



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 Selen Zambrano Saavedra¹
pzambrano6334@utm.edu.ec

Francisco Xavier Arteaga Alcívar²
javier.artea@utm.edu.ec

Galo Alexander Cedeño García³
gcedeno@espam.edu.ec

George Alexander Cedeño-García²
george.cedeno@utm.edu.ec

¹Facultad de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador

²Facultad de Ingeniería Agronómica de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador

³Escuela 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 una alta calidad de las plántulas durante la aclimatación. Este estudio evaluó 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. Los bioestimulantes aplicados fueron melaza, ecobormonas, aminoácidos, ácidos húmicos y un biofertilizante, administrados de forma foliar a los 15 y 30 días post-trasplante. 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. En Hartón, las ecobormonas 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. En conclusión, los bioestimulantes demostraron efectos positivos significativos en el crecimiento y calidad de las plántulas de plátano durante la aclimatación, optimizando el desarrollo de las plantas y promoviendo una agricultura más sostenible y eficiente.

Palabras clave: Aclimatación; nutrientes; propagación; bioestimulantes; absorción de nutrientes

ABSTRACT

Plantain production faces numerous challenges in ensuring optimal growth and high seedling quality during acclimatization. This study evaluated the impact of biostimulants on the growth and quality of seedlings of two plantain varieties, Barraganete and Hartón. The research was conducted in Santa Rita, Manabí, Ecuador, using in vitro propagated seedlings transplanted into polyethylene bags filled with a mixture of agricultural soil, compost, and river sand. The applied biostimulants included molasses, ecobormones, amino acids, humic acids, and a biofertilizer, administered foliarly at 15- and 30-days post-transplant. 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. In Hartón, ecobormones and amino acids improved plant height by 20% and pseudostem diameter by 15%. Amino acids also increased leaf area by 35% and chlorophyll index by 40% in both varieties. These findings suggest that biostimulants can enhance nutrient absorption and activate metabolic pathways essential for growth. In conclusion, biostimulants demonstrated significant positive effects on the growth and quality of plantain seedlings during acclimatization, optimizing plant development and promoting more sustainable and efficient agriculture.

Key words: Acclimatization; nutrients; in vitro propagation; biofertilizers; nutrient absorption

RESUMO

A produção de banana enfrenta vários desafios para garantir o crescimento ideal e a alta qualidade das mudas durante a aclimação. Este estudo avaliou o impacto dos bioestimulantes no crescimento e na qualidade das mudas de duas variedades de banana, Barraganete e Hartón. A pesquisa foi realizada em Santa Rita, Manabí, Equador, usando mudas propagadas in vitro transplantadas em sacos de polietileno com uma mistura de solo agrícola, composto e areia de rio. Os bioestimulantes aplicados foram melaza, ecobormônios, aminoácidos, ácidos húmicos e um biofertilizante, administrados foliarmente aos 15 e 30 dias após o transplante. Foram medidas variáveis como altura da planta, diâmetro do pseudocaule, massa seca da raiz, massa seca total, área foliar e índice de clorofila. Os resultados mostraram que os ácidos húmicos e aminoácidos aumentaram significativamente a altura das plantas (até 25%) e o peso seco das raízes (até 30%) em Barraganete. Em Hartón, os ecobormônios e aminoácidos melhoraram a altura da planta em 20% e o diâmetro do pseudocaule em 15%. Os aminoácidos aumentaram a área foliar em 35% e índice de clorofila em 40% em ambas as variedades. Essas descobertas sugerem que os bioestimulantes podem melhorar a absorção de nutrientes e ativar vias metabólicas essenciais para o crescimento. Em conclusão, os bioestimulantes demonstraram efeitos positivos significativos sobre o crescimento e a qualidade das mudas de banana durante a aclimação, otimizando o desenvolvimento da planta e promovendo uma agricultura mais sustentável e eficiente.

Palavras-chave: Aclimação; nutrientes; propagação; bioestimulantes; absorção de nutrientes

INTRODUCCIÓN

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 (1, 2). 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 (3, 4). En este contexto, la utilización de bioestimulantes se ha propuesto como una alternativa para mejorar la vigorosidad y calidad de las plántulas de plátano (5).

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 (6). Esta práctica convencional resulta en plántulas de calidad y vigor variable, lo que afecta negativamente la uniformidad del cultivo y la productividad general (7, 8). 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 (9).

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 (10, 11). 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 (12).

La utilización de plántulas propagadas en laboratorio se presenta como una alternativa viable para superar estas limitaciones (13, 14). 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 (15, 16). Al incorporar bioestimulantes en el manejo de estas plántulas, es posible promover un desarrollo más vigoroso (17, 18).

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 (19, 20). Sin embargo, es fundamental entender cómo estos productos interactúan con diferentes variedades de plátano y bajo qué condiciones resultan más efectivos (21). La implementación exitosa de bioestimulantes requiere un conocimiento detallado de sus mecanismos de acción y de las condiciones específicas del cultivo (22).

Apesar del potencial de los bioestimulantes, existen desafíos que deben ser abordados para su adopción generalizada (23, 24). 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 (25). 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 (20).

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 (6, 26). 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 (7). La evaluación continua y la adaptación de estrategias basadas en bioestimulantes son esenciales para maximizar sus beneficios y minimizar sus limitaciones (27).

¿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 (17). La respuesta a esta pregunta podría tener implicaciones significativas para la mejora de las prácticas agrícolas y la sostenibilidad del cultivo de plátano. Por tanto, el objetivo general de este estudio es 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

Ubicación y descripción del ensayo

La investigación se desarrolló bajo condiciones de vivero, 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 (28). 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 (29). Estos factores ambientales crean un entorno propicio para el crecimiento y desarrollo de cultivos tropicales, facilitando el establecimiento de ensayos agrícolas controlados (9).

Material vegetal y experimental

Como material vegetal se utilizó plantas in vitro, de las variedades de plátano Barraganete y Hartón, ambas de gran importancia para la exportación como fruta fresca y para la generación de productos derivados, como snacks (2). Estas variedades fueron seleccionadas debido a su alta demanda

en el mercado internacional y su relevancia económica (30). Como bioestimulantes, se utilizaron cinco productos que fueron: Melaza, Ecohormona, Aminoácidos, Ácidos húmicos y un biofertilizante. La melaza, rica en azúcares y nutrientes, mejora la actividad microbiana del suelo (18). La ecohormona, compuesta por extractos de algas, aporta fitohormonas y vitaminas (24). Los aminoácidos son esenciales para la síntesis de proteínas y mejoran el metabolismo vegetal (5). Los ácidos húmicos aumentan la absorción de nutrientes y mejoran la estructura del suelo (27). Por último, el biofertilizante contiene microorganismos beneficiosos que mejoran la disponibilidad de nutrientes (19).

Tratamientos y diseño experimental

Con cada material de siembra (Barraganete y Dominico-Hartón) se desarrolló un experimento separado, donde se probaron cinco tratamientos de bioestimulación que fueron: Ácidos húmicos, aminoácidos, biofertilizantes, ecohormonas y melaza. Para cada experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cinco tratamientos, cuatro repeticiones y 20 unidades experimentales. De cada unidad experimental se utilizaron 10 plantas para el registro de datos.

Manejo del ensayo

Las plantas in vitro de cada material de siembra, fueron llevadas a vivero en fase endurecimiento, donde fueron trasplantadas a bolsas de polietileno con medidas de 8 x 12 pulgadas, asegurando un entorno controlado para el desarrollo de las plántulas (13). El sustrato utilizado para llenado de las bolsas estuvo constituido por una relación 1:1:1 de tierra agrícola, compost y arena de río (29). 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, el vivero estuvo cubierto de malla sarán de poliéster con 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.

El sustrato utilizado fue desinfectado con Captan 80, un fungicida efectivo para eliminar posibles patógenos del suelo (6). Este procedimiento garantizó un entorno libre de enfermedades para las plántulas. Las bolsas 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 heterogéneo de 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 (9).

Se realizó fertilización edáfica a los 10 y 35 días después del trasplante. En cada aplicación se utilizaron 20 gramos de una mezcla de fertilizante compuesto 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 (9).

Las aplicaciones de los tratamientos se realizaron de manera foliar a los 15 y 30 días después del trasplante, 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 (5).

Registro de variables y análisis de datos

A los 60 días después del trasplante se registraron la altura de planta (cm), medida con un flexómetro, desde la base del tallo hasta la inserción de la última hoja bien expandida. El diámetro del tallo (mm) se midió con un calibrador digital a dos centímetros desde la inserción entre el tallo y el pan de tierra. El peso seco (g) 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 (13). 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. Para esto se midieron la longitud (LH) y el

ancho (AH) de la tercera hoja completamente expandida. La fórmula utilizada para el cálculo del área foliar (AF) fue la siguiente:

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

Donde: 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. (31), 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:

$$DQI = \frac{Masa\ seca\ biomasa\ total\ (g)}{\frac{Altura\ de\ planta\ (cm)}{Diámetro\ de\ tallo\ (mm)} + \frac{Masa\ seca\ aéreo\ (g)}{Masa\ seca\ radical\ (g)}}$$

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

La aplicación de bioestimulantes mostró variaciones significativas en la altura de las

plantas 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.

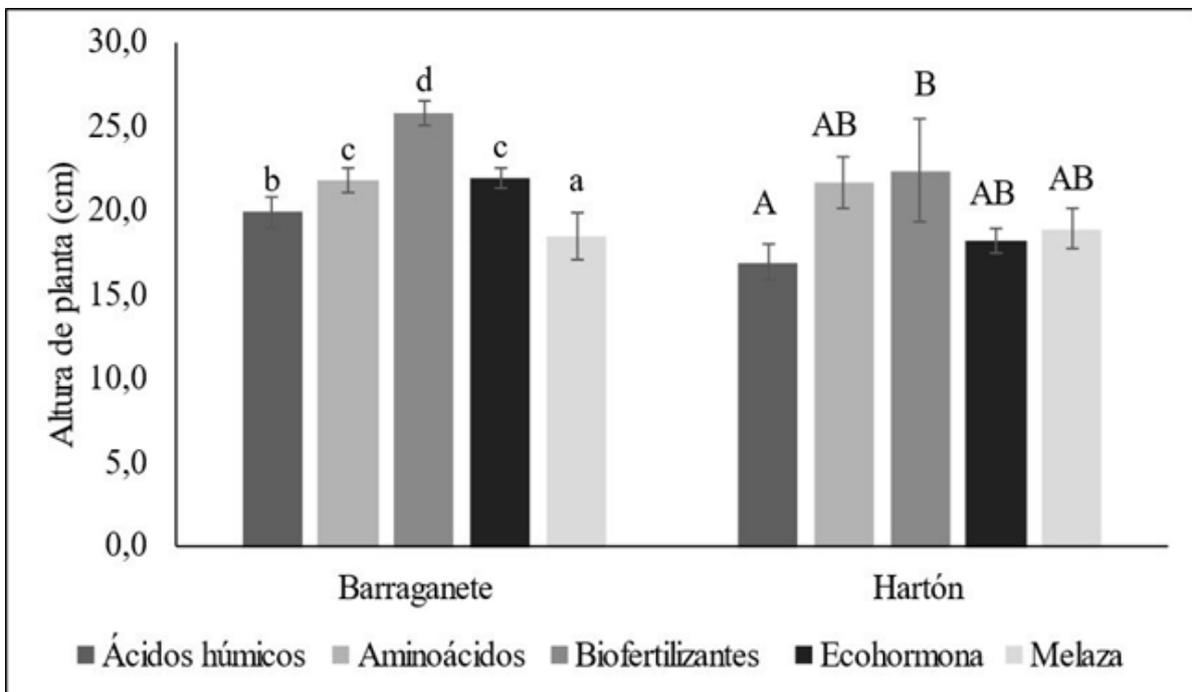


Figura 1. Altura de plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

Por otro lado, la variedad plátano hartón mostró un patrón de respuesta distinto (Figura 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.

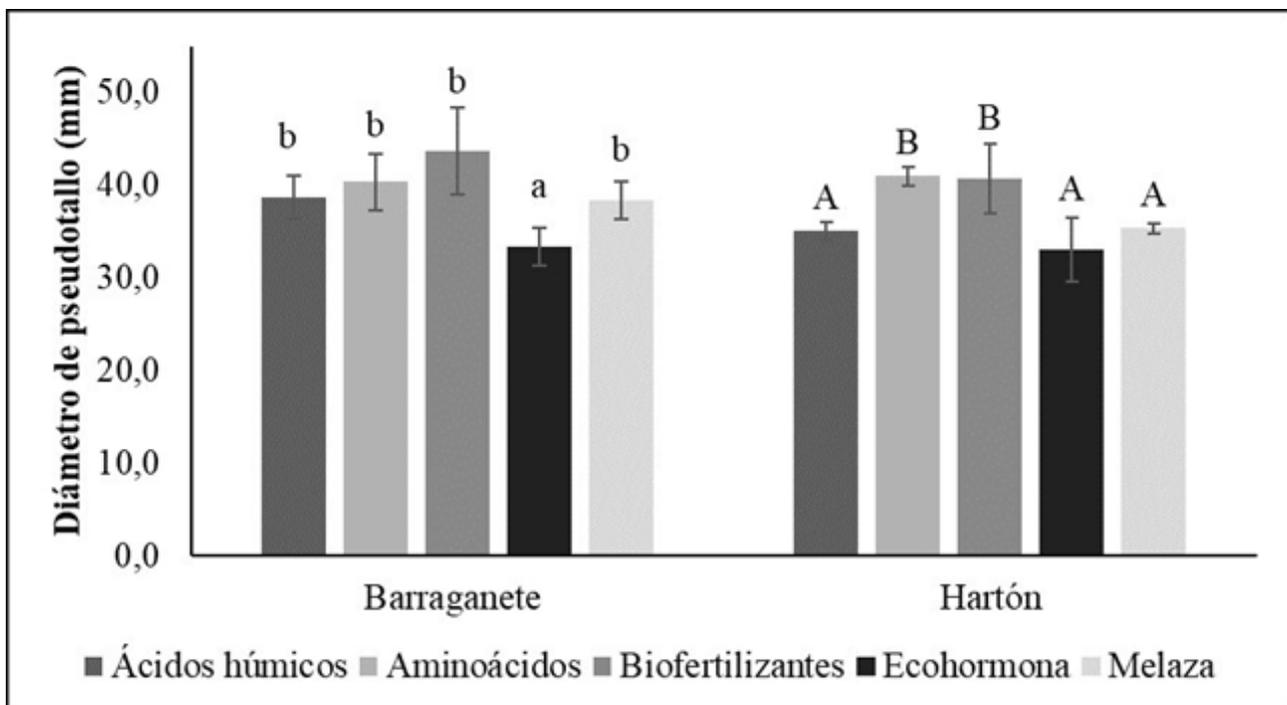


Figura 2. Diámetro del pseudotallo en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

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.

En la variedad hartón, la aplicación de aminoácidos produjo el mayor aumento en el diámetro del pseudotallo, lo que podría estar relacionado con la síntesis de proteínas y la regulación hormonal que promueven el desarrollo del tallo. Las ecohormonas también contribuyeron de manera efectiva, aunque su

impacto fue menor en comparación con los aminoácidos, sugiriendo una diferencia en la manera en que cada variedad metaboliza y responde a estos compuestos. Además, la variedad de plátano hartón mostró una mayor respuesta en términos de diámetro del pseudotallo cuando se aplicaron aminoácidos, mientras que barraganete respondió mejor a los biofertilizantes Figura 2.

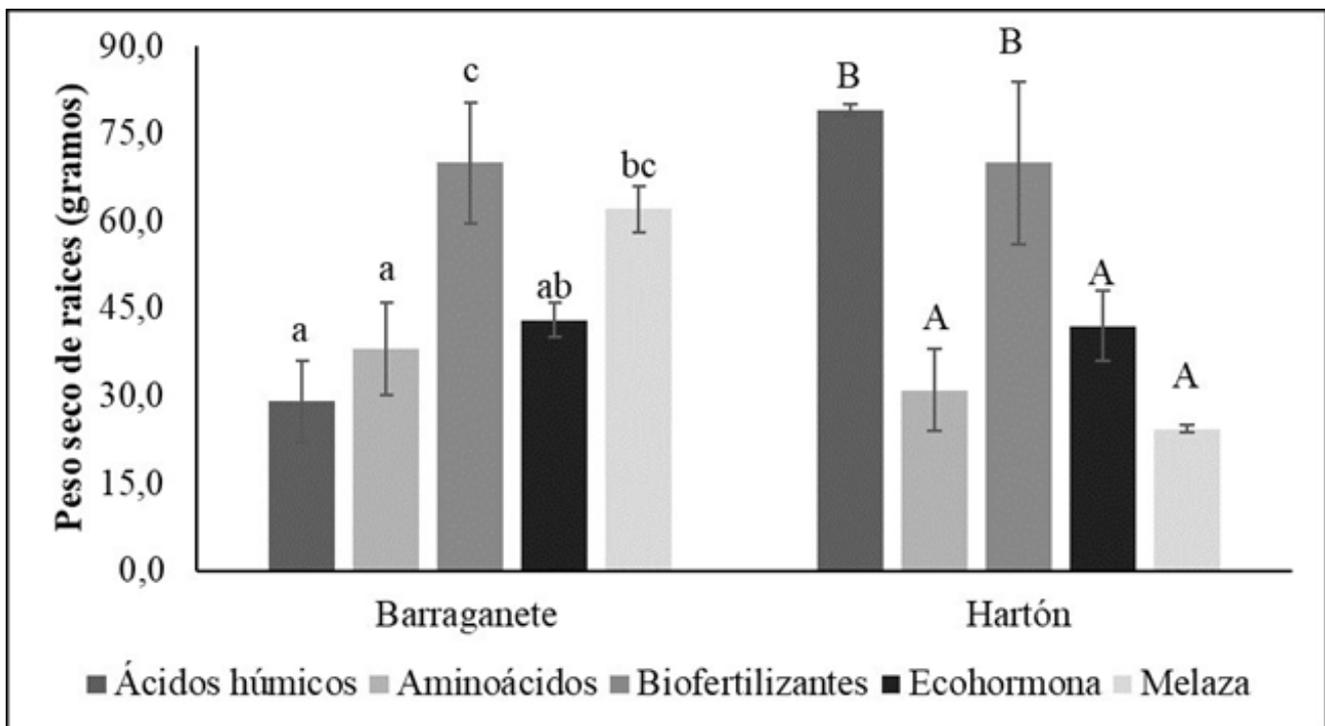


Figura 3. Peso seco de raíces en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

La influencia de los bioestimulantes en el peso seco de las raíces fue notable en ambas variedades de plátano. Para barraganete, los tratamientos con ácidos

húmicos y biofertilizantes resultaron en un incremento significativo del peso seco de las raíces. Mientras en la variedad hartón, los aminoácidos mostraron el mayor incremento

en el peso seco de las raíces. Las ecohormonas también mostraron un efecto positivo, aunque menor comparado con los aminoácidos Figura 3. 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.

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, lo que podría deberse a una mejor síntesis de proteínas y un crecimiento más vigoroso 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.

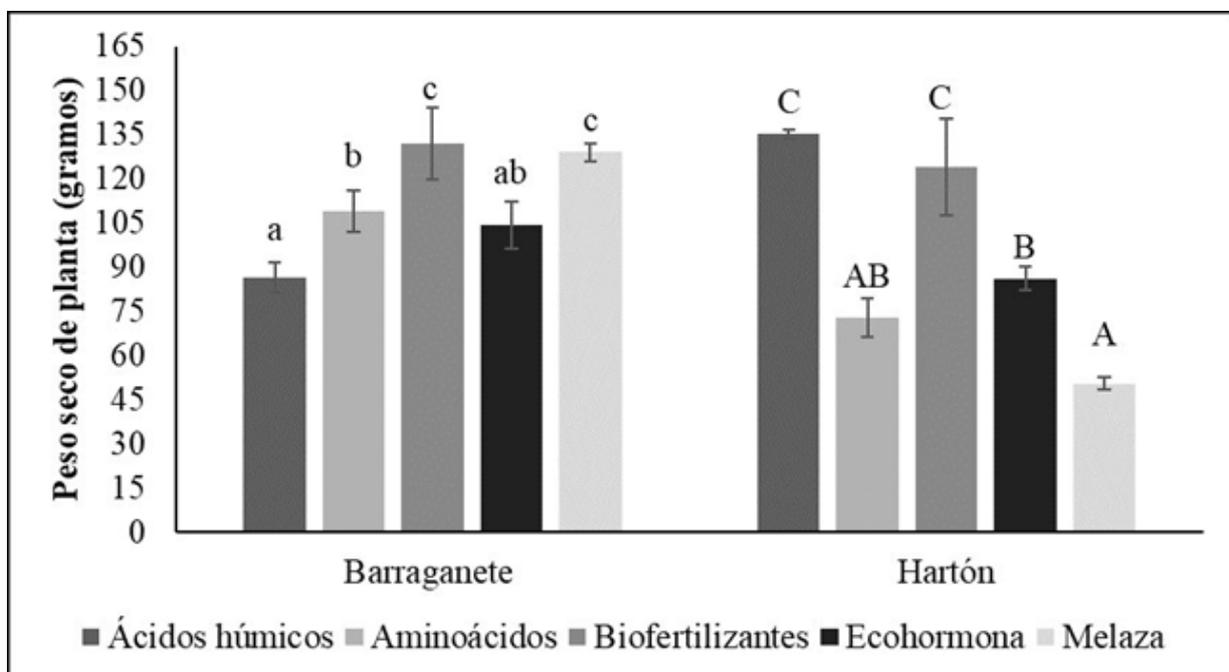


Figura 4. Peso seco en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

La aplicación de bioestimulantes influyó significativamente en el área foliar de las plantas de plátano. 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.

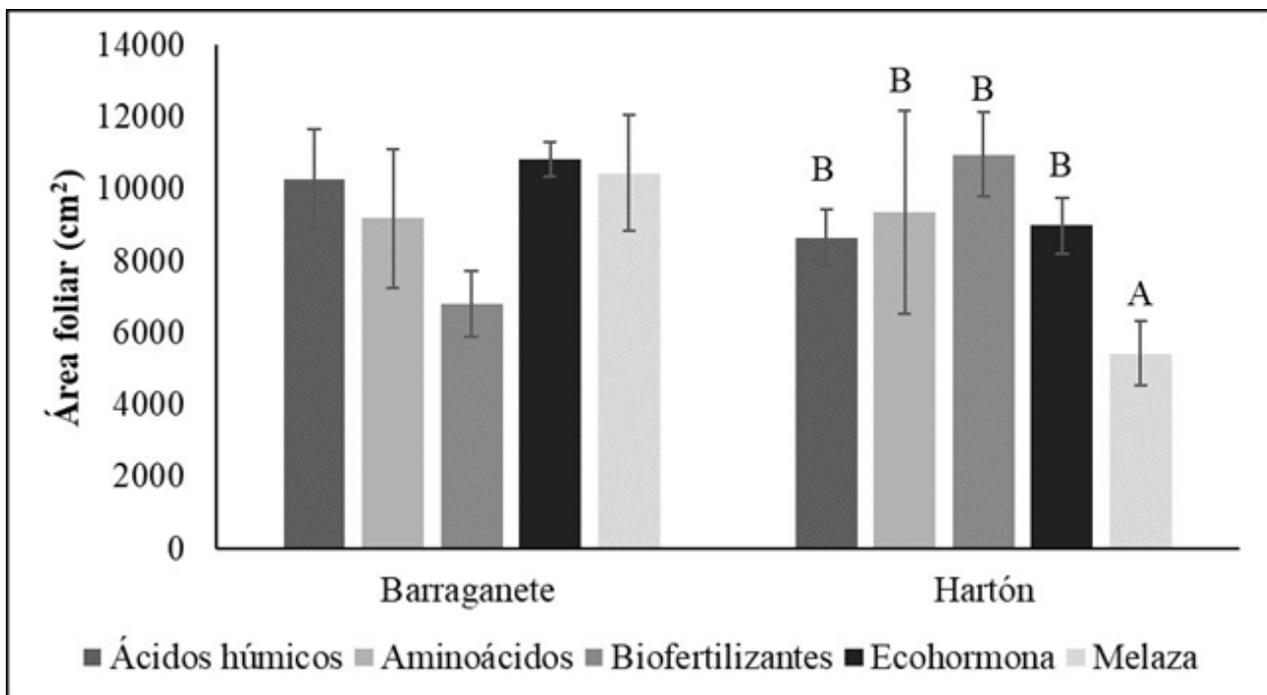


Figura 5. Área foliar en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

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.

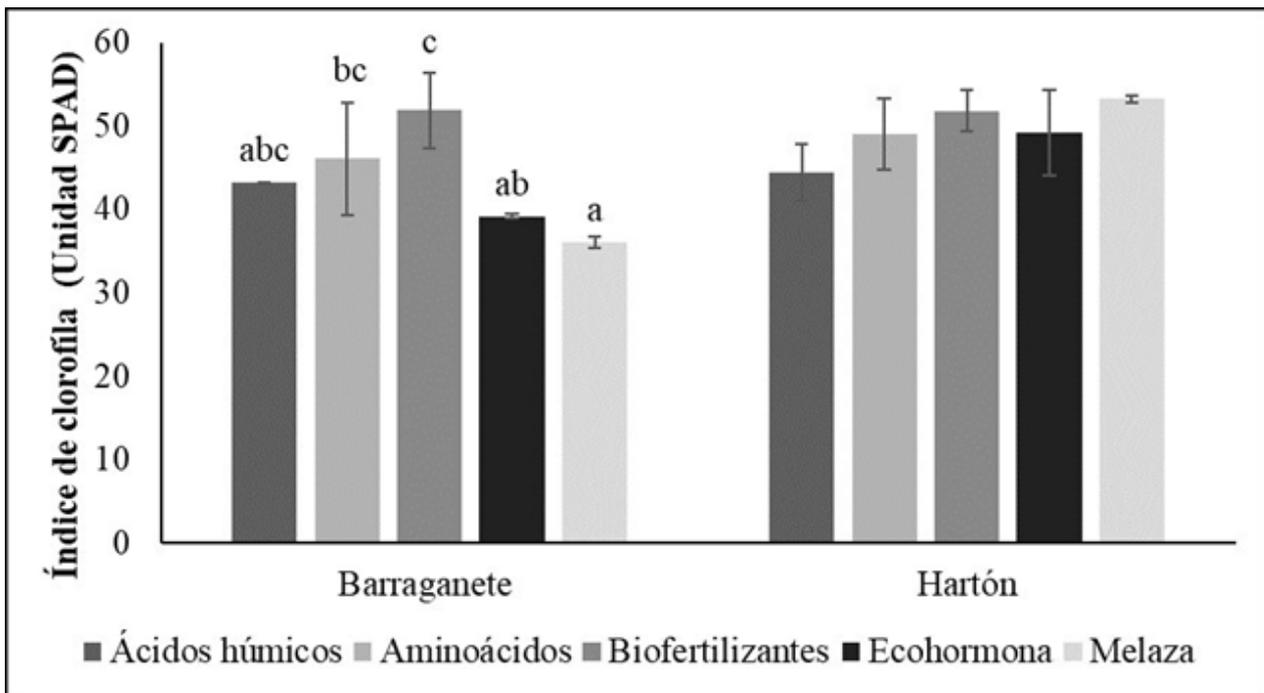


Figura 6. Índice de clorofila en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

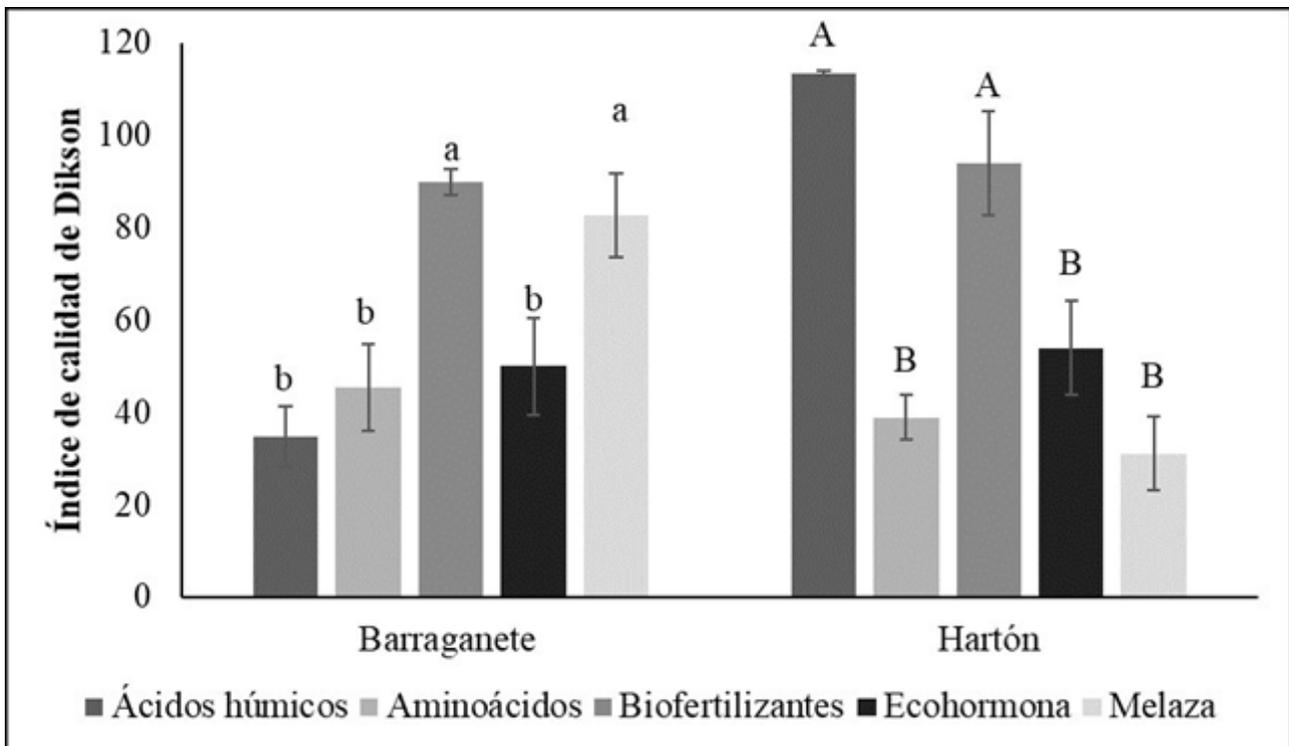


Figura 7. Índice de calidad de Dikson en plantas de plátano de la variedad Barraganete y Hartón con aplicaciones de bioestimulantes.

El índice de calidad de Dikson, que integra varias características de crecimiento y desarrollo, mostró diferencias significativas con la aplicación de bioestimulantes. Los tratamientos en la variedad de plátano barraganete con ácidos húmicos y biofertilizantes resultaron en un mayor índice de calidad, sugiriendo una mejora integral en el crecimiento y vigor de la planta. 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.

Discusión

Los efectos fisiológicos de los bioestimulantes en plántulas de plátano durante la aclimatación revela aspectos clave sobre la mejora del crecimiento y la calidad de las plantas. Los ácidos húmicos demostraron ser altamente efectivos en la mejora de diversas variables de crecimiento en la variedad

barraganete. Los resultados mostraron un incremento significativo en la altura de las plantas y el peso seco de las raíces, lo que sugiere una mejora en la estructura del suelo y en la absorción de nutrientes esenciales (27, 33). Nardi et al. (28) 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 (32,34). 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 (13,28). Además, los aminoácidos mejoran la resistencia al estrés abiótico al actuar como osmoprotectores y al aumentar

la síntesis de proteínas esenciales para la adaptación al estrés (23,25). du Jardin (17). también mostraron que los aminoácidos mejoran la eficiencia fotosintética al incrementar el contenido de clorofila y la actividad de las enzimas fotosintéticas, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en esta investigación.

Las ecohormonas, que incluyen extractos de algas y otros compuestos naturales, mostraron una efectividad notable 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 (28,31). 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 (13,17). Estos efectos son consistentes con los hallazgos de Sulema et al., (30). 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 [27, 33]. 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 (34,32).

CONCLUSIONES

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.

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Heslop-Harrison J, Schwarzacher T. Domestication, genomics and the future for banana. *Ann. Bot.* 2007; 100(5):1073-1084, <https://doi.org/10.1093/aob/mcm191>
- Robinson J, Galán V. Bananas and plantains. CABI. 2010. 2:1-20. <https://doi.org/10.1079/9781845936587.0000>
- Shen J, Guo M J, Wang Y, Yuan X, Wen Y, Song X E, Guo P. Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signaling & Behavior.* 2020; 15(8): 1774212. DOI: 10.1080/15592324.2020.1774212
- Ugarte-Barco F, Zhiñin-Huachun I, Hernández-Pérez R. Influencia de bioestimulantes sobre caracteres morfológicos y agroquímicos del banano (Musa AAA cv. Williams). *Terra Latinoamericana.* 2022; 40. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1456>
- Calvo P, Nelson L, Kloepper J. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil.* 2014; 383(1-2): 3-41. DOI:10.1007/s11104-014-2131-8
- Smith L, Smith M, Tree D, O'keefe D, Galea V. Development of a small-plant bioassay to assess banana grown from tissue culture for consistent infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Australasian Plant Pathology.* 2008; 37: 171-179. <https://doi.org/10.1071/AP08006>
- Ngetich F K, Mucheru-Muna M, Mugwe J, Shisanya C, Diels J, Mugendi D. Length of growing season, rainfall temporal distribution, onset and cessation dates in the Kenyan highlands. *Agricultural and Forest Meteorology.* 2014; 188: 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.12.011>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Banana facts and figures. 2021. <http://www.fao.org>
- Subrahmanyeswari T, Gantait S. Cryo-conservation of Musa germplasms: progress and prospect. *Conservation Genetics Resources.* 2022; 14(2): 237-247. <https://doi.org/10.1007/s12686-022-01260-9>

- 10.** Iskra-Caruana M, Chabannes M, Duroy P, Muller E. A possible scenario for the evolution of Banana streak virus in banana. *Virus research*. 2014; 186: 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2014.01.005>
- 11.** Swift M, Izac M, van Noordwijk M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes—Are we asking the right questions? *Agric. Ecosyst. Environ.* 2004; 104(1);113-134. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.013>
- 12.** Arun A, Bohra P. Factors governing success in shoot tip culture of bananas with special reference to mixed genomic groups: an overview. *Erwerbs-Obstbau*. 2019; 61(1): 9-21. <https://doi.org/10.1007/s10341-018-0391-9>
- 13.** Monono E, Egb A, Monono E, Levai L, Asiedu E. Influences of organic waste and inorganic fertilizer for sustainable production of plantain (*Musa spp. AAB*) in a humid forest zone of Cameroon. *African Journal of Agricultural research*. 2023; 19(7): 727-742. <https://doi.org/10.5897/AJAR2023.16349>
- 14.** Kumar A, Patel J, Meena V, Ramteke P. Plant growth-promoting rhizobacteria: strategies to improve abiotic stresses under sustainable agriculture. *Journal of Plant Nutrition*. 2019; 42(11-12): 1402-1415, <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1616757>
- 15.** Ertani A, Pizzeghello D, Francioso O, Sambo P, Sanchez-Cortes S, Nardi S. *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: Chemical and metabolomic approaches. *Frontiers in plant science*. 2014; 5: 375. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00375>
- 16.** Roupael Y, Colla G. Editorial: Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 2020; 11:40. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
- 17.** Du Jardin P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Sci Hortic.* 2015; 196: 3-14, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- 18.** Halpern M, Bar-Tal A, Ofek M, Minz D, Muller T, Yermiyahu U. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. *Adv Agron.* 2015; 130: 141-174. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>
- 19.** Pimentel C. Agronomic Practices to Improve Water Use Efficiency. *Environ. Sci. Ecol. Curr. Res.* 2022. 3:1081. <https://doi.org/10.54026/ESECR/1081>

- 20.** Bulgari R, Franzoni G, Ferrante A. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agron.* 2019; 9(6): 306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- 21.** Khan W, Rayirath P, Subramania S, Jithesh M, Rayorath P, Hodges D, Prithviraj B. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation.* 2009; 28(4): 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- 22.** Reuter D, Robinson J. *Plant analysis: An interpretation manual.* CSIRO Publishing. 1997.
- 23.** Canellas L, Olivares L, Okorokova-Façanha L, Façanha A. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol.* 2002; 130(4): 1951-1957, <https://doi.org/10.1104/pp.007088>
- 24.** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador. 2020. Retrieved from <http://www.inamhi.gob.ec>
- 25.** Turner D, Fortescue J, Thomas D. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). *FVCSB Fruit.* 2007; 6(2): 21-40. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400013>
- 26.** García A, Santos L, Silva G, Zonta E, Lima L, García-Mina J, Berbara R. Vermicompost humic acids modulate the accumulation and metabolism of ROS in rice plants. *J. Plant Physiol.* 2016; 233: 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.01.008>
- 27.** Canellas L, Olivares F. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chem. Biol. Technol.* 2014; 1(1):3. <https://doi.org/10.1186/s40538-014-0003-5>
- 28.** Nardi S, Pizzeghello D, Schiavon M, Ertani A. Plant biostimulants: Physiological responses induced by protein hydrolyzed-based products and humic substances in plant metabolism. *Sci. Agric.* 2016; 73(1):18-23. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0006>
- 29.** Colla G, Roupheal Y, Lucini L, Canaguier R, Stefanoni W, Cardarelli M. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Sci Hortic.* 2015; 196: 28-38, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- 30.** Sulemana N, Nartey E, Abekoe M, Adjadeh T, Darko D. Use of biochar-compost for phosphorus availability to maize in a concretionary ferric lixisol in Northern Ghana. *Agronomy.* 2021; 11(2): 359. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020359>

- 31.** Van Oosten M, Pepe O, De Pascale S, Silletti S, Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chem. Biol. Technol.* 2017; 4(1): 5. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0089-5>
- 32.** Craigie J. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 2011; 23(3): 371-393, <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
- 33.** Shukla P, Shotton K, Norman E, Neily W, Critchle, A T, Prithiviraj, B. Seaweed extract improves drought tolerance of soybean by regulating stress-response genes. *AxB Plants.* 2018; 11(4): plz023. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plz023>
- 34.** El Boukhari M, Barakate M, Bouhia Y, Lyamlouli K. Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants.* 2020; 9(3): 359. <https://doi.org/10.3390/plants9030359>