduce el tiempo de permanencia en vivero.

Materiales y Métodos

Condiciones del experimento y material vegetal

La investigación se desarrolló en condiciones semicontroladas, homogéneas para toda el área experimental (homogeneidad del sustrato, intervalo de riego, control de malezas y plagas, ubicación del experimento en relación a la iluminación y el viento) ubicada en el vivero "Espinal" que se localiza en el municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara, Cuba; entre los 22°39'31.648" N y -80°17'48.527" O, a una altitud de 50 m. El vivero es de tipo permanente con una capacidad de producción de 198 000 plántulas en contenedores de plástico rígido.

Las semillas fueron de la procedencia registrada de la masa semillera de Gabilanes, municipio Coralillo y, según lo establecido por las normas cubanas de muestreo (GOC-2020 526-057), los lotes tenían 96 % de pureza, 87 % de germinación (tratamiento pregerminativo) y 65 000 semillas por kg. La ruptura de la latencia se realizó mediante escarificación, de acuerdo con la metodología empleada por Khurana y Singh (2001); se sembraron en un sustrato con 50 % de suelo y 50 % de materia orgánica, elaborada a partir de estiércol de ovino, vacuno y humus de lombriz, con una humedad de 38.5 %, Carbono orgánico total (COT) 25.3 %, Nitrógeno total (NT) 17.7 g⁻¹ kg⁻¹, Amonio (NH_4^+) 889 mg⁻¹ kg⁻¹ y Nitrato (NO_3^-) 520 mg⁻¹ kg⁻¹.

La siembra se realizó el 4 de abril de 2023 a razón de dos semillas por tubete (capacidad: 280 cm³, altura: 173 mm); cuando las plántulas alcanzaron 5 cm de longitud se dejó una sola. La longitud de las bandejas respecto al suelo fue de 1.20 m

y el control de sombra fue a través de un sarán (luminosidad de 60 %). El control de arvenses fue manual y el riego diario por aspersión hasta capacidad de campo.

Los datos de las variables climáticas fueron registrados diariamente con un Termohigrómetro TFA® 30.3039.IT. Las precipitaciones durante la fase experimental fueron de 59.29 mm, la temperatura media de 31.81 °C y la humedad relativa de 76.50 %.

Características del producto y diseño experimental

El producto comercial VIUSID Agro® (VA) se utilizó como fuente de aminoácidos. Los aminoácidos presentes en la solución fueron: ácido aspártico (1.6 %), arginina (2.4 %), glicina (2.5 %) y triptófano (0.5 %); se evaluaron tres concentraciones de VA: VA1 (1.2 mL L⁻¹), VA2 (1.5 mL L⁻¹), VA3 (1.8 mL L⁻¹) y un testigo (sin aplicación) VA0 (0). El pH de la solución se ajustó a 5.7±0.2, con una solución de ácido clorhídrico (HCl) o hidróxido de sodio (NaOH), ambas a 1.0 mol L⁻¹. Para determinar las concentraciones se consideraron las recomendaciones del fabricante, experiencias en el cultivo del café (Bustamante-González *et al.*, 2023; Díaz *et al.*, 2023) y de los autores.

El diseño experimental fue completamente al azar (Ecuación 1), con cuatro tratamientos y tres réplicas. Se marcaron y evaluaron al azar 15 plántulas en el área central o de cálculo de la bandeja, para un total de 45 plántulas por tratamiento y 180 para todo el experimento.

$$Y_{ij} = m + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado

m = Media

t_i = Efecto del *i-ésimo* tratamiento

e_{ij} = Variación aleatoria del *i-ésimo* tratamiento y la *i-ésima* observación de la repetición (error experimental)

Descripción de las aplicaciones

Las aplicaciones se realizaron en horas de la mañana con un aspersor manual de espalda calibrado de 16 L de capacidad, y se consideró la posible deriva por el viento y la humedad relativa superior a 60 %. El intervalo fue de siete días desde el 4 de mayo de 2023 hasta el 27 de julio de ese mismo año.

Variables evaluadas

Las variables se evaluaron a los 90 y 120 días después de la siembra (dds). Se midió el crecimiento en longitud (cm), desde el cuello de la raíz hasta el ápice, con una regla graduada de acero inoxidable de 1 500×30 mm (*Format*[®] 7647511500).

El diámetro en el cuello de la raíz (*DCR*) (mm) se midió en el punto de unión entre tallo y raíz con un calibrador digital *Digite*[®] ACC115-006-11 con una exactitud de ± 0.03 mm. Para calcular el área foliar se usó el método dimensional descrito por Peña *et al.* (2018a) en el que se emplearon las siguientes fórmulas:

$$AF = l \times a \times f \quad (2)$$

$$f = Ah(l \times a) \quad (3)$$

$$Ah = (Ar \times Bcl)Brc \quad (4)$$

Donde:

AF = Área foliar

l = Largo de la hoja

a = Ancho de la hoja

f = Factor

Ah = Área del limbo

Ar = Área del rectángulo de papel

Bcl = Biomasa del contorno del limbo

Brc = Biomasa del rectángulo

Las plántulas segmentadas en sus órganos fueron lavadas para retirar los residuos con una solución de detergente al 0.2 %, solución de ácido clorhídrico 0.1 % y agua destilada (de Lima *et al.*, 2018). El volumen radicular (cm³) se determinó por el

método de desplazamiento de agua (Harrington *et al.*, 1994). Por otra parte, la biomasa fresca (g) de las plántulas segmentada en sus órganos, se determinó con una balanza digital *Sartorius*[®] BS 124S, con precisión de ± 0.01 g. Las plántulas frescas se colocaron en bolsas independientes etiquetadas y fueron depositadas en una estufa *Kalstein*[®] YRO5229-2, a 65 °C hasta obtener la biomasa constante a las 96 horas.

Para la relación (R) entre la biomasa seca de la parte aérea (PA) y biomasa seca de la parte radicular (PR) se usó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{PA}{PR} \quad (5)$$

Además, se calcularon los índices morfológicos como se describen a continuación.

Índice de robustez o esbeltez (IR):

$$IR = \frac{\text{Longitud total (cm)}}{\text{DCR (mm)}} \quad (6)$$

Índice de lignificación (IL):

$$IL = \left(\frac{\text{Biomasa seca total de la plántula (g)}}{\text{Biomasa fresca total de la plántula (g)}} \right) 100 \quad (7)$$

Índice de calidad de *Dickson* (QI):

$$QI = \frac{\text{Biomasa seca total de la plántula (g)}}{\frac{\text{Longitud total (cm)}}{DCR \text{ (mm)}} + \frac{\text{Biomasa seca aérea (g)}}{\text{Biomasa seca radicular (g)}}} \quad (8)$$

Donde:

DCR = Diámetro en el cuello de la raíz

Los índices de crecimiento se estimaron con la metodología de Hunt (1990); para ello, se hicieron dos evaluaciones, a los 90 y 120 dds (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tasa e índices de crecimiento en plantas.

Tasas e índices de crecimiento	Fórmulas	Unidades
Tasa de crecimiento absoluta (<i>TAC</i>)	$TAC = \frac{W2 - W1}{t2 - t1}$	g ⁻¹ día ⁻¹
Tasa de asimilación neta (<i>TAN</i>)	$TAN = \frac{2(W2 - W1)}{(AF2 + AF1)(t2 - t1)}$	g ⁻¹ cm ⁻² día ⁻¹
Tasa de crecimiento relativo (<i>TCR</i>)	$TCR = \frac{2(W2 - W1)}{(W2 + W1)(t2 - t1)}$	mg ⁻¹ g ⁻¹ día ⁻¹
Tasa de crecimiento del cultivo (<i>TCC</i>)	$TCC = \frac{1}{As} \frac{W2 - W1}{t2 - t1}$	g ⁻¹ cm ⁻² día ⁻¹
Razón del área foliar (<i>RAF</i>)	$RAF = \frac{1}{2} \left(\frac{AF1}{W1} + \frac{AF2}{W2} \right)$	cm ⁻² g ⁻¹
Duración de área foliar (<i>DAF</i>)	$DAF = \frac{(IAF1 + IAF2)(t2 - t1)}{2}$	cm ⁻² día ⁻¹
Índice de eficiencia foliar (<i>IEF</i>)	$IEF = \frac{Wc}{AF}$	
Índice de área foliar (<i>IAF</i>)	$IAF = \frac{AF2 - AF1}{As}$	

$W1$ = Biomasa seca a los 90 dds; $W2$ = Biomasa seca a los 120 dds; $t1$ = Tiempo inicial; $t2$ = Tiempo final; AF = Área foliar; As = Área del sustrato que ocupa la planta en su tubete (cm^2); Wc = Biomasa seca foliar (g).

Clasificación de la calidad de las plántulas

Se realizó una clasificación de la calidad de plántulas según Rueda-Sánchez *et al.* (2014) para especies latifolias tropicales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Intervalos de calidad de plantas (latifolias) para atributos morfológicos.

Variable	Calidad		
	Baja "B"	Media "M"	Alta "A"
Longitud (cm)	<12.0	12.0-14.9	≥ 15.0
Diámetro (mm)	<2.5	2.5-4.9	≥ 5.0
Índice de robustez (esbeltez)	≥ 8.0	7.9-6.0	<6.0
Relación PA/PR	≥ 2.5	2.4-2.0	<2.0
Índice de <i>Dickson</i>	<0.2	0.2-0.4	≥ 0.5
Índice de lignificación	<10.0	10.0-11.3	≥ 11.4

PA = Biomasa seca aérea; PR = Biomasa seca radicular.

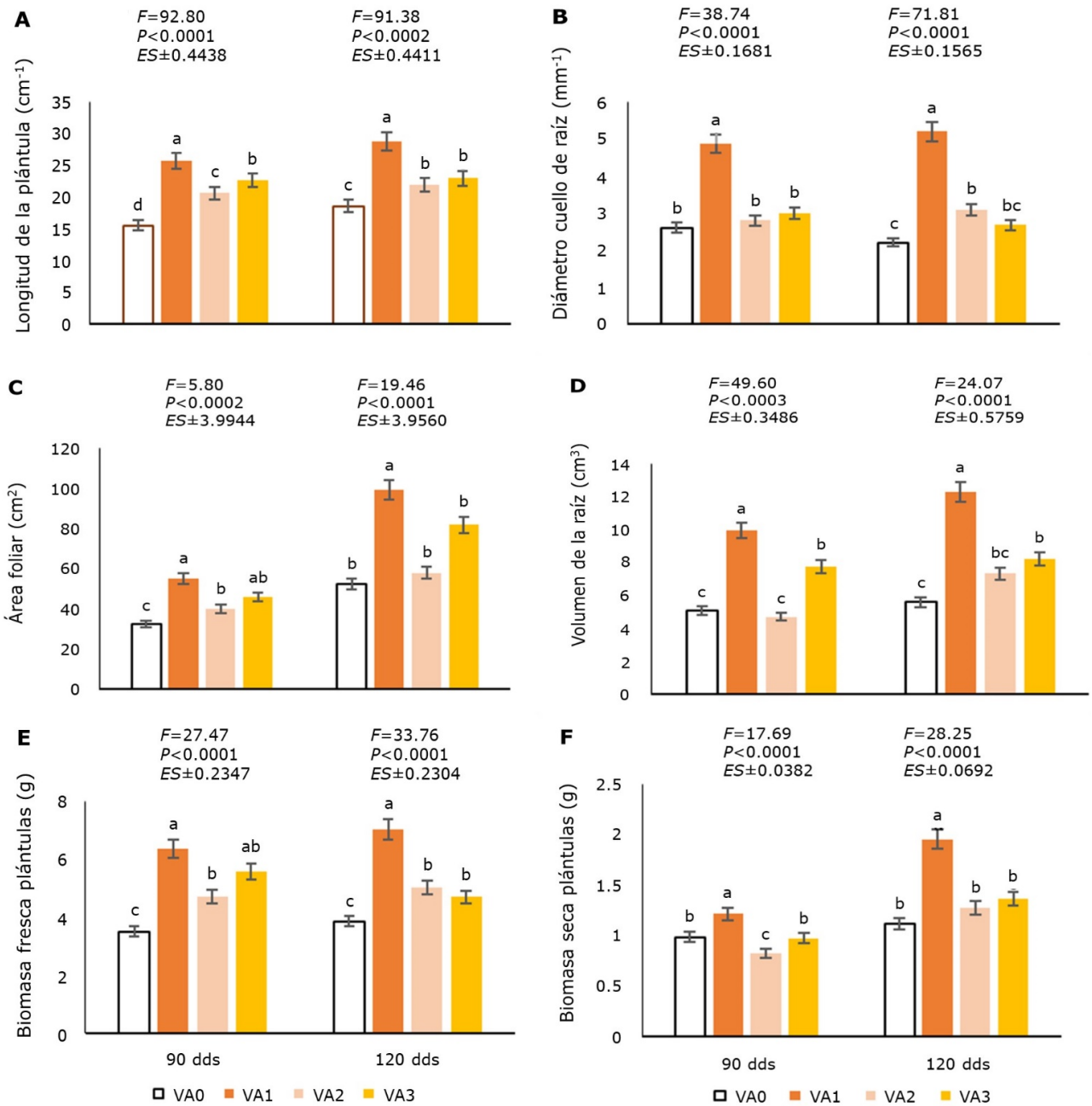
Análisis de los datos

Los datos se procesaron con el paquete estadístico *AgroEstat* (Barbosa y Maldonado, 2015) de forma independiente para cada evaluación (90-120 dds). Para la normalidad se realizó la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* (Stephens, 1992) y la prueba de *Levene* (Correa *et al.*, 2006) para la homogeneidad de varianza. Se comprobó normalidad y homogeneidad; por lo tanto, se aplicó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA) y la prueba de rangos múltiples *Tukey* ($P < 0.05$).

Resultados y Discusión

Efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento

Con el tratamiento VA1 se obtuvo mayor longitud de plántulas para ambas fechas (90 y 120 dds), con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos y un incremento de 65 y 54 % en comparación con VA0. Los tratamientos VA2 y VA3 también difirieron entre sí y superaron al control (VA0) a los 90 dds en 33 y 46 %, respectivamente. A los 120 dds, los incrementos en relación al control fueron de 18 % con VA2 y de 24 % con VA3 (Figura 1A).



A = Longitud de la plántula; B = Diámetro del cuello de la raíz; C = Área foliar; D = Volumen de la raíz; E = Biomasa fresca de la plántula; F = Biomasa seca de plántulas de *Acacia mangium* Willd. Letras desiguales indican diferencias significativas dentro de cada momento independiente (90 y 120 dds), de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de *Tukey* ($P<0.05$).

Figura 1. Efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento.

En cuanto al diámetro del cuello de la raíz (Figura 1B), se observó que las plántulas tratadas con la dosis VA1 (1.2 mL L⁻¹) fueron superiores significativamente respecto al control en 87 %. En la primera evaluación, no se registraron diferencias significativas entre el control y las dosis VA2 y VA3. Sin embargo, a los 120 dds la respuesta menos favorable se detectó en las plántulas del tratamiento VA0.

En relación al área foliar, a los 90 dds todos los tratamientos con la solución de aminoácidos superaron significativamente a VA0. Los incrementos en comparación con este último fueron de 71 % con VA1, 24 % con VA2 y 42 % con VA3. Mientras que a los 120 dds, los tratamientos VA2 y VA3 no difirieron del control; VA1 tuvo un aumento de 16 % comparado con el control (Figura 1C).

Por otra parte, en el volumen de la raíz (Figura 1D) el tratamiento con mejor respuesta fue VA1 a los 90 dds y este comportamiento se mantuvo hasta los 120 dds con aumentos en relación al control de 4.84 y 6.67 cm³. El tratamiento VA3 también mostró un efecto estimulante del volumen de la raíz con respecto a VA0 con incrementos de 2.64 y 2.63 cm³; VA2 no provocó ninguna respuesta en esta variable.

En la biomasa fresca de las plantas (Figura 1E) para ambas evaluaciones, la respuesta más favorable se obtuvo con la dosis VA1, cuyos incrementos en relación al control fueron de 82 %. El resto de los tratamientos con el producto, también difirieron significativamente del control VA0 y lo superaron en 35 y 59 %, respectivamente.

En la biomasa seca la respuesta fue similar, pues el tratamiento VA1 rebasó a VA0 en 23 % a los 90 dds y en 77 % a los 120 dds. Sin embargo, VA3 no difirió significativamente del control en ninguna de las evaluaciones. La dosis VA2 y VA3 fueron las que tuvieron una respuesta menos favorable, sin diferencias en relación al control en la última evaluación (Figura 1F).

Estos resultados evidencian que la aplicación foliar de la combinación de aminoácidos impactó en las variables longitud de las plántulas, el diámetro del cuello de la raíz, la acumulación de biomasa seca y el volumen de las raíces. Con la dosis más baja (VA1), se registraron valores medios adecuados en estas variables para el trasplante a los 90 dds (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014) (Cuadro 2). Dichas reacciones son importantes, si se considera que el diámetro es mejor predictor que la longitud en cuanto a la supervivencia en campo, mientras que un mayor volumen de las raíces hará posible que las plántulas logren más fijación y absorción de agua, lo que beneficia su establecimiento postrasplante (Morris *et al.*, 2020).

Esta respuesta es atribuida al efecto del promotor del crecimiento que aporta aminoácidos, los cuales se han asociado con efectos antioxidantes y estimulantes del crecimiento, tanto en condiciones normales como de estrés abiótico, por ejemplo la salinidad y la sequía (Sabagh *et al.*, 2019). La glicina cuando se aplica de forma independiente o combinada con triptófano tiene un papel fundamental en la formación de las clorofilas totales y el crecimiento vegetativo (Souri y Hatamian, 2019). Además, los aminoácidos en aplicación foliar mejoran el rendimiento y la calidad de los cultivos y aumentan el volumen de la raíz, lo cual se relaciona con una mejor absorción de los nutrientes y un mayor crecimiento (Souri y Hatamian, 2019; Mosa *et al.*, 2021).

En especies forestales no se encontraron datos del uso foliar de esta solución a base de aminoácidos; su aplicación en el cultivo del café, mejora la germinación, el crecimiento inicial de las plántulas y la fase de aclimatación (Posada-Pérez *et al.*, 2021; Bustamante-González *et al.*, 2023; Díaz *et al.*, 2023).

En cultivos agrícolas, tales como el rábano (*Raphanus sativus* L.) y el tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) este promotor del crecimiento ha sido ampliamente utilizado, y en ellos propicia aumentos del número de hojas, la biomasa fresca y seca de las plántulas, la longitud de la raíz y el área foliar (Peña *et al.*, 2018a; 2018b).

Efecto de los tratamientos en las tasas fisiológicas

Los tratamientos con la solución de aminoácidos generaron incrementos de la biomasa seca de las plántulas por unidad de tiempo. Se observaron aumentos significativos en la tasa de crecimiento absoluta (*TAC*), comparados con el control, de 65 % para VA1, 45 % para VA2 y 22 % para VA3. En cuanto a la tasa de asimilación neta (*TAN*), los tratamientos con dosis inferiores superaron a la VA0, con incrementos de 52 % con VA1 y 58 % con VA2 (Cuadro 3). La respuesta de las plántulas en esta variable detonó una mayor eficiencia fotosintética en los tratamientos VA1 y VA2, así como un incremento superior de materia seca por unidad de área foliar en una unidad de tiempo. Los aminoácidos cuando se aplican combinados propician estabilidad en la producción de pigmentos y en el funcionamiento del fotosistema II, lo que genera mayor eficiencia de la fotosíntesis y de la conductancia estomática en la fase vegetativa de las plantas (Peña *et al.*, 2022).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos en los índices y tasas de crecimiento de plántulas de *Acacia mangium* Willd.

Tratamientos	<i>TAC</i> (g ⁻¹ día ⁻¹)	<i>TAN</i> (g ⁻¹ cm ⁻² día ⁻¹)	<i>TCR</i> (mg ⁻¹ g ⁻¹ día ⁻¹)	<i>TCC</i> (g ⁻¹ cm ⁻² día ⁻¹)
VA0	0.01029 c	0.00019 b	0.00983 c	0.00009 c
VA1	0.01760 a	0.00029 a	0.01524 a	0.00017 a
VA2	0.01487 b	0.00030 a	0.01427 a	0.00010 b
VA3	0.01256 b	0.00020 b	0.01054 b	0.00011 b
<i>F</i> =	46.46	19.87	85.97	46.46
<i>P</i> <	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<i>ES</i>	0.0012	0.00002	0.0006	0.000008

Tratamientos	<i>RAF</i> (cm ⁻² g ⁻¹)	<i>DAF</i> (cm ⁻² día ⁻¹)	<i>IEF</i>	<i>IAF</i>
VA0	49.663 b	4.4287 b	0.004783 b	0.2952 b
VA1	45.439 a	8.1935 a	0.007189 a	0.5462 a
VA2	45.005 a	5.2592 b	0.006790 a	0.3006 b
VA3	45.214 a	7.0415 a	0.005339 b	0.4694 a
<i>F</i> =	9.91	12.14	59.46	13.14
<i>P</i> <	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<i>ES</i>	2.0222	0.4698	0.0001	0.0313

TAC = Tasa de crecimiento absoluta; *TAN* = Tasa de asimilación neta; *TCR* = Tasa de crecimiento relativo; *TCC* = Tasa de crecimiento del cultivo; *RAF* = Razón del área foliar; *DAF* = Duración de área foliar; *IEF* = Índice de eficiencia foliar; *IAF* = Índice de área foliar. Letras desiguales en la misma columna indican diferencias significativas dentro de cada variable, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de *Tukey* ($P < 0.05$).

En la tasa de crecimiento relativo (*TCR*), la respuesta fue favorable con los tratamientos VA1 y VA2, que difirieron de VA0 en 55 y 45 %, respectivamente. VA3 también superó al control en 7 %. Esto significa que las plántulas tratadas con aminoácidos tuvieron una mayor ganancia de biomasa seca por unidad de tiempo.

Respecto a la tasa de crecimiento del cultivo (*TCC*), el tratamiento VA1 destacó sobre los demás tratamientos con una acumulación de 0.00007 (g⁻¹ cm⁻² día⁻¹) más que VA2 y de 0.0006 más que VA3 con aumentos de 88 %, comparado con el control (Cuadro 3). Este resultado demuestra que hubo mayor incremento de la biomasa seca por unidad de área en el intervalo de tiempo evaluado, cuando se aplicó la combinación de aminoácidos.

En cuanto a la Razón de Área Foliar (*RAF*), se observó que con VA0 el valor fue de 49.663 (cm⁻² g⁻¹) con diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Lo anterior supone que las plántulas tratadas con cualquiera de las opciones

necesitan entre 9 y 10 % menos área para producir una unidad de biomasa, con respecto a VA0 (Cuadro 3). Por otra parte, la Duración del Área Foliar (*DAF*) fue significativamente superior en los tratamientos con la solución de aminoácidos, excepto con VA2 que no difirió del control. Una mayor Duración del Área Foliar implica más aprovechamiento en el tiempo de la radiación solar. El Índice de Eficiencia Foliar (*IEF*), VA3 no aportó beneficios significativos, mientras que VA1 y VA2 superaron a VA0 en 50 y 42 %, respectivamente. Para el Índice de Área Foliar (*IAF*), VA1 y VA3 fueron los de mejor respuesta (Cuadro 3).

Estas respuestas se asocian a la aplicación foliar de la solución de aminoácidos que en viveros forestales mejoran los índices de crecimiento de las plántulas, por una mayor acumulación de biomasa seca por unidad de tiempo (Ozyhar *et al.*, 2019). Investigaciones previas en plantas herbáceas han demostrado que la aplicación semanal de este producto resulta en aumentos en las tasas de crecimiento y acumulación de biomasa seca (Peña *et al.*, 2018a; 2018b).

Efecto de los tratamientos sobre las variables morfológicas

En el Índice de robustez (*IR*) se observó la mejor respuesta con el tratamiento VA1, con diferencias respecto a VA0, e incrementos de 16 y 54 % a los 90 y 120 dds, respectivamente. Por otro lado, en la relación de *PA/PR* (relación biomasa seca de la parte aérea y biomasa seca radicular) no se observaron diferencias entre los tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos sobre los índices morfológicos de plántulas de *Acacia mangium* Willd.

Primera evaluación 90 (dds)				
Tratamientos	H/D	PA/PR	QI	IL
VA0	6.18 b	2.15 a	0.12 b	29.05 a
VA1	5.32 a	1.85 a	0.17 a	19.83 b
VA2	7.72 bc	1.88 a	0.08 c	17.59 b
VA3	8.01 c	2.15 a	0.10 bc	17.90 b
F=	10.45	1.95	28.10	17.75
P<	0.0001	0.1327	0.0001	0.0001
ES	0.3946	0.1181	0.0067	1.2805
Segunda evaluación 120 (dds)				
Tratamientos	H/D	PA/PR	QI	IL
VA0	8.64 bc	1.99 b	0.10 b	28.84 a
VA1	5.62 a	3.27 a	0.22 a	27.78 ab
VA2	7.32 b	2.30 b	0.14 b	25.28 b
VA3	9.15 c	2.19 b	0.12 b	29.04 a
F=	15.42	23.23	33.79	5.65
P<	0.0001	0.0011	0.0003	0.0019
ES	0.4014	0.1174	0.0087	0.7271

H/D = Índice de robustez; *PA/PR* = Relación biomasa seca de la parte aérea y biomasa seca radicular; *QI* = Índice de *Dickson*; *IL* = Índice de lignificación. Letras desiguales en la misma columna indican diferencias significativas dentro de cada variable, de acuerdo a la prueba de rangos múltiples de *Tukey* ($P < 0.05$).

Los valores del Índice de Calidad de *Dickson* están por debajo de la calidad media (Rueda-Sánchez *et al.*, 2014) con todos los tratamientos, excepto para el tratamiento VA1 a los 120 dds, ya que se ubica dentro del intervalo establecido como calidad media (0.2-0.4). La mejor respuesta en el Índice de Lignificación (*IL*) fue a los 120 dds, aunque no se identificaron diferencias en relación al control (Cuadro 4).

Se observó que la longitud de plántulas se clasificó de calidad alta, cuando se aplicaron 1.2 mL L⁻¹ de *VIUSID Agro*[®], mientras que VA2 y VA3 presentaron una

calidad media, y el control una calidad baja. En relación al Índice de Robustez y la relación *PA/PR*, únicamente el tratamiento VA1 alcanzó una calidad alta, mientras que en el Índice de *Dickson* la calidad fue baja para todos los tratamientos (Cuadro 5). A los 120 dds, la longitud se mantuvo en el intervalo de calidad alta, pero en diámetro y robustez solo VA1 fue considerado de alta calidad. En las demás variables, incluido el Índice de *Dickson*, se registró una calidad media con el tratamiento VA1.

Cuadro 5. Valoración de la calidad de plántulas para atributos morfológicos.

Primera evaluación 90 (dds)					
Tratamientos	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Esbeltez	Relación PA/PR	Índice de <i>Dickson</i>
VA0	A	B	M	M	B
VA1	A	A	A	A	B
VA2	A	M	M	A	B
VA3	A	M	B	M	B
Segunda evaluación 120 (dds)					
Tratamientos	Longitud (cm)	Diámetro (mm)	Esbeltez	Relación PA/PR	Índice de <i>Dickson</i>
VA0	A	B	B	A	B
VA1	A	A	A	M	M
VA2	A	M	M	M	B
VA3	A	M	B	M	B

A = Calidad alta; M = Calidad media; B = Calidad baja; PA = Biomasa seca aérea; PR = Biomasa seca radicular.

La longitud fue la variable destacada en la evaluación; sin embargo, Rueda-Sánchez *et al.* (2014) sugieren que la longitud no siempre se correlaciona directamente con la supervivencia, ya que plantas altas pero delgadas pueden ser vulnerables al viento.

El producto no ha sido evaluado en plántulas de *Acacia*, pero se detectaron resultados positivos en plántulas de café en las que la aplicación foliar combinada de los aminoácidos propició mejoras notorias en la calidad de las plántulas, especialmente, en la producción de biomasa y los índices morfológicos (Posada-Pérez *et al.*, 2021; Díaz *et al.*, 2023).

Álvarez *et al.* (2022) afirman que la aplicación foliar de bioestimulantes orgánicos y promotores del crecimiento con abundancia de aminoácidos favorecen el crecimiento de las plántulas de especies forestales producidas en vivero, además incrementa la supervivencia en campo.

Conclusiones

La aplicación foliar del promotor del crecimiento favorece las características morfológicas, las tasas de crecimiento e índices de calidad de las plántulas de *A. mangium*. La dosis efectiva de VA1 (1.2 mL L⁻¹) en todas las variables evaluadas fue la más baja. Estos resultados sugieren que con esta aplicación se logra reducir al menos 60 días el tiempo de permanencia de la planta en vivero, lo que coincide con la última etapa de viverización. Lo anterior debería considerarse en las estrategias de manejo de esta especie en viveros forestales para optimizar su producción. A los 120 dds surgen patrones de calidad entre alto y medio con el tratamiento VA1, que indican la posibilidad de realizar un trasplante efectivo en ese momento del ciclo del cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al programa de Maestría en Ciencias Agrícolas de la Universidad de *Sancti Spiritus* José Martí Pérez. Al proyecto institucional: Universidad, agricultura urbana y comunidades rurales: un enfoque interdisciplinario para promover la soberanía alimentaria y la igualdad de género (AgroFuturo), código: NA223SS500-035. Al vivero forestal "Espinal" por ofrecer sus instalaciones para el desarrollo de la investigación. Además, a la empresa Catalysis (Madrid-España) por la donación del promotor del crecimiento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribución por autor

Kolima Peña Calzada y Ana Gertrudis Trocones Boggiano: conceptualización y diseño del estudio, análisis estadísticos y redacción del manuscrito final; Luis Delgado Fernández: análisis de la información y redacción del manuscrito original; Yarlenis Martínez Alonso y Yandy Martín Conesa: toma de datos en campo y análisis de la información; Alexander Calero Hurtado: elaboración de figuras, revisión de datos y redacción del manuscrito final; Juan Carlos Rodríguez Fernández: análisis estadístico y redacción del manuscrito original.

Referencias

Álvarez T., A., J. E. Gutiérrez C., A. A. Meza C. y C. E. Murga T. 2022. Efecto de abonos foliares líquidos orgánicos en la calidad de plantones de cedro colorado (*Cedrela odorata* L.), en fase de vivero. *Llamkasun* 3(2):60-75. Doi: 10.47797/llamkasun.v3i2.106.

Barbosa, J. C. e W. Maldonado J. 2015. Experimentação agronômica & agroestat. Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. Multipress. Brasília, BSB, Brasil. 396 p.

Bustamante-González, C. A., Y. Vázquez-Osorio, I. Fernández-Rosales and Y. Ferrás-Negrin. 2023. Effects of different VIUSID Agro® concentrations on the growth of *Coffea arabica* L. seedlings. *Agro Productividad* 16(7):79-87. Doi: 10.32854/agrop.v16i7.2522.

Correa, J. C., R. Iral y L. Rojas. 2006. Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística* 29(1):57-76. <https://www.redalyc.org/pdf/899/89929104.pdf>. (21 de diciembre de 2023).

de Lima F., O. F., M. Santos da S., W. P. de Oliveira V. e R. Pereira Z. 2018. Limpeza de areia para experimentos em nutrição de plantas (Comunicado Técnico 232). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1086556/1/Comunicado232.pdf>. (12 de diciembre de 2023).

Díaz M., A., A. Carrillo G. y C. Suárez P. 2023. Efecto de bioproductos sobre el desarrollo de posturas de café en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 14(4):495-505. Doi: 10.29312/remexca.v14i4.3303.

Harrington, J. T., J. G. Mexal and J. T. Fisher. 1994. Volume displacement provides a quick and accurate way to quantify new root production. *Tree Planter's Notes* 45(4):121-124. <https://rngr.net/publications/tpn/45-4/volume-displacement-provides-a-quick-and-accurate-way-to-quantify-new-root-production>. (21 de diciembre de 2023).

- Hunt, R. 1990. Absolute growth rates. *In*: Hunt, R. (Author). Basic Growth Analysis. Springer. Dordrecht, D, Netherlands. pp. 17-24.
- Kawade, K., H. Tabeta, A. Ferjani and M. Y. Hirai. 2023. The roles of functional amino acids in plant growth and development. *Plant and Cell Physiology* 64(12):1482-1493. Doi: 10.1093/pcp/pcad071.
- Khurana, E. and J. S. Singh. 2001. Ecology of seed and seedling growth for conservation and restoration of tropical dry forest: a review. *Environmental Conservation* 28(1):39-52. Doi: 10.1017/S0376892901000042.
- Mataffo, A., P. Scognamiglio, A. Dente, D. Strollo, ... and B. Basile. 2020. Foliar application of an amino acid-enriched urea fertilizer on 'Greco' grapevines at full veraison increases berry yeast-assimilable nitrogen content. *Plants* 9(5):619. Doi: 10.3390/plants9050619.
- Morris, T. L., N. N. Barger and M. D. Cramer. 2020. Ecophysiological traits of invasive alien *Acacia cyclops* compared to co-occurring native species in Strandveld vegetation of the Cape Floristic Region. *Austral Ecology* 45(1):48-59. Doi: 10.1111/aec.12827.
- Mosa, W. F. A., H. M. Ali and N. R. Abdelsalam. 2021. The utilization of tryptophan and glycine amino acids as safe alternatives to chemical fertilizers in apple orchards. *Environmental Science and Pollution Research* 28:1983-1991. Doi: 10.1007/s11356-020-10658-7.
- Nirsatmanto, A., S. Sunarti, N. K. Kartikawati, A. I. Putri, ... and A. Rimbawanto. 2022. Utilizing forest genetic resources in developing a new variety of *Acacia* hybrid (*Acacia mangium* × *Acacia auriculiformis*) to support the sustainable use of plants in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1116(2022):1-9. Doi: 10.1088/1755-1315/1116/1/012042.
- Oliveira, I. R., B. Bordron, J. P. Laclau, R. R. Paula, ... and J. P. Bouillet. 2021. Nutrient deficiency enhances the rate of short-term belowground transfer of nitrogen from *Acacia mangium* to *Eucalyptus* trees in mixed-species plantations. *Forest Ecology and Management* 491:119192. Doi: 10.1016/j.foreco.2021.119192.

Ozyhar, T., G. Mughini and M. Marchi. 2019. Influence of biostimulant application in containerized *Eucalyptus globulus* Labill. seedlings after transplanting. *Dendrobiology* 82:17-23. Doi: 10.12657/denbio.082.003.

Peña C., K., D. Olivera V., E. Habermann, A. Calero H., ... and J. C. Rodríguez. 2022. Exogenous application of amino acids mitigates the deleterious effects of salt stress on soybean plants. *Agronomy* 12(9):2014. Doi: 10.3390/agronomy12092014.

Peña C., K., J. C. Rodríguez, D. Olivera V., A. Calero H., J. F. Meléndrez y R. García V. 2018a. Efecto de dosis de VIUSID Agro® en el comportamiento morfofisiológico y productivo del rábano (*Raphanus sativus* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía* 35:293-317. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27278/27919>. (22 de diciembre de 2023).

Peña, K., J. C. Rodríguez, D. Olivera, A. Calero, ... and B. Kukurtcu. 2018b. Effect of the growth promoter VIUSID Agro on the morphophysiological and productive performance of tobacco growth (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology B* 8(3):157-167. Doi: 10.17265/2161-6264/2018.03.002.

Pérez B., Y. L., C. Ríos A. e I. Díaz H. 2019. Relaciones morfométricas en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* Willd en dos regiones de Villa Clara. *Centro Agrícola* 46(3):30-38. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n3/0253-5785-cag-46-03-30.pdf>. (23 de mayo de 2023).

Pérez B., Y. L., R. Reyes Q. y C. Ríos A. 2017. Variables dasométricas relacionadas con la productividad de *Acacia mangium* Willd. *Centro Agrícola* 44(2):14-21. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v44n2/cag02217.pdf>. (21 de diciembre de 2023).

Posada-Pérez, L., R. Barbón R., A. Capote P., A. Pérez P., ... and R. Gómez-Kosky. 2021. Effect of VIUSID-Agro™ on the conversion of somatic embryos of coffee (*Coffea arabica* L.) cv. Red Caturra rojo-884. *African Journal of Biotechnology* 20(6):229-236. Doi: 10.5897/AJB2021.17321.

Reid, N. M., K. Wigley, A. Nusrath, S. J. Smail and L. G. Garrett. 2024. Use of nitrogen-fixing plants to improve planted forests soil fertility and productivity in

New Zealand: A review. *New Zealand Journal of Forestry Science* 54(2024):8. Doi: 10.33494/nzjfs542024x329x.

Rueda-Sánchez, A., J. de D. Benavides-Solorio, J. T. Sáenz-Reyes, H. J. Muñoz F., J. Á. Prieto-Ruiz y G. Orozco G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(22):58-73. Doi: 10.29298/rmcf.v5i22.350.

Sabagh, A. E., A. Hossain, M. S. Islam, C. Barutçular, ... and J. A. T. da Silva. 2019. Sustainable soybean production and abiotic stress management in saline environments: a critical review. *Australian Journal of Crop Science* 13(2):228-236. Doi: 10.21475/ajcs.19.13.02.p1285.

Souri, M. K. and M. Hatamian. 2019. Aminochelates in plant nutrition: a review. *Journal of Plant Nutrition* 42(1):67-78. Doi: 10.1080/01904167.2018.1549671.

Stephens, M. A. 1992. Introduction to Kolmogorov (1933) on the empirical determination of a distribution. *In*: Kotz, S. and N. L. Johnson (Edits.). *Breakthroughs in Statistics. Methodology and Distribution*. Springer. New York, NY, United States of America. pp. 93-105. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4612-4380-9_9. (21 de diciembre de 2023).



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.