



## Bioestimulantes en plátano: Crecimiento y calidad de plántulas en aclimatación

Biostimulants in plantain: growth and quality of seedlings during acclimatization

Bioestimulantes em banana: crescimento e qualidade de mudas na aclimação

ARTÍCULO ORIGINAL



Escanea en tu dispositivo móvil

o revisa este artículo en:

<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.320>

Pierina Selená Zambrano Saavedra<sup>1</sup>   
pzambrano6334@utm.edu.ec

Francisco Xavier Arteaga Alcívar<sup>2</sup>   
javier.arteaga@utm.edu.ec

Galo Alexander Cedeño García<sup>3</sup>   
gcedeno@espam.edu.ec

George Alexander Cedeño-García<sup>3</sup>   
gcedeno@espam.edu.ec

<sup>1</sup>Facultad de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador

<sup>3</sup>Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Manuel Félix López. Calceta, Ecuador

Artículo recibido 19 de julio 2024 / Arbitrado 28 de agosto 2024 / Publicado 20 de septiembre 2024

### RESUMEN

La producción de plátano enfrenta numerosos desafíos para garantizar un crecimiento óptimo y calidad de las plántulas durante la aclimatación. En este sentido, la utilización de microorganismos eficientes nativos son una alternativa biotecnológica para adaptar plantas in vitro. El presente trabajo tiene como **objetivo** evaluar el impacto de bioestimulantes en el crecimiento y calidad de las plántulas de dos variedades de plátano, Barraganete y Hartón. La investigación se realizó en Santa Rita, Manabí, Ecuador, utilizando plántulas propagadas in vitro y trasplantadas en bolsas de polietileno con una mezcla de tierra agrícola, compost y arena de río. Se midieron variables como altura de planta, diámetro del pseudotallo, peso seco de raíces, peso seco total, área foliar e índice de clorofila. Los **resultados** mostraron que los ácidos húmicos y los aminoácidos incrementaron significativamente la altura de las plantas (hasta un 25%) y el peso seco de raíces (hasta un 30%) en Barraganete.

**Palabras clave:** Aclimatación; Absorción de nutrientes; Bioestimulantes; Nutrientes; Propagación

### ABSTRACT

Optimal growth and quality of seedlings during acclimatization. In this sense, the use of efficient native microorganisms is a biotechnological alternative to adapt plants in vitro. The present work **aims** to evaluate the impact of biostimulants on the growth and quality of seedlings of two banana varieties, Barraganete and Hartón. The research was carried out in Santa Rita, Manabí, Ecuador, using seedlings propagated in vitro and transplanted in polyethylene bags with a mixture of agricultural soil, compost and river sand. Variables such as plant height, pseudostem diameter, root dry weight, total dry weight, leaf area and chlorophyll index were measured. The **results** showed that humic acids and amino acids significantly increased plant height (up to 25%) and root dry weight (up to 30%) in Barraganete.

**Key words:** Acclimatization; Nutrient uptake; Biostimulants; Nutrients; Propagation

### RESUMO

Ótimo crescimento e qualidade das plântulas durante a aclimação. Neste sentido, a utilização de microrganismos nativos eficientes é uma alternativa biotecnológica para a adaptação das plantas in vitro. O **objetivo** deste trabalho é avaliar o impacto dos bioestimulantes no crescimento e na qualidade de plântulas de duas variedades de bananeira, a Barraganete e a Hartón. A investigação foi realizada em Santa Rita, Manabí, Equador, utilizando plântulas propagadas in vitro e transplantadas em sacos de polietileno com uma mistura de solo agrícola, composto e areia de rio. Foram medidas variáveis como a altura da planta, o diâmetro do pseudocaule, a massa seca da raiz, a massa seca total, a área foliar e o índice de clorofila. Os **resultados** mostraram que os ácidos húmicos e os aminoácidos aumentaram significativamente a altura das plantas (até 25%) e o peso seco das raízes (até 30%) em Barraganete.

**Palavras-chave:** Aclimação; Absorção de nutrientes; Bioestimulantes; Nutrientes; Espalhar

## INTRODUCCIÓN

La eficiencia y calidad del proceso de las plantas meristemáticas dependen en parte de la fase de aclimatación y vivero; dado que, las condiciones ambientales son diferentes a las condiciones *in vitro*, los explantes enraizados son sensibles a cambios agrometeorológicos provocando que las mismas no sobrevivan e incluso tarden extensas semanas para su adaptación. Por tal motivo, en la fase de aclimatación es necesario temperaturas promedio de  $25 \pm 2$  °C con 70 a 90 % de humedad relativa y baja luminosidad.

El plátano (*Musa AAB Simmonds*) tiene importancia en el orden alimentario, social y económico a nivel local y global, debido a que contribuye a la generación de divisas, fuentes de empleo y sustenta la seguridad alimentaria de gran parte de la población, dado su alto valor energético y nutritivo (1-3). La principal problemática es la baja productividad, influenciada por factores limitantes como: déficit hídrico por una prolongada época seca, falta de riego complementario, pues el 81% de la superficie se cultiva bajo secano, uso de semillas de baja calidad y material genético tradicional, plantaciones en avanzada edad y densidades de siembra inadecuadas (4-6).

En este contexto, la producción de plátano es una actividad agrícola de gran relevancia económica y social en muchas regiones tropicales

y subtropicales. Sin embargo, los productores enfrentan numerosos desafíos para garantizar un crecimiento óptimo y una alta calidad de las plántulas durante las primeras fases de crecimiento. Esta etapa crítica del desarrollo vegetal es determinante para el éxito del cultivo, ya que las plántulas deben adaptarse a condiciones ambientales variables y potencialmente estresantes. En este contexto, la utilización de bioestimulantes se ha propuesto como una alternativa para mejorar la vigorosidad y calidad de las plántulas de plátano.

Por otro lado, las prácticas agrícolas actuales muestran que los sembríos de plátano generalmente se propagan mediante la utilización de cormos extraídos directamente del campo, los cuales no brindan condiciones de uniformidad en el crecimiento y tampoco una garantía fitosanitaria. Esta práctica convencional resulta en plántulas de calidad y vigor variable, lo que afecta negativamente la uniformidad del cultivo y la productividad general. La falta de uniformidad en el crecimiento se traduce en una menor tasa de supervivencia y una mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas, presentando un problema significativo para los agricultores.

Las plántulas de plátano deberían mostrar un crecimiento robusto y uniforme, acompañado de características fisiológicas y morfológicas óptimas que aseguren su supervivencia y rendimiento futuro en campo abierto. Esto conlleva alcanzar

plantas de plátano con la capacidad para establecerse rápidamente y resistir condiciones adversas, lo cual es esencial para maximizar la productividad y sostenibilidad del cultivo de plátano.

La utilización de plántulas propagadas en laboratorio se presenta como una alternativa viable para superar estas limitaciones. Estas plántulas, producidas en condiciones controladas, pueden ofrecer una mayor uniformidad en el crecimiento y una garantía fitosanitaria superior, asegurando un mejor establecimiento en el campo. Al incorporar bioestimulantes en el manejo de estas plántulas, es posible promover un desarrollo más vigoroso.

Las investigaciones han mostrado que los bioestimulantes pueden influir positivamente en diversos aspectos del crecimiento de las plántulas de plátano, incluyendo la estimulación de la raíz, el aumento en la absorción de nutrientes y la mejora en las respuestas fisiológicas al estrés ambiental. Sin embargo, es fundamental entender cómo estos productos interactúan con diferentes variedades de plátano y bajo qué condiciones resultan más efectivos. La implementación exitosa de bioestimulantes requiere un conocimiento detallado de sus mecanismos de acción y de las condiciones específicas del cultivo.

A pesar del potencial de los bioestimulantes, existen desafíos que deben ser abordados para su adopción generalizada. La variabilidad en la

respuesta de las plantas, la falta de normativas claras y la necesidad de investigaciones adicionales son factores que pueden limitar su uso. No obstante, con el avance de la investigación científica y la difusión de conocimientos, es posible superar estos obstáculos y lograr una integración efectiva de los bioestimulantes en la agricultura moderna.

La falta de adopción de bioestimulantes y el uso continuado de cormos del campo pueden llevar a una perpetuación de los problemas actuales en la producción de plátano, como la baja calidad de las plántulas y la reducción en los rendimientos. Por el contrario, la adopción de plántulas propagadas en laboratorio y el uso de bioestimulantes tienen el potencial de mejorar el manejo de plántulas, ofreciendo soluciones sostenibles y mejorando la resiliencia de los cultivos ante condiciones adversas. La evaluación continua y la adaptación de estrategias basadas en bioestimulantes son esenciales para maximizar sus beneficios y minimizar sus limitaciones.

Actualmente, el uso de bioestimulantes en etapas previas al trasplante es propuesto como estrategia para fortalecer el crecimiento de las plántulas, su capacidad adaptativa al estrés y supervivencia en campo (7-9). De acuerdo a consensos científicos, los bioestimulantes tanto microbianos y no microbianos son capaces de inducir respuestas morfoanatómicas, bioquímicas, fisiológicas y moleculares de las plantas, el aumento

de la productividad de los cultivos, la eficiencia de uso de nutrientes y el aumento de la tolerancia contra el estrés (10). A juicio de los expertos, en investigaciones recientes, el efecto positivo de bioestimulantes microbianos y no microbianos sobre el crecimiento de plántulas de banano y plátano en fase de aclimatación en vivero (11-13). Sin embargo, a nivel local, no se evidencia si los bioestimulantes aplicados en etapa de vivero mejoren la calidad de plántulas de plátano.

Por lo anterior, es preciso intencionar las siguientes interrogantes ¿De qué manera los bioestimulantes pueden optimizar el crecimiento y calidad de las plántulas de plátano durante la fase de aclimatación? Esta pregunta de investigación busca entender el impacto específico de los bioestimulantes en el desarrollo de las plántulas propagadas en laboratorio, proporcionando una base para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en la agricultura del plátano. La respuesta a esta pregunta podría tener implicaciones significativas para la mejora de las prácticas agrícolas y la sostenibilidad del cultivo de plátano.

Por lo anterior expuesto, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el impacto de los bioestimulantes en el crecimiento y calidad de las plántulas de dos variedades de plátano durante la fase de aclimatación.

## METODOLOGÍA

### Diseño experimental y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado en arreglo factorial 2x4 con seis repeticiones, donde el primer factor corresponde al tipo de extracto (PS o LH) y el segundo a las dosis aplicadas (0, 10, 30 y 100%). Las dosis de los extractos fueron calculadas considerando que el extracto original obtenido tiene una concentración del 100%, a partir del cual se hicieron diluciones con agua para obtener las restantes (10 y 30%). La dosis de 0% se corresponde a plantas no tratadas con los extractos. Se aplicaron 20 ml del extracto por cada planta con una frecuencia de 2 veces por semana.

Esta investigación se llevó a cabo en la parroquia Santa Rita, cantón Chone, provincia de Manabí, Ecuador, entre los meses de octubre de 2020 y febrero de 2021. La parroquia Santa Rita se caracteriza por un clima tropical húmedo, con una temperatura media anual de 26°C y una precipitación anual de 1200 mm, lo cual proporciona condiciones ideales para el cultivo de plátano. La humedad relativa promedio es del 85%, con una altitud de 30 metros sobre el nivel del mar, y suelos predominantemente franco-limosos, bien drenados y ricos en materia orgánica.

Estos factores ambientales crean un entorno propicio para el crecimiento y desarrollo de cultivos tropicales, facilitando el establecimiento de ensayos agrícolas controlados.

La investigación se realizó en un vivero utilizando bolsas plásticas de polietileno con medidas de 8 x 12 pulgadas, asegurando un entorno controlado para el desarrollo de las plántulas. El sustrato utilizado para llenar las bolsas estuvo constituido por una relación 1:1:1 de tierra agrícola, compost y arena de río. Esta mezcla se seleccionó para proporcionar una base equilibrada de nutrientes y una buena estructura de drenaje, favoreciendo el crecimiento óptimo de las plántulas. Además, se utilizó sarán de poliéster con el 25% de sombra para evitar la radiación directa a las plántulas durante las primeras tres semanas de crecimiento. Este enfoque integral permitió evaluar el impacto de los bioestimulantes en un ambiente de cultivo controlado, garantizando condiciones óptimas para el desarrollo de las plántulas y facilitando la medición precisa de las variables de crecimiento y calidad.

## Tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron:

T 1: Bioestimulante + fertilización química.

T 2: Fertilización química.

T 3: Control Localización y descripción del ensayo.

## Registro de variables

En la investigación se evaluaron diferentes variables de respuesta para entender el crecimiento y desarrollo de las plántulas de plátano bajo diferentes tratamientos de bioestimulantes. La altura de planta, medida con un flexómetro, se determinó a los 60 días después del trasplante, desde la base del tallo hasta la inserción de la última hoja bien expandida. El diámetro del tallo se midió con un calibrador digital a dos centímetros desde la inserción entre el tallo y el pan de tierra. El peso seco de las plántulas se obtuvo cosechando tres plantas por unidad experimental, las cuales se deshidrataron en una estufa a 70°C durante 72 horas hasta alcanzar un peso constante, y se midió con una balanza analítica, indicando la biomasa acumulada. El área foliar de las plántulas de plátano se calculó utilizando una combinación de la longitud y el ancho de la tercera hoja, junto con factores de curvatura específicos, para obtener una estimación precisa del área fotosintéticamente activa. A los 60 días desde el trasplante, se midieron la longitud (LH) y el ancho (AH) de la tercera hoja bien expandida. La fórmula utilizada para el cálculo del área foliar (AF) fue la siguiente:

$$AF(cm^2) = LH * AH * K_1 * NH * K_2$$

LH: representa la longitud de la tercera hoja y AH el ancho de la tercera hoja, ambos medidos en centímetros. El término K1, con un valor de 0.80, es un factor de curvatura que ajusta la medición debido a la forma curva natural de las hojas de plátano. NH es el número total de hojas, y K2, con un valor de 0.662, es un nuevo factor de curvatura que proporciona un ajuste adicional para mejorar la precisión del cálculo del área foliar.

El índice de clorofila se midió utilizando un SPAD 502 Minolta en la segunda hoja bien expandida, reflejando la cantidad de clorofila. Además, se evaluó el índice de calidad de Dickson (DQI), fue evaluada según Magomere et al., el cual hace referencia a una medida integral que combina varias variables de crecimiento, incluyendo la relación altura-diámetro y la biomasa total, para ofrecer una evaluación holística de la calidad de las plántulas. Este índice se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{DQI} = [\text{Peso seco total (g)} / [(\text{Altura (cm)} / \text{Diámetro (mm)}) + (\text{Peso seco aéreo (g)} / \text{Peso seco raicular (g)})]]$$

Los datos registrados fueron variables morfométricas como altura de plántula, diámetro de tallo y longitud de biomasa radical a los 60 días de iniciado los tratamientos. La altura se midió en cm desde el nivel del sustrato hasta la V formada por las dos últimas hojas. El diámetro de tallo se registró en mm con la ayuda de un calibrador a

nivel del sustrato. La longitud de biomasa radical fue medida en cm desde la base del rizoma hasta el ápice del conjunto de raíces. El área foliar fue estimada con la ecuación [1]. El índice de calidad de Dickson (ICD) fue estimado con la ecuación.

La masa seca de plantas fue registrada en g a los 15, 30, 45 y 60 días de crecimiento, para lo cual fueron fragmentadas en pedazos pequeños y secados en estufa de ventilación forzada a 75°C hasta alcanzar peso constante. Con los datos de masa seca se calculó el ritmo de crecimiento diario, para lo cual se utilizó la ecuación.

$$\text{Área Foliar (cm}^2\text{)} = \text{LH} * \text{AH} * \text{K (0,80)} * \text{NH} * \text{K}_2 \text{ (0,662)}$$

Donde:

LH = longitud de tercera hoja

AH = ancho de tercera hoja

K = factor de curvatura de Murray (1960)

NH = número de hojas

$K_2$  = nuevo factor de curvatura de Kumar et al., (2002).

## Análisis de datos

Se evaluaron las variedades de plátano Barraganete y Hartón, para la exportación como fruta fresca y para la generación de productos derivados, como snacks. Estas variedades fueron seleccionadas debido a su alta demanda en el mercado internacional y su relevancia

económica. Además, se utilizaron cinco tipos de bioestimulantes en el experimento: Melaza, Ecohormona, Aminoácidos, Ácidos húmicos y un biofertilizante. La melaza, rica en azúcares y nutrientes, mejora la actividad microbiana del suelo. La ecohormona, compuesta por extractos de algas, aporta fitohormonas y vitaminas. Los aminoácidos son esenciales para la síntesis de proteínas y mejoran el metabolismo vegetal. Los ácidos húmicos aumentan la absorción de nutrientes y mejoran la estructura del suelo. Por último, el biofertilizante contiene microorganismos beneficiosos que mejoran la disponibilidad de nutrientes.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza al 5% de probabilidades de error, la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error. Además, se realizaron correlaciones entre variables de crecimiento y calidad, y regresión del ritmo de crecimiento de masa seca.

## Procedimiento

El material vegetal utilizado en este ensayo fue de propagación in vitro tanto para la variedad Barraganete como para la variedad Hartón. Las plantas llegaron en fase de endurecimiento desde el laboratorio, asegurando que estuvieran listas para ser trasplantadas. Las plantas fueron sembradas directamente en las bolsas plásticas previamente llenadas con un sustrato desinfectado

utilizando Captan 80, un fungicida efectivo para eliminar posibles patógenos del suelo. Este procedimiento garantizó un entorno libre de enfermedades para las plántulas.

Las bolsas plásticas de polietileno fueron ubicadas en platabandas con una disposición que permitía colocar tres bolsas en fila, optimizando el espacio disponible. Esta configuración ayudó a evitar el autosombreamiento y la competencia entre las plántulas, permitiendo que cada una recibiera la cantidad adecuada de luz solar y aireación. La distribución adecuada de las bolsas fue esencial para asegurar un crecimiento uniforme y prevenir problemas de desarrollo desigual entre las plantas. El riego se realizó mediante un sistema de microaspersión, proporcionando agua de manera uniforme y controlada a todas las plántulas. La frecuencia de riego fue de tres veces por semana, ajustada para mantener el sustrato constantemente húmedo, pero sin llegar a encharcarlo.

Se realizó fertilización edáfica a los 10 y 35 días después del trasplante de las plantas. En cada aplicación se utilizaron 20 gramos de una mezcla de fertilizante, compuesta por Yaramila Complex y urea en una relación 1:1. Esta combinación se eligió por su capacidad para proporcionar una nutrición balanceada y fomentar el crecimiento vigoroso de las plántulas [13]. Además, el control de maleza se llevó a cabo de manera manual, asegurando la eliminación de cualquier maleza

que pudiera competir con las plantas de plátano por recursos como nutrientes, agua y luz.

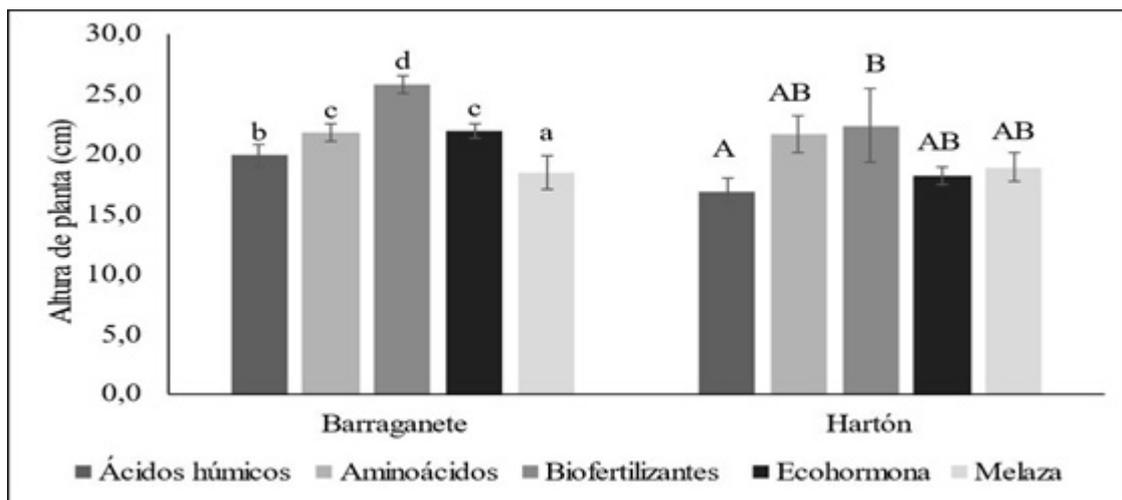
En el ensayo se utilizaron dos variedades de plátano comerciales de exportación tipo cuerno: variedades de plátano Barraganete y Hartón. Para cada variedad de plátano fue evaluado el efecto de diversos bioestimulantes, cuyas características son variadas y conocidas ampliamente por otras investigaciones (melaza, ácidos húmicos, ecohormona, aminoácidos y biofertilizantes). En total fueron evaluados cinco tratamientos en cada variedad de plátano generados por los bioestimulantes. Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron de manera foliar a los 15 y 30 días después del trasplante de las plantas, asegurando una distribución uniforme de los bioestimulantes sobre las hojas de las plántulas. La administración de los bioestimulantes en dos etapas estratégicas del crecimiento ayudó a maximizar su efectividad.

En el presente experimento se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con cuatro repeticiones. Este diseño permitió evaluar de manera eficiente el efecto de los bioestimulantes en cada variedad de plátano por

separado. Para el análisis estadístico de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%. Para la comparación de medias entre los tratamientos, se utilizó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) al 5%. El análisis de los datos se llevó a cabo utilizando el software Infostat Profesional 2018.

## RESULTADOS

Los tratamientos evaluados influyeron significativamente ( $p < 0.05$ ) sobre el crecimiento morfométrico de las plántulas de plátano para ambas variedades, barraganete y hartón Figura 1. En la variedad barraganete, los tratamientos con ácidos húmicos y aminoácidos presentaron un incremento notable en la altura de las plantas, indicando una posible mejora en la eficiencia de absorción de nutrientes y en la activación de rutas metabólicas relacionadas con el crecimiento. Los biofertilizantes también contribuyeron positivamente, aunque en menor medida comparado con los ácidos húmicos y aminoácidos, sugiriendo un beneficio moderado en el desarrollo inicial del tallo.



**Figura 1.** Variables morfológicas de plántulas de plátano (altura de planta) a los 60 días de aclimatación en vivero. (Barraganete y Hartón).

Por otro lado, la variedad plátano hartón mostró un patrón de respuesta distinto (tabla 1). Las plantas tratadas con ecohormonas presentaron una mayor altura, lo cual podría estar asociado con una regulación más eficiente del crecimiento celular y elongación del tallo. La melaza, aunque efectiva, mostró resultados inferiores comparados

con las ecohormonas, lo que podría deberse a la diferente disponibilidad de azúcares y compuestos bioactivos. Al comparar las variedades, se observa que barraganete tiene una mayor sensibilidad a los tratamientos con ácidos húmicos y aminoácidos, mientras que hartón responde mejor a las ecohormonas.

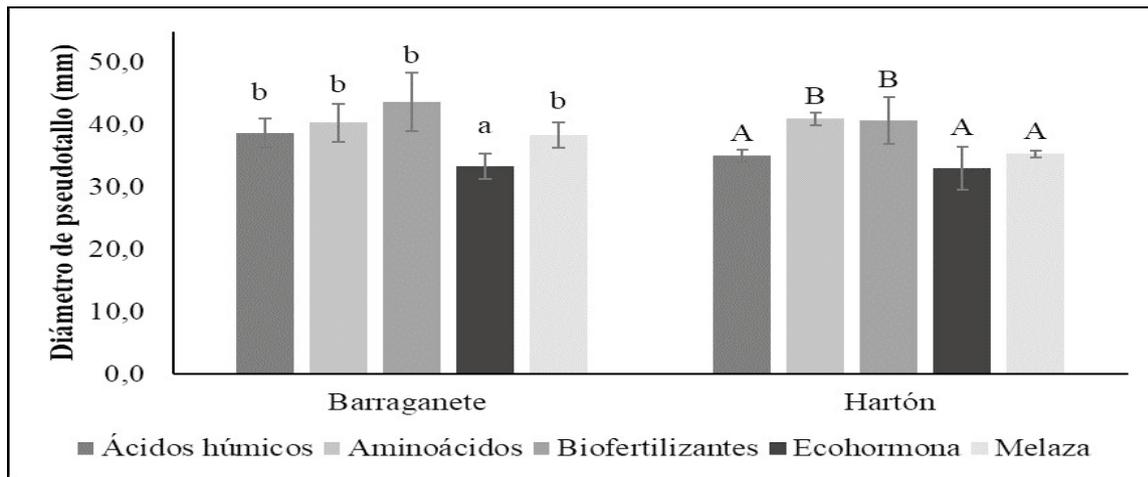
**Tabla 1.** Efecto de bioestimulante sobre variables morfológicas de plántulas de plátano (altura de planta) a los 60 días de aclimatación en vivero. (Barraganete y Hartón).

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)
Bioestimulante + fertilización química	40,57 a 1/	38,08 a	37,04 a
Fertilización química	37,31 b	34,74 b	32,29 b
Control	30,58 c	28,54 c	28,26 c
P-valor ANOVA	<0,0001	<0,0001	<0,0001

1/ Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey  $\alpha < 0.05$ .

El diámetro del pseudotallo en ambas variedades de plátano como se muestra en la Figura 2. En barraganete, el tratamiento con biofertilizantes resultó en un incremento significativo del diámetro del pseudotallo, sugiriendo una mejora en la estructura y fortaleza

del tallo, lo cual es crucial para la sustentabilidad y resistencia de la planta. Además, los ácidos húmicos mostraron un efecto positivo, aunque en menor grado, indicando su papel en la mejora de la absorción de nutrientes esenciales.



**Figura 2.** Diámetro del pseudotallo en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

La combinación de bioestimulante + fertilización química también influyó significativamente ( $p < 0,05$ ) la acumulación de masa seca, el área foliar e índice de calidad de Dickson, con relación a los tratamientos de fertilización química y control Figura 2. El bioestimulante + fertilización química promovió mayor acumulación de masa seca, con incrementos del 11,22 y 23,98% con respecto a la fertilización química y tratamiento control. Del mismo modo, las plántulas que

recibieron el bioestimulante + fertilización química alcanzaron mayor área foliar, con incrementos del 14,81 y 30,47%, en comparación a los tratamientos con fertilización química y control, respectivamente. La calidad de las plántulas fue superior con el tratamiento del bioestimulante + fertilización química en 7,56 y 20,08%, en relación a los tratamientos de fertilización química y control en su orden respectivo Tabla 2.

**Tabla 1.** Efecto de bioestimulante sobre variables morfológicas de plántulas de plátano (altura de planta) a los 60 días de aclimatación en vivero. (Barraganete y Hartón).

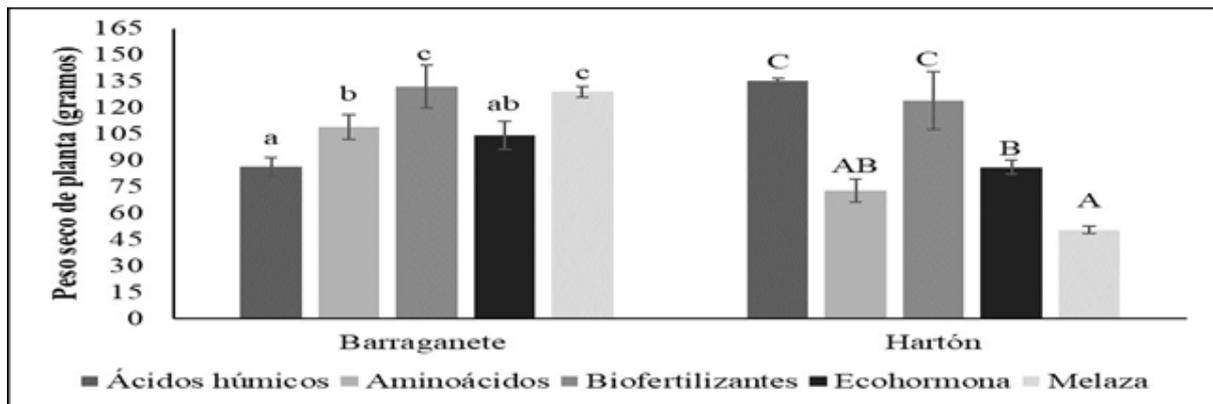
Tratamientos	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)
Bioestimulante + fertilización química	57,04 a	3230,66 a	13,20 a
Fertilización química	50,64 b	2752,21 b	12,19 b
Control	43,36 c	2246,40 c	10,55 c
P-valor ANOVA	<0,0001	<0,0001	<0,0001
C.V. %	7,38	4,16	3,16

1/ Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey  $\alpha < 0.05$ .

El ritmo de crecimiento diario basado en acumulación de masa seca varió significativamente ( $p < 0,05$ ) con los tratamientos evaluados Figura 3. En todos los tratamientos se observó una tendencia cuadrática, donde a partir de los 45 días el ritmo de crecimiento empieza a ralentizarse, posiblemente debido a que el volumen del contenedor comienza a ser limitante para el crecimiento radical de las plántulas. Se observó mayor incremento del ritmo de crecimiento con el tratamiento bioestimulante + fertilización química, donde entre los 0-15 días superó a la fertilización química y control con el 23,91 y 41,30%, respectivamente. Entre los 16-30 días el bioestimulante + fertilización química incrementó el ritmo de crecimiento en 20 y 40%, con respecto a los tratamientos de fertilización química y

control. Así mismo, el bioestimulante + fertilización química incrementó el ritmo de crecimiento en 10,77 y 35,38%, con relación a la fertilización química y tratamiento control entre los 31-45 días de crecimiento en vivero.

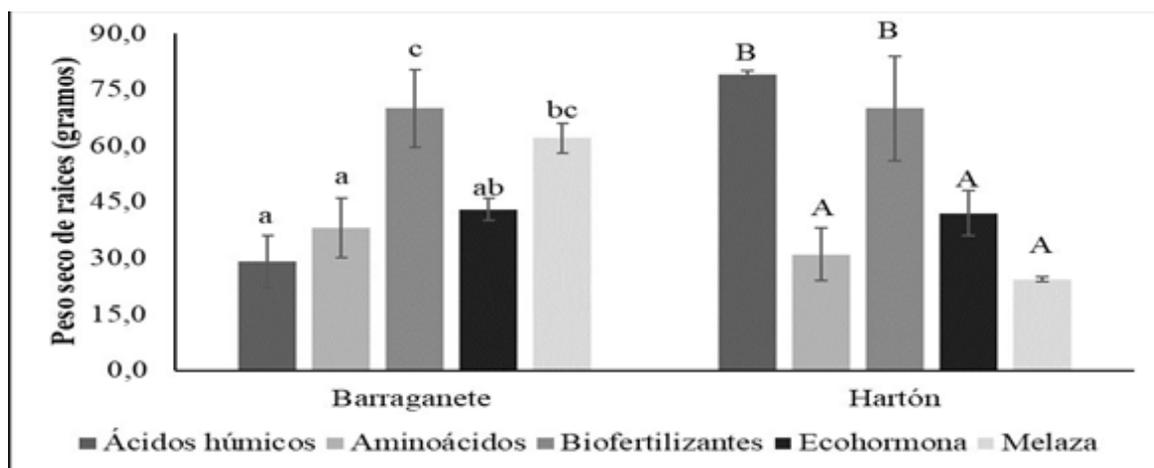
Finalmente, entre los 46-60 días de crecimiento, el bioestimulante + fertilización química mostró un incremento mayor a los tratamientos de fertilización química y control, con 8,93 y 32,14%, en su respectivo orden. Comparativamente, barraganete mostró una mayor respuesta a los ácidos húmicos y biofertilizantes, mientras que hartón respondió mejor a los aminoácidos. Estas diferencias pueden ser atribuidas a las variaciones en la fisiología radicular de cada variedad y su capacidad para metabolizar y utilizar los bioestimulantes.



**Figura 3.** Peso seco de raíces en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

El análisis del peso seco total de las plantas reveló diferencias significativas entre los tratamientos con bioestimulantes. En variedad de plátano barraganete, los ácidos húmicos y los biofertilizantes fueron los tratamientos que más incrementaron el peso seco, mientras en la variedad hartón, los aminoácidos produjeron el mayor aumento en el peso seco total Figura 4. Comparando ambas variedades, barraganete

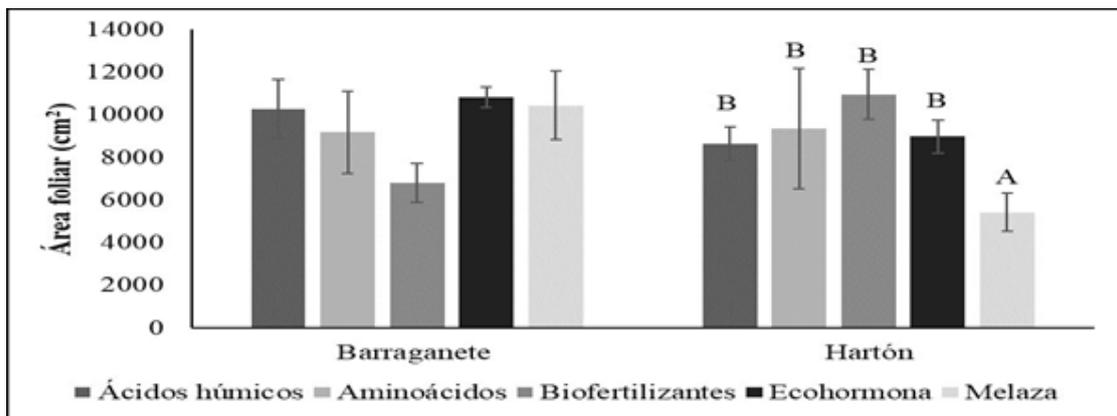
mostró una mayor respuesta a los ácidos húmicos y biofertilizantes, mientras que hartón tuvo una mejor respuesta a los aminoácidos. Estas diferencias resaltan la importancia de considerar las características específicas de cada variedad al elegir los bioestimulantes adecuados para maximizar el crecimiento y la acumulación de biomasa.



**Figura 4.** Peso seco en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

Los ácidos húmicos y los biofertilizantes resultaron en el mayor incremento del área foliar en la variedad de plátano barraganete, sugiriendo una mejora en la capacidad fotosintética y en la producción de biomasa foliar. Este aumento en el área foliar es crucial para la eficiencia en la captación de luz y en la producción de energía para

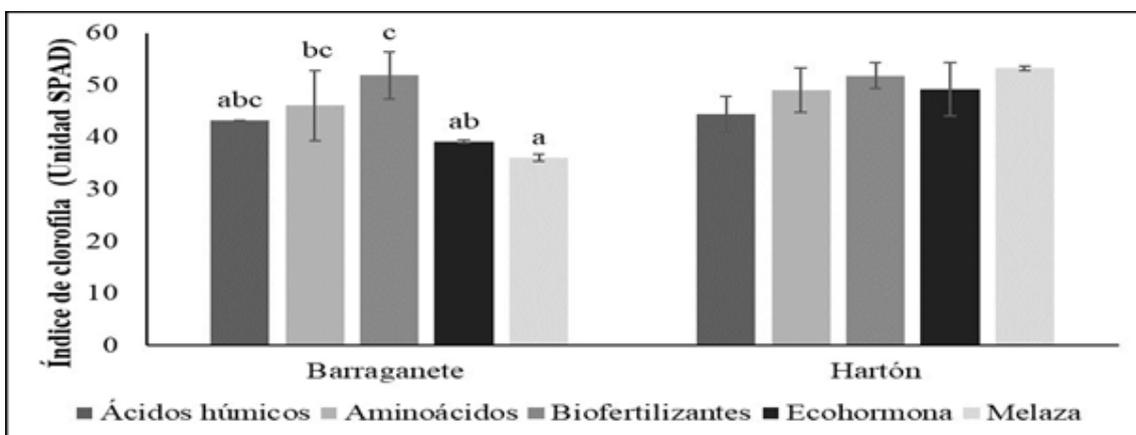
el crecimiento de la planta. Por otro lado, en la variedad hartón, los tratamientos con aminoácidos mostraron el mayor incremento en el área foliar, lo que podría estar relacionado con una mejor síntesis de clorofila y una mayor eficiencia fotosintética Figura 5.



**Figura 5.** Área foliar en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

El índice de clorofila, indicador de la capacidad fotosintética, mostró variaciones significativas con la aplicación de bioestimulantes. En barraganete, los tratamientos con ácidos húmicos y aminoácidos

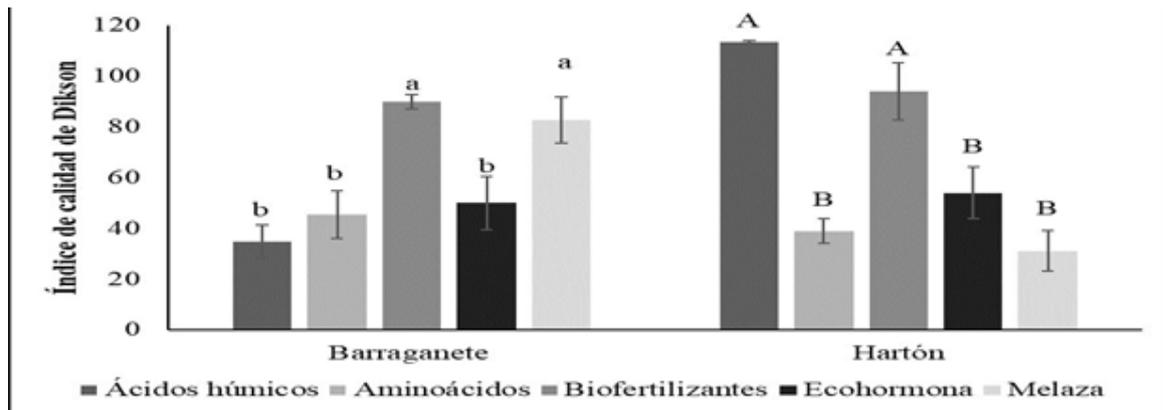
resultaron en un mayor índice de clorofila, mientras que, en la variedad hartón, los aminoácidos y las ecohormonas produjeron el mayor incremento en el índice de clorofila Figura 6.



**Figura 6.** Índice de clorofila en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

En variedad de plátano hartón, los aminoácidos mostraron el mayor incremento en el índice de calidad de Dikson, lo que podría estar relacionado con una mejor síntesis de compuestos esenciales para el crecimiento y la resiliencia de

la planta Figura 7. Estas diferencias reflejan la importancia de seleccionar los bioestimulantes adecuados para cada variedad, considerando sus características específicas y su capacidad para mejorar la calidad integral de las plantas.



**Figura 7.** Índice de calidad de Dikson en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

## DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados logrados, la calidad de una plántula está en función de un desarrollo equilibrado entre las principales estructuras morfo-anatómicas y las funciones fisiológicas que cada una desempeña, lo que ha sido sugerido por varios estudios realizados con otras especies de interés agrícola (14-19). Finalmente, la calidad de una planta se traduce en mayor desarrollo del sistema radical que promueve una mayor exploración y captación de recursos nutricionales del suelo, mayor superficie foliar y actividad fotosintética, y por consiguiente mayor crecimiento y adaptación en campo.

Los resultados se asemejan a los informados por Izquierdo et al. (11), quienes reportaron una mayor acumulación de masa seca y área foliar en plántulas in vitro de banano que recibieron aplicación de un análogo espiroestánico de brasinoesteroides en fase de aclimatación. Asimismo, Mukhongo et al. (20) alcanzaron incrementos de masa seca de plántulas de banano del 34, 46 y 33%, respectivamente, con aplicación de tres combinaciones de bioestimulantes de origen microbiano, en relación al tratamiento control. También, los resultados obtenidos por Mateus y Rodríguez (12) que reportaron mayor acumulación de masa seca y tasa fotosintética en

plántulas de plátano tratadas con bioestimulantes. En este mismo contexto, Mora et al. (13) mostraron incrementos del 13,4 y 90,5% de área foliar y peso seco en plántulas de banano tratadas con biofertilizante y microorganismos durante fase de vivero, en comparación al tratamiento control. Los resultados de índice de calidad de Dickson, fueron próximos a los obtenidos por Rodríguez y Ramírez (21) en plántulas de banano en fase de vivero, quienes reportaron promedios de hasta 12 puntos de ICD.

En cuanto a los efectos fisiológicos, resultados similares reportaron Moya et al. (22), quienes han verificado que en la fase de aclimatación existe mayor diámetro de tallo y longitud radical en plántulas de banano tratadas con ácidos húmicos y vermicompost, en relación a plántulas no tratadas. Al respecto, Ewane et al. (22) mostraron incrementos del 32 y 30% en altura y diámetro de tallo en plántulas de plátano que recibieron aplicación de bioestimulante en vivero, en comparación al tratamiento control. Teniendo en cuenta a Mora et al. (13) en plántulas de banano tratadas con biofertilizante y microorganismos durante fase de vivero, en comparación al tratamiento control se obtuvo incrementos de 14,5; 19,3 y 91,8% de altura de planta, diámetro de tallo y longitud radical, respetivamente. De manera similar, Martínez et al. (23) alcanzaron incrementos de 10 cm y 19 g en altura de planta y peso seco de raíces, en plántulas de banano tratadas en vivero

con vermicompost líquido y sólido, con relación a las plántulas no tratadas.

En este sentido, los resultados de Nardi et al. (24) también encontraron que los ácidos húmicos aumentan la actividad enzimática del suelo y la disponibilidad de nutrientes, resultando en un crecimiento más vigoroso de las plantas. Además, los ácidos húmicos actúan como quelantes, mejorando la disponibilidad de micronutrientes, lo cual ha sido documentado ampliamente. Esta mejora en la disponibilidad de nutrientes es crucial para el desarrollo inicial de las plántulas, especialmente en etapas críticas como la aclimatación.

Los aminoácidos mostraron un impacto significativo en la variedad hartón, particularmente en términos de altura de la planta y diámetro del pseudotallo. Estos compuestos actúan como precursores de hormonas vegetales y reguladores del crecimiento, como las auxinas y las giberelinas, que son esenciales para la división y elongación celular.

Las ecohormonas, que incluyen extractos de algas y otros compuestos naturales, mostraron una mayor efectividad en ambas variedades de plátano. Estos compuestos son conocidos por su capacidad para mejorar la resistencia al estrés y promover el crecimiento a través de la regulación hormonal y la activación de rutas de señalización relacionadas con el desarrollo y la adaptación al estrés. En la variedad hartón, las ecohormonas

incrementaron significativamente el área foliar y el índice de clorofila, lo que indica una mejora en la síntesis de clorofila y la eficiencia fotosintética. Estos efectos son consistentes con los hallazgos de Sulemana et al. (25) quienes demostraron que los extractos de algas pueden mejorar la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés.

Al comparar los efectos de los bioestimulantes entre las variedades Barraganete y Hartón, se observan diferencias significativas en la respuesta fisiológica y de crecimiento. La variedad de plátano barraganete mostró una mayor sensibilidad a los tratamientos con ácidos húmicos y biofertilizantes, lo que indica una mejor capacidad para absorber y utilizar estos compuestos para el crecimiento y la acumulación de biomasa. Por otro lado, la variedad de plátano hartón respondió mejor a los aminoácidos y ecohormonas, lo cual puede estar relacionado con diferencias genéticas y fisiológicas que influyen en la absorción y metabolismo de estos bioestimulantes.

## CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se comprueba el efecto promotor del crecimiento que los extractos provenientes de PS y LH de plátano Hartón ejercen sobre plantas in vitro de Musa AAB, durante la fase de aclimatización y que la dosis del 10% es suficiente para desencadenar respuestas morfológicas y fisiológicas conducentes a mejorar

la adaptabilidad de las plantas durante esta fase de la propagación in vitro.

La aplicación de bioestimulantes durante la fase de aclimatación de plántulas de plátano se presenta como una estrategia eficaz para mejorar el crecimiento y calidad de las plantas, optimizando su desarrollo fisiológico y morfológico. La adopción de estos bioestimulantes en el manejo agrícola del plátano podría contribuir significativamente a la sostenibilidad y productividad del cultivo, estableciendo una base sólida para prácticas agrícolas más resilientes y eficientes en sistemas de producción tropicales. En Hartón, las ecohormonas y los aminoácidos mejoraron la altura de las plantas en un 20% y el diámetro del pseudotallo en un 15%. Los aminoácidos aumentaron el área foliar en un 35% y el índice de clorofila en un 40% en ambas variedades. Estos hallazgos sugieren que los bioestimulantes pueden mejorar la absorción de nutrientes y activar rutas metabólicas esenciales para el crecimiento.

Se recomienda continuar los estudios para clarificar el mecanismo de acción de estos extractos y profundizar en las respuestas morfoanatómicas, fisiológicas y bioquímicas manifestadas por esta especie durante su adaptación a las nuevas condiciones ambientales.

**CONFLICTO DE INTERESES.** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sepúlveda W, Ureta I, Hernández G, Solórzano G. Consumo de plátano en Ecuador: hábitos de compra y disponibilidad a pagar de los consumidores. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá (PR). 2017; 10(4): 995-1014. <https://acortar.link/RLbrTf>
2. Falcomer A, Resende R, de Lima B, Ginani V, Zandonadi R. Health Benefits of Green Banana Consumption: A Systematic Review. *Nutrients*. 2019; 11(6): 1222. <https://acortar.link/87ubct>
3. Scott G. A review of root, tuber and banana crops in developing countries: past, present and future. *International Journal of Food Science and Technology*. 2021; 56 (1): 1093–1114. <https://acortar.link/VkKPb0>
4. Zambrano Y, Rivadeneira J, Pérez M. Linking El Niño Southern Oscillation for early drought detection in tropical climates: The Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment*. 2018; 643: 193–207. <https://acortar.link/GnFGVz>
5. INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). Módulo de Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria. Boletín técnico N-02-2020-MOD\_AMB\_ESPAC. Quito, Ecuador. 2020. <https://acortar.link/vdJxcj>
6. Cedeño G, Guzmán A, Zambrano H, Vera L, Valdivieso C, López G. Efecto de la densidad de siembra y riego complementario en la morfo-fenología, rendimiento, rentabilidad y eficiencia de la fertilización del plátano. *Scientia Agropecuaria*. 2020; 11(4): 483-492. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.04.03.
7. Qin K, Leskovar D. Humic Substances Improve Vegetable Seedling Quality and Post-Transplant Yield Performance under Stress Conditions. *Agriculture*. 2020; 10 (1): 254. <https://acortar.link/DjMu10>
8. Malik A, Mor V, Tokas J, Punia H, Malik S, Malik K, Sangwan S, Tomar S, Singh P, Singh N, Himangini, Vikram, Nidhi, Singh G, Vikram, Kumar V, Sandhya, Karwasra A. Biostimulant-Treated Seedlings under Sustainable Agriculture: A Global Perspective Facing Climate Change. *Agronomy*. 2021; 11 (1): 14. <https://acortar.link/C4epMC>
9. Reyes J, Ramos R, Llerena L, Ramírez M, Falcón A. Potencialidades de oligogalacturonidos y quitosacáridos en el enraizamiento de las plantas. *Terra Latinoamericana*. 2021; 39 (1): 1-9. <https://acortar.link/OVbteg>
10. Roupael Y, Colla G. Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Front. Plant Sci*. 2020; 11:40. DOI: 10.3389/fpls.2020.00040.
11. Izquierdo H, González M, Núñez M, Proenza R, Álvarez I. Efectos de la aplicación de un análogo espirostánico de brasinoesteroides in vitro plantas de banano (*Musa spp.*) durante la fase de aclimatización. *Cultivos Tropicales*. 2012; 33(1): 71-76. <https://acortar.link/OWLccs>
12. Mateus D, Rodríguez G. Efecto de bioestimulantes sobre la acumulación de materia seca e intercambio de gases en plantas de plátano (*Musa AAB*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 2019; 13(2): 151-160. <https://acortar.link/qMjYVd>
13. Mora A, Naranjo J, Albiño A, Flores J, Oviedo R, Galarza L, Vera M, Painii P, Barcos M. Optimización en la aclimatación de plántulas micropropagadas de banano. *Musa*. 2021; 6(1): 1452-1461. <https://www.revistabionatura.com/files/2021.06.01.3.pdf>
14. Binotto A, Lúcio A, Lopes S. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne, Lavras*. 2010; 16(4): 457-464. <https://acortar.link/LdiShD>
15. Lima S, Marimon B, Petter F, Tamiozzo S, Bossi G, Schwantes B. Biochar as substitute for organic matter in the composition of substrates for seedlings. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2013; 35(3): 333-341. <https://acortar.link/e2Bi0K>
16. Gomes C, Miglioranza E. Quality levels of organic coffee seedlings in black and white nonwoven fabric (WNF) containers of various sizes. *African Journal of Agricultural Research*. 2015; 10(9): 86-89. <https://acortar.link/YGx8PA>
17. Rezende F, Hardt V, Branco C, Moura M. Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2016; 51(9): 1449-1456. <https://acortar.link/Z0aA5E>

- 18.** Alves R, Gomes G, Malta E, Andrade G, do Sacramento C. Manejo de matrizes interfere no rendimento e na qualidade de mudas de cacauzeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2018; 40(3): 1-8. <https://acortar.link/Krn6IH>
- 19.** Lin K, Wu C, Chang Y. Applying Dickson Quality Index, Chlorophyll Fluorescence, and Leaf Area Index for Assessing Plant Quality of Pentas lanceolate. *Not Bot Horti Agrobo*. 2019; 47(1): 169-176. <https://acortar.link/xbzEaZ>
- 20.** Mukhongo R, Kavoo-Mwangi M, Okalebo J, Were B, Mwangi E, Jjefwa J. Acclimatization and growth of tissue cultured banana co-inoculated with microbiological and chemical commercial products in different soils in Kenya. *Academia Journal of Agricultural Research*. 2015; 3(8): 156-168. <https://acortar.link/nnKZw4>
- 21.** Rodríguez G, Ramírez H. Efecto de diferentes sustratos y dosis de nitrógeno sobre el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA) en etapa de vivero. XVII REUNIÃO INTERNACIONAL ACORBAT 2006, Bananicultura: um negócio sustentável, Joinville – Santa Catarina-BRASIL. 2006.
- 22.** Moya M, Sánchez E, Cabezas D, Calderín A, Marrero D, Héctor H, Pérez S. Influence of vermicompost humic acid on chlorophyll content and acclimatization in banana clone, Enano Guantanamero. *African Journal of Biotechnology*. 2016; 15(47): 2659-2670. <https://acortar.link/YR4h2O>
- 23.** Ewane C, Ndongo F, Ngoula K, Tene P, Opiyo S, Boudjeko T. Potential Biostimulant Effect of Clam Shells on Growth Promotion of Plantain PIF Seedlings (var. Big Ebanga & Batard) and Relation to Black Sigatoka Disease Susceptibility. *American Journal of Plant Sciences*. 2019; 10 (1): 1763-1788. <https://acortar.link/XLTzRH>
- 24.** Martínez G, Rey J, Pargas R, Guerra C, Manzanilla E, Ramírez H. Efecto de sustratos y fuentes orgánicas en la propagación de banano y plátano. *Agronomía Mesoamericana*. 2021; 32(3):808-822. <https://acortar.link/3nt3tl>
- 25.** Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Science y Agriculture*. 2016; 73(1):18-23. <https://acortar.link/aqzAyt>