

Macropropagación y calidad de plántulas de plátano (*Musa AAB Simmonds*) en función de sustratos y tamaño de brotes

Macro-propagation and quality of plantain seedlings (*Musa AAB Simmonds*) as a function of substrates and sprout size

Galo Alexander Cedeño-García¹ 

Leonardo Ramón Vera-Macías² 

Sofía del Rocío Velásquez-Cedeño³ 

Geoconda Aracely López-Álava⁴ 

Jessica Elizabeth Cargua-Chávez⁵ 

George Alexander Cedeño-García⁶ 

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón. Calceta, Manabí, Ecuador [✉gcedeno@espam.edu.ec](mailto:gcedeno@espam.edu.ec)

²Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón. Calceta, Manabí, Ecuador [✉lvera@spam.edu.ec](mailto:lvera@spam.edu.ec)

³Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón. Calceta, Manabí, Ecuador [✉svelasquez@espam.edu.ec](mailto:svelasquez@espam.edu.ec)

⁴Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Campus Politécnico El Limón. Calceta, Manabí, Ecuador [✉geoconda.lopez@espam.edu.ec](mailto:geoconda.lopez@espam.edu.ec)

⁵Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. [✉jessicacargua@tsachila.edu.ec](mailto:jessicacargua@tsachila.edu.ec)

⁶Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Agronomía. Santa Ana, Manabí, Ecuador [✉george.cedeno@utm.edu.ec](mailto:george.cedeno@utm.edu.ec)

Recibido: 13/07/2022 Aceptado: 27/07/2022

Resumen La macropropagación de plátano en cámara térmica es un método alternativo, económico y eficiente en la producción de plántulas de calidad. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de varios tipos de sustratos y diferentes tamaños de brotes en la producción y calidad de plántulas de plátano propagadas en cámara térmica. Se desarrollaron dos experimentos separados. En el primero, se probó el efecto de cuatro sustratos sobre la producción de yemas de plátano en cámara térmica, usando: bovinaza compostada (BC), bovinaza compostada + cascarilla de maní (BC + CM), bovinaza compostada + cascarilla de arroz (BC + CA) y bovinaza compostada + aserrín blanco (BC + AB), y se registró la tasa de multiplicación. En el segundo, se evaluó el efecto de tres tamaños de brotes sobre el crecimiento y calidad de plántulas en fase de vivero, usando brotes: tipo A (entre 6–10 cm), tipo B (entre 11–15 cm) y tipo C (entre 16–20 cm), y se midieron variables de crecimiento y calidad de plántulas. En ambos experimentos, se utilizó un diseño completamente aleatorizado. Se realizó análisis de varianza y comparación de medias (Tukey, $p \leq 0,05$). La mayor tasa de multiplicación de plántulas se produjo con el sustrato BC+CA. El mayor crecimiento e índice de calidad de Dickson en plántulas durante la aclimatación se produjo en brotes tipo C. El tipo de sustrato y tamaño de brote fueron determinantes en la producción y calidad de plántulas de plátano macropropagadas.

Palabras clave: *Musa AAB*, propagación, sustrato de crecimiento, tamaño de explante, calidad de planta

Abstract The macro-propagation of plantain a thermal chamber is an economical and efficient alternative method for quality seedling production. The aim of the research was to evaluate the effect of various substrate types and different sprout sizes on the production and quality of plantain seedlings propagated in thermal chamber. Two separate experiments were performed. 1) To test the effect of four substrates on the plantain sprout production in a thermal camera, using manure composted (CC), cattle manure composted + peanut husk (CC + PH), cattle manure composted + rice husk (CC + RH), and cattle manure composted + white sawdust (CC + WS). The sprout multiplication rate was recorded. 2) To test the effect of three sprout sizes on the growth and seedling quality in the nursery phase, using type A (6–10 cm), type B (11–15 cm) and type C (16–20 cm) sprouts. Variable growth and seedling quality were measured. A completely randomized design was used in both experiments. Analysis of variance and comparison of means (Tukey, $p \leq 0,05$) were performed. The highest sprout multiplication rate was obtained with the CC + RH substrate. The highest growth and Dickson quality index on seedlings in the acclimatization phase were obtained with type C sprouts. The type of substrate and the size of the sprouts were decisive in the production and quality of macro-propagated plantain seedlings.

Keywords: *Musa AAB*, propagation, growth substrate, explant size, plant quality.

Introducción

Los cultivos de banano y plátano son de gran trascendencia a nivel global, debido a que la economía y seguridad alimentaria de muchos países productores se encuentra ligada a estas musáceas, más aún, por su alto valor energético y nutritivo (Scott, 2021). El uso de material de siembra obtenido por el método tradicional es el preferido por pequeños agricultores; el mismo que no garantiza una buena calidad sanitaria de la semilla, debido a la facilidad con que se transmiten artrópodos-plaga y enfermedades que pueden mermar la producción, rentabilidad y vida útil del cultivo (Njau *et al.*, 2011; Jacobsen *et al.*, 2019).

Otra desventaja de la propagación convencional es la baja tasa de multiplicación, ocasionada por la dominancia apical inducida por los rizomas madres (Sajith *et al.*, 2014). La obtención de material de siembra vía micropropagación es la alternativa más viable, debido a la alta calidad fisiológica y sanitaria que ofrece este método de propagación. A pesar de lo anterior, el alto costo que implica este material de siembra, lo hace económicamente inviable para pequeños productores (Tumuhimbise y Talengera, 2018).

Ante estas circunstancias, la macropropagación de plátano mediante el método de la cámara térmica se presenta como una alternativa efectiva, económica, de fácil acceso y adopción para pequeños productores; dado que permite obtener gran cantidad de plántulas, a partir de cormos previamente seleccionados, en un corto periodo de tiempo y con alta calidad fisiológica y sanitaria (Cedeño-García *et al.*, 2016a; Ntamwira *et al.*, 2017). Lo anterior, se debe a que la cámara térmica permite el incremento de la temperatura (50 – 70 °C), lo cual funciona como método de termoterapia para la limpieza fitosanitaria del material de siembra (Álvarez *et al.*, 2013; Cedeño-García *et al.*, 2016a).

En este contexto, Lassois *et al.* (2013) y Panattoni *et al.* (2013) mencionan a la termoterapia como un método efectivo de limpieza fitosanitaria, debido a que los patógenos

tienden a degradarse a temperaturas menores a las soportadas por los explantes. Además, las condiciones ambientales de alta temperatura y humedad relativa, inducidas por las cámaras térmicas, favorece la activación de yemas y masifica las tasas de multiplicación (Jacobsen *et al.*, 2019).

Otro de los aspectos importantes a considerar, es la calidad del sustrato utilizado en la macropropagación de plátano, con la finalidad de aportar condiciones adecuadas para estimular la brotación de rizomas, y favorecer el crecimiento y la calidad de las plántulas en fase de aclimatación (Esakkimuthu y Shakila, 2017; Sebayang *et al.*, 2018). Varios autores han concluido, que la respuesta de multiplicación de rizomas de banano y plátano es afectada por los tipos de sustratos, el genotipo y el tamaño del material vegetal (Tchoa *et al.*, 2011; Tchoa *et al.*, 2016; Opoku *et al.*, 2017). Por otra parte, también se ha demostrado que el tamaño de brotes o explantes trasplantados a condiciones de vivero, puede incidir en las tasas de enraizado, sobrevivencia y crecimiento de las plántulas (Sosa-Rodríguez *et al.*, 2009; Cedeño-García *et al.*, 2016b; Rai *et al.*, 2020).

La tecnología de macropropagación de plátano en Ecuador es reciente y su disseminación, y adopción por parte de productores plataneros es baja. Esto no permite que los pequeños productores accedan a esta tecnología, que de adoptarse masivamente podría mejorar la calidad del material de siembra, para implementar nuevas plantaciones con un mayor potencial productivo. Además, los productores plataneros desconocen cuáles de los subproductos de la zona son más idóneos para ser utilizados como sustrato en la propagación y aclimatación de plántulas. Por lo ya descrito, el principal objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de sustratos y el tamaño de brotes en la producción, y la calidad de plántulas de plátano propagadas en cámara térmica.

Materiales y métodos

Localización

El trabajo se llevó a cabo durante los meses de octubre de 2020 a marzo de 2021, en la granja

experimental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, provincia de Manabí, Ecuador. El sitio experimental se ubicó geográficamente en las coordenadas $0^{\circ} 49' 10''$ de latitud sur y $80^{\circ} 10' 40''$ de longitud oeste. La temperatura, precipitación y heliofanía promedio anual fueron de $25,7^{\circ}\text{C}$, 839 mm y 1,045 horas, respectivamente, con una altitud de 21 m.s.n.m.

Material vegetal

Se utilizaron rizomas de 2 kg del plátano cv. Barraganete o Hartón (*Musa* AAB Simmonds), los cuales fueron seleccionados a partir de hijuelos espada, provenientes de lotes sanos y productivos. Luego de la extracción desde las plantas madre, fueron limpiados con cuchillo previamente desinfectado, hasta retirar todo el tejido necrótico y dejar los cormos con sus yemas expuestas. Esto con el objetivo de retirar restos biológicos de artrópodos-plaga y patógenos. Seguidamente, como una segunda medida de limpieza fitosanitaria, los rizomas fueron colocados durante 25 segundos en agua hirviendo, de acuerdo con lo sugerido por Coyne *et al.* (2010). Finalmente, se procedió a extirpar el meristemo apical del rizoma y sus yemas laterales, con la ayuda de una navaja desinfectada. Con la finalidad de inhibir la dominancia apical ejercida por las auxinas presentes en los puntos de crecimiento, y posteriormente, estimular la brotación de yemas axilares y producción de callos (Cedeño-García *et al.*, 2016a).

Cámara térmica

La estructura de la cámara térmica fue construida con caña guadua (*Guadua angustifolia*) y madera, con un tamaño de 2 x 10 x 1,5 m de ancho, largo y alto, en su orden respectivo. Posteriormente, la estructura armada se cubrió con plástico transparente de 0,6 mm de grosor. Tiempo después, fue colocada encima del plástico, malla sarán al 50% de filtración de luz, con el propósito de disminuir las quemaduras solares de los brotes, que se producen por el efecto lupa

que ocasionan las gotas de agua que se depositan en las hojas. En el interior de la cámara térmica, fueron construidos platabandas o canteros sobre la base del suelo, con dimensiones de 10 x 1,0 x 0,25 m de largo, ancho y alto, respectivamente. Tiempo después, las platabandas fueron llenadas con los sustratos objeto de estudio, donde finalmente fueron colocados de forma semienterrada, 12 rizomas m^{-2} .

Experimento 1. Efecto de combinaciones de sustratos sobre la tasa de multiplicación del plátano en cámara térmica

Los tratamientos evaluados fueron: bovinaza compostada (BC), bovinaza compostada + cascarilla de maní (BC + CM), bovinaza compostada + cascarilla de arroz (BC + CA), y bovinaza compostada + aserrín blanco (BC + AB). Las mezclas entre bovinaza compostada con cascarilla de maní, cascarilla de arroz, y aserrín blanco fueron establecidas en proporción volumétrica del 50 % (v/v) de cada sustrato. Las características fisicoquímicas de los sustratos evaluados se describen en la Tabla 1. El experimento se estableció con un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos, cinco repeticiones y 20 unidades experimentales. Cada unidad se formó por parcelas de 12 rizomas m^{-2} .

Previo a la siembra de los cormos, los sustratos fueron esterilizados en tanques metálicos colocados sobre fuego durante seis horas, esto, según lo recomendado por Tchoa *et al.* (2011). Se registró el tiempo de brotación cuando se observaron brotes en el 50% de rizomas, la tasa de multiplicación fue estimada con la Ecuación 1, a los 90 días de la brotación y el número de plántulas m^{-2} se determinó a los 90 días de iniciada la brotación, a través de conteo.

Ecuación 1

$$\text{Tasa de multiplicación (TM)} = \frac{\text{Número de plantas totales}}{\text{Número de cormos iniciales}}$$

Tabla 1

Características fisicoquímicas de los sustratos utilizados en la propagación del plátano

Parámetros	Bovinaza compostada	Cascarilla de arroz	Aserrín blanco	Cascarilla de maní
pH (1: 2,5)	8,10	7,39	6,12	7,40
CE (dS m ⁻¹)	3,20	0,72	0,82	1,38
CIC (meq /100 g)	41,14	1,20	1,25	1,12
MO (%)	52,10	30,46	35,46	32,64
C (%)	25,14	34,20	28,00	41,20
N (%)	2,20	1,20	0,72	1,40
P (%)	0,80	0,60	1,11	0,58
K (%)	1,04	1,10	1,30	0,66
Porosidad (%)	41,18	85,17	63,12	70,00
Da (g cm ³)	0,65	0,12	0,28	0,32
CRA ^v				
(g H ₂ O/g de muestra)	3,00	0,18	0,55	0,21

Nota. CRA^v = capacidad de retención de agua. Elaboración propia.

Experimento 2. Efecto del tamaño de brotes producidos en cámara térmica en el crecimiento y calidad de plantas en fase de aclimatación

Los tratamientos evaluados fueron tres tamaños de brotes (Figura 1) que se describen a continuación: brotes tipo A (entre 6 a 10

cm de longitud), tipo B (entre 11 a 15 cm de longitud) y tipo C (entre 16 a 20 cm de longitud). El experimento se estableció con un diseño completamente al azar, con tres tratamientos, siete repeticiones y 21 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 20 brotes.

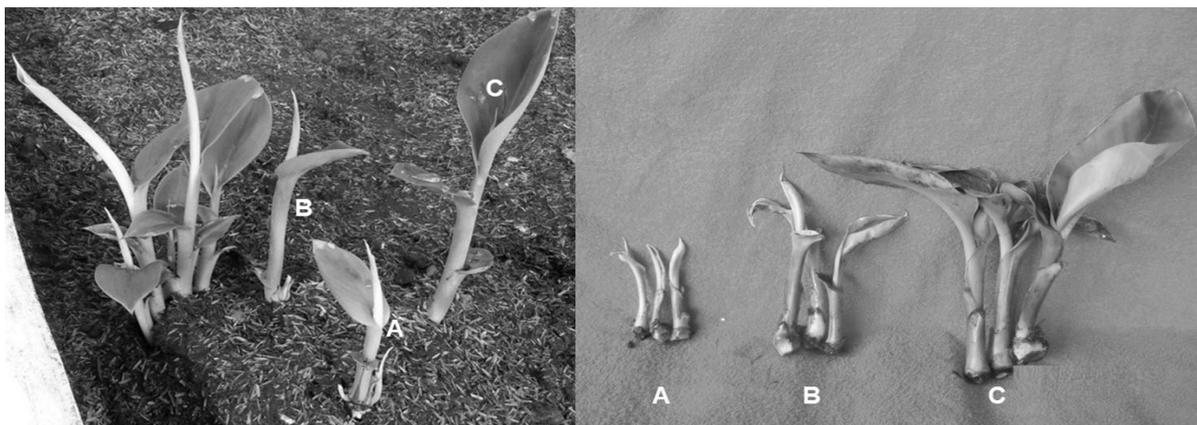


Figura 1

Tamaño de brotes extraídos de cámara térmica, y evaluados en fase de aclimatación

Nota. Elaboración propia.

Para el experimento se cosecharon brotes no enraizados, que fueron desprendidos cuidadosamente de los rizomas con una navaja desinfectada. Seguidamente, se colocó la base de los brotes en agua por un tiempo de 15 días, con el propósito de estimular la producción de raíces, según lo descrito por Cedeño-García *et al.* (2016b). El agua utilizada se esterilizó con la finalidad de evitar la presencia de patógenos. Los brotes que hasta los 15 días no emitieron raíces, fueron considerados muertos. Seguidamente, los brotes enraizados fueron trasplantados a bolsas de polietileno de 15 x 22 cm, que fueron llenadas previamente con un sustrato conformado por suelo de arado, arena de río y vermicompost, en proporción 2:1:1. Posteriormente, las plántulas fueron aclimatadas en vivero, donde se dejaron crecer por 60 días, para realizar el registro de variables morfológicas.

Se registró el porcentaje de enraizado (%), la altura de la planta (cm), el diámetro de tallo (mm), la longitud radical (cm), masa seca de planta (g), área foliar (cm²), y el índice de calidad de Dickson (ICD). El enraizamiento de brotes en agua se estimó con la Ecuación 2, a los 15 días de la sumersión en agua. La altura de la planta, el diámetro de tallo, la longitud radical, masa seca de planta, y área foliar fueron registrados a los 60 días de aclimatación en vivero. La masa seca se determinó en laboratorio, colocando muestras de la planta en estufa de ventilación forzada a 75 °C, hasta que se alcanzó peso constante. Para el área foliar se utilizó la Ecuación 3. El ICD fue determinado con la Ecuación 4

Ecuación 2

$$\text{Porcentaje de enraizado PE(\%)} = \frac{\text{Número de brotes enraizados}}{\text{Número de brotes totales}} \times 100$$

Ecuación 3

$$\text{Área Foliar (cm}^2\text{)} = LH * AH * K(0,80) * NH * K_2(0,662)$$

Dónde:

LH: longitud de tercera hoja, AH: ancho de tercera hoja, K: factor de curvatura de Murray

(1960), NH: número de hojas y K₂: nuevo factor de curvatura de Kumar *et al.* (2002).

Ecuación 4

$$ICD = \frac{\text{Peso seco biomasa total (g)}}{\frac{\text{Altura de planta (cm)}}{\text{Diámetro de pseudotallo (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}}$$

Análisis de datos

Los datos registrados fueron analizados mediante el ANOVA y la separación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). También se correlacionaron las variables morfológicas con la calidad de las plántulas.

Resultados y discusión

Experimento 1. Efecto de combinaciones de sustratos sobre la tasa de multiplicación del plátano en cámara térmica

Los días de brotación no fueron influenciados significativamente por los sustratos probados (Tabla 2), lo cual indica que la activación y emergencia de yemas es independiente del efecto del sustrato. En promedio, el tiempo de brotación obtenido fue de 21,50 días, el cual difiere a los 11,80 y 39,71 días reportados entre los diferentes sustratos evaluados por Tchoa *et al.* (2011) y Tchoa *et al.* (2016). Lo anterior, podría deberse a que otros factores probados como genotipo, tamaño e hidratación previa de los cormos, influyeron sobre esta variable. Se detectaron diferencias significativas para la producción de plantas por cormo y m⁻², donde los sustratos a base de BC y BC+CM alcanzaron la menor producción de plántulas con relación a las combinaciones BC+AB y BC+CA, con mayor producción de plántulas por cormo y m⁻² (Tabla 2).

La producción de plántulas por cormo y m⁻² a los 90 días después de la brotación, se incrementó en 31, 42 y 51 % con las mezclas BC + CM, BC + AB y BC + CA, respectivamente, en relación con la BC. Los resultados obtenidos se asemejan a los hallados por Esakkimuthu y Shakila (2017), que alcanzaron mayor tasa de

multiplicación de banano con mezclas de sustratos conformados por aserrín, cáscara de arroz y estiércol de corral, en relación con el sustrato control a base de arena. Por su parte, Opoku *et*

al. (2017) concluyeron que la mezcla estiércol de pollo + aserrín, incrementó el número de plántulas propagadas, en relación con el sustrato a base de aserrín.

Tabla 2

Proliferación del plátano en función de varios sustratos a base de compost de bovinaza bajo condiciones de cámara térmica. Calceta, Ecuador, 2019

Sustratos	Tiempo de brotación	Tasa de multiplicación de cormos en 90 días	Producción de plantas m ⁻² en 90 días
BC	20,80	19,60 a1/	235,20 a
BC + CM	22,00	28,20 ab	341,20 ab
BC + CA	22,00	40,20 c	482,40 c
BC + AB	21,20	34,00 b	408,80 b
Promedio	21,50	30,50	366,90
C.V. %	9,27	16,20	17,02
p-valor ANOVA	0,7189	0,0011	0,0014

Nota. BC: bovinaza compostada; CM: cascarilla de maní; CA: cascarilla de arroz; AB: aserrín de balsa; C.V.: coeficiente de variación; ANOVA: análisis de varianza; /: promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$). Elaboración propia.

Posiblemente, la BC presentó menor producción de plántulas por cormo y m⁻², debido a que se produjo encharcamiento por el exceso de humedad que acumuló este sustrato en las raíces del cormo, lo cual ocasionó que algunos brotes que salieron en la base de este se oxiden, y por tanto no formaran yemas adventicias y multiyemas. Esto pudo haberse desarrollado por la alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y retención de humedad (RH) que mostró este sustrato en relación con aquellos conformados por cascarilla de maní, arroz y aserrín de balsa, que presentaron mejor drenaje (Tabla 1).

Sobre lo anterior, ha sido reportado que la CIC en el estiércol vacuno y otros materiales orgánicos se incrementa con el compostaje y por tanto su capacidad de retener agua y nutrientes (Saharinen, 1998; Khater, 2015; Karanja *et al.*, 2019). Por el contrario, en las mezclas de BC + CM, BC + CA, y BC + AB se obtuvo mayor producción de plántulas, debido a que, posiblemente

estos sustratos promovieron un medio físico y químico más favorable para el desarrollo de raíces y proliferación de yemas adventicias. En este contexto, Baiyeri y Aba (2005) y Opoku *et al.* (2017) mencionan que la mezcla de pollinaza con cascarilla de arroz y aserrines de madera, muestran mejores condiciones fisicoquímicas para el desarrollo de raíces, y la proliferación de yemas en cormos de banano durante la macropropagación.

Experimento 2. Efecto del tamaño de brotes producidos en cámara térmica en el crecimiento y calidad de plantas en fase de aclimatación

El tamaño del brote influyó significativamente en el enraizamiento y en la masa fresca radical de plántulas de plátano durante los 15 días de inmersión en agua (Tabla 3), donde se evidenció que la producción de raíces fue directamente proporcional al tamaño de brote. Los resultados mostraron que el enraizamiento se incrementó

en 18,23 y 22,03 % en brotes de entre 11 – 15, y 16 – 20 cm en su orden respectivo, en relación con el de menor tamaño, que mostró menor promedio de enraizamiento (Tabla 3). De forma

Tabla 3

Características fisicoquímicas de los sustratos utilizados en la propagación del plátano.

Tamaño de brote	Enraizamiento (%)	Masa fresca radical (g)
6 – 10 cm	70,78 a ^{1/}	1,41 a
11 – 15 cm	86,56 b	1,66 b
16 – 20 cm	90,78 b	2,47 b
Promedio	82,71	1,85
C.V. %	14,84	9,48
p-valor ANOVA	0,0080	0,0084

Nota. C.V.: coeficiente de variación; ANOVA: análisis de varianza; ^{1/}: promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$).
 Elaboración propia.

Estos hallazgos, son cercanos a los obtenidos por Cedeño-García *et al.* (2016b), que reportaron tasas de enraizamiento del 83 y 94 % en plántulas de banano cv. Williams enraizadas en agua con una y dos hojas formadas, en contraste con plántulas que aún no tenían hojas. En cuanto a el efecto del tamaño del brote, independientemente del remojo en agua, Sosa-Rodríguez *et al.* (2009), se reportaron porcentajes de enraizamiento de hasta el 100 % con explantes de *Heliconia standley* superiores a 3 cm, en relación con explantes de menor tamaño. En este mismo contexto, Gabriel *et al.* (2013) reportaron que plántulas de banano cv. Lacatan de entre 7–10 cm de altura lograron mayor porcentaje de supervivencia, en contraste a plántulas de entre 3–6 cm.

Independientemente del tamaño de explante; el uso de agua como medio de enraizamiento, parece ser una buena estrategia, que induce a la formación de raíces adventicias en brotes de plátano obtenidos vía macropropagación. Se ha comprobado que una red de señalización regula la iniciación y emergencia de las raíces en plantas sumergidas, con la promoción de auxinas y etileno, y la inhibición de citoquininas y estrigolactonas (Steffens y Rasmussen, 2016).

similar, los brotes de entre 11 – 15 y 16 – 20 cm mostraron un incremento de 6,83 y 23,71 % de masa fresca radical, en comparación con el brote de menor dimensión (Tabla 3).

Las variables morfológicas, como la altura de planta, el diámetro de tallo y la longitud de biomasa radical, fueron significativamente influenciadas por el tamaño de brote, a los 60 días de aclimatación (Tabla 4). El brote de entre 16–20 cm superó en altura de planta a los brotes de entre 6–10 cm, y 11–16 cm, con 56,43 y 29,87 %, respectivamente. De la misma manera se presentó para el diámetro del tallo, donde el brote de mayor tamaño mostró un incremento del 61,13 y 35,71 %, en consideración con los de 6–10 cm y 11–16 cm, en su orden respectivo. Así mismo, el mayor tamaño del brote favoreció el crecimiento de biomasa radical, aquellos entre 6–10 cm y 11–16 cm, fueron superados en un 42,19 y 25,71 %, respectivamente, por el brote de mayor tamaño.

El incremento en altura y diámetro de tallo, obtenido con los brotes de mayor tamaño, se asemejan a los resultados determinados por Ashango (2017), quien reportó mayor altura y diámetro de tallo en rizomas de *Ensete ventricosum* con mayor dimensión, en contraste con rizomas de menor tamaño. Así mismo, Muhidin *et al.* (2021) hallaron mayor incremento en altura de planta y circunferencia de tallo, en plántulas provenientes de rizomas

de 12 x 12 x 12 cm, en comparación a rizomas de menor tamaño del banano cv. Dwarf (*Musa* AAA Simmonds). Por su parte, Rai *et al.* (2020) reportaron mayores tasas de crecimiento de tallo y raíces en plántulas de banano

Kepok (*Musa* AAB Simmonds) provenientes de rizomas de 9 x 9 x 9 cm, en relación con las provenientes de rizomas más pequeños, lo cual indica que las reservas del cormo de las plantas más grandes aportaron más cantidad de carbohidratos, lo que influyó en estos resultados.

Tabla 4

Efecto del tamaño de brote sobre variables morfológicas de plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero

Tamaño de brote	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)
6–10 cm	19,88 a ^{1/}	15,35 a	23,25 a
11–15 cm	32,00 b	25,39 b	29,88 ab
16–20 cm	45,63 c	39,49 c	40,22 b
Promedio	32,50	26,74	31,12
C.V. %	18,86	15,09	11,10
p-valor ANOVA	0,0001	0,0001	0,0456

Nota. C.V.: coeficiente de variación; ANOVA: análisis de varianza; ^{1/}: promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$). Elaboración propia.

El crecimiento en masa seca y área foliar, así como el índice de calidad de Dickson de plántulas de plátano, fueron influenciados significativamente ($p < 0,05$) por el tamaño de brote a los 60 días de aclimatación en vivero (Tabla 5).

El brote de entre 16–20 cm mostró el mayor crecimiento y calidad en vivero, donde alcanzó la mayor acumulación de masa seca de planta, superando en un 57,17 y 20,25 % a los de entre 6–10 y 11–15 cm, respectivamente. De forma similar, los brotes de entre 6–10 y 11–15 cm, mostraron un 51,59 y 17,15 % menos de área foliar, en su orden respectivo, en relación con el de mayor tamaño. En concordancia con lo anterior, el brote de entre 16–20 cm logró el mayor índice de calidad de Dickson, con una diferencia del 37,64 y 25,76 %, en contraste con los brotes de entre 6–10 y 11–15 cm, respectivamente (Tabla 5).

Los resultados hallados se asemejan a los reportados por Ashango (2017), quien logró mayor crecimiento en plántulas de *Ensete ventricosum* propagadas a partir de rizomas de

mayor tamaño. En este mismo contexto, Patiño-Martínez *et al.* (2019) hallaron que plantas de banano bocadillo (*Musa* AA Simmonds), obtenidas a partir de cormos de entre 300–700 y 700–1000 g expresaron mejores parámetros de crecimiento, con relación a plantas procedentes de cormos de menor tamaño. Por su parte, Rai *et al.* (2020) también reportaron mayor ganancia de masa seca y área foliar en plántulas de banano Kepok (*Musa* AAB Simmonds) provenientes de rizomas de mayor tamaño. El índice de calidad de Dickson, obtenido en plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero fue mayor en plántulas provenientes de brotes de entre 16–20 cm, en relación a los de tamaño inferior (Tabla 5), lo cual se acerca a los promedios reportados por Ramírez *et al.* (2006) para plántulas de banano (*Musa* AAA Simmonds), con medias de hasta 12 puntos.

En general, los resultados alcanzados denotan que el crecimiento y la calidad de las plántulas durante la aclimatación en vivero son proporcionales a el tamaño del brote o explante inicial, lo cual puede estar relacionado con las mayores reservas nutritivas que potencian el crecimiento inicial de las plántulas en etapa

de aclimatación (Taji y Williams, 2005; Smith, 2013). En este sentido, varias investigaciones han concluido que un mayor tamaño del explante o semilla, puede determinar una menor dependencia de los nutrientes del medio donde

se desarrollan, dada la cantidad superior de reservas nutritivas contenida en sus órganos y tejidos, que pueden ser movilizados y destinados al crecimiento inicial de las plántulas (Cicek y Tilki, 2007; Yang & Wen, 2017; Shi *et al.*, 2019).

Tabla 5

Efecto del tamaño de brote sobre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano a los 60 días de aclimatación en vivero.

Tamaño de brote	Masa seca de planta (g)	Área foliar (cm ²)	Índice de calidad de Dickson (ICD)
6 – 10 cm	22,95 a ¹	1019,52 a	9,08 a
11 – 15 cm	42,73 b	1744,92 ab	10,81 a
16 – 20 cm	53,58 c	2106,04 b	14,56 b
Promedio	39,75	1623,49	11,72
C.V. %	17,50	17,98	17,14
p-valor ANOVA	0,0001	0,0375	0,0015

Nota. C.V. = coeficiente de variación; ANOVA = análisis de varianza; ¹ = promedios con letras distintas difieren estadísticamente (Tukey, $p \leq 0,05$).
 Elaboración propia.

El índice de calidad de Dickson se correlacionó positiva y significativamente ($p < 0,05$) con las variables morfométricas y de crecimiento a los 60 días en etapa de vivero (Tabla 6). Estos resultados se acercan a los reportados por Binotto *et al.* (2010), quienes concluyeron

que las variables de materia seca y diámetro del tallo son las que están más fuertemente correlacionadas con la calidad de planta. De forma similar, Lin *et al.* (2019) reportaron que los índices fisiológicos y morfométricos se correlacionan con el vigor de las plantas.

Tabla 6

Relación entre el crecimiento y calidad de plántulas de plátano propagadas en cámara térmica a los 60 días de aclimatación en vivero

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Longitud de biomasa radical (cm)	Masa seca de planta (g)	Área foliar (cm ²)
ICD	R = 0,80	R = 0,80	R = 0,75	R = 0,74	R = 0,83
	P < 0,0001	P < 0,0001	P < 0,0005	P < 0,0001	P < 0,0001

Nota. ICD: índice de calidad de Dickson; R: coeficiente de correlación de Pearson; P: significancia estadística de las correlaciones $\alpha \leq 0,05$.
 Elaboración propia.

Lo anterior sugiere que la calidad de una planta depende de un crecimiento equilibrado entre las estructuras morfológicas, y de las respectivas funciones fisiológicas desempeñadas, lo cual ha sido indicado por diversos autores en otras especies de interés agrícola (Binotto *et al.*, 2010; Rezende *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2018; Lin *et al.*, 2019). La calidad de una planta se traduce en un mayor sistema radical de anclaje,

una mayor exploración del suelo, una mejor capacidad fotosintética, y de adaptación al estrés postrasplante.

Conclusiones

El uso de bovinaza compostada pura no es adecuado como sustrato para la propagación de plátano en condiciones de cámara térmica. La

mezcla de bovinaza compostada con cascarilla de arroz, puede usarse como un sustrato adecuado para la propagación de plátano en cámara térmica. Brotes o explantes con tamaño de entre 16–20 cm de longitud originan plántulas con mayor capacidad de crecimiento y calidad en fase de aclimatación.

Agradecimientos

Emitimos un fraterno agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, por financiar este trabajo de investigación a través de los proyectos institucionales “Selección de clones élites de plátano (*Musa* AAB Simmonds.) de alto potencial productivo a partir de fincas plataneras de Manabí” con CUP 381232 y “Fortalecimiento de la agricultura familiar local mediante aplicación de buenas prácticas de manejo de suelo, cultivos, bioinsumos y poscosecha” con CUP 384767 que se ejecutan actualmente en la institución, tal como consta en la Secretaría de Planificación del Estado Ecuatoriano.

Referencias

Álvarez, E., Ceballos, G., Cañán, L., Rodríguez, D., González, S., y Pantoja, A. (2013). *Producción de material de siembra limpio en el manejo de las enfermedades limitantes del plátano*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). ISBN 978-958-694-120-4.

Alves, R., Gomes, G., Malta, E., Andrade, G., y do Sacramento, C. (2018). Manejo de matrizes interfere no rendimento e na qualidade de mudas de cacaueiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40 (3), 1 – 8. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018582>

Ashango, T. (2017). Effect of corm and corm pieces on regeneration and multiplication of ensset (*Ensete ventricosum* (Welw.) Cheesman). *International Journal of Research – GRANTHAALAYAH*, 5 (5), 281–289. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i5.2017.1860>

Baiyeri, K., y Aba, S. (2005). Response of *Musa* species to macro-propagation. I: Genetic and initiation media effects on number, quality and survival of plantlets at prenursery and early nursery stages. *African Journal of Biotechnology*, 4 (3), 223–228. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/15084>

Binotto, A. F., Lúcio, A., y Lopes, S. (2010). Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne, Lavras*, 16 (4), 457–464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>

Cedeño-García, G., Soplín-Villacorta, H., Helfgott-Lerner, S., Cedeño-García, G., y Sotomayor-Herrera, I. (2016a). Aplicación de biorreguladores para la macropropagación del banano cv. Williams en cámara térmica. *Agronomía Mesoamericana*, 27 (2), 397–408. <https://doi.org/10.15517/am.v27i2.24390>

Cedeño-García, G., Soplín-Villacorta, H., Cargua-Chávez, J., Cedeño-García, G. (2016b). Potencial de enraizamiento en agua y vigor de plántulas de banano obtenidas en cámara térmica. *Revista La Técnica*, 16, 6–15. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i16.529

Cicek, E., y Tilki, F. (2007). Seed size effects on germination, survival and seedling growth of *Castanea sativa* Mill. *Journal of Biological Sciences*, 7 (2), 438–441. <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.438.441>

Coyne, D., Wasukira, A., Dusabe, J., Rotifa, I., y Dubois, T. (2010). Boiling water treatment: A simple, rapid and effective technique for nematode and banana weevil management in banana and plantain (*Musa* spp.) planting material. *Crop Protection*, 29 (12), 1478–1482. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.08.008>

Esakkimuthu, D., y Shakila, S. (2017). Studies on the effect of media on sucker production of banana cv. POOVAN. *The Asian Journal of Horticulture*, 12 (1), 55–58. <https://doi.org/10.15740/HAS/TAJH/12.1/55-58>

Gabriel, M. L., Atis, M.I., Badar, A. J., y Pascua, M. E. (2013). Development of low-cost and rapid multiplication techniques of tissue-cultured *Musa acuminata* (AA Group) cv. ‘Lacatan’ banana seedlings. *MMSU Science and Technology Journal*, 3 (1), 108–124. http://research.mmsu.edu.ph/stjournal/vol3_dev_low_cost_rapid_multiplication.pdf

Jacobsen, K., Omondi, B. A., Almekinders, C., Alvarez, E., Blomme, G., Dita, M., skra-Caruana, M., Ocimati, W., Tinzaara, W., Kumar, P. L., y Staver, C. (2019). Seed degeneration of banana planting materials: strategies for improved farmer access to healthy seed. *Plant Pathology*, 68, 207–228. <https://doi.org/10.1111/ppa.12958>

Karanja, A. W., Njeru, E. M., y Maingi, J. M. (2019). Assessment of physicochemical changes during composting rice straw with chicken and donkey manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8 (1), 65–72. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0270-x>

Khater, E. (2015). Some Physical and Chemical Properties of Compost. *International Journal of Waste Resources*, 5 (1), 1000172. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000172>

Kumar, N., Krishnamoorthy, V., Nalia, L., y Soorianathasundharam, K. (2002). A new factor for estimating total leaf area in banana. *InfoMusa*, 11(2), 42 – 43. www.musalit.org/seeMore.php?id=14204

Lassois, L., Lepoivre, P., Swennen, R., Van den Houwe, I., y Panis, B. (2013). Thermotherapy, chemotherapy, and meristem culture in banana. En Lambardi, M., Ozudogru, E., y Mohan, S. (Eds.). *Protocols for micropropagation of selected economically important horticultural plants*, 419–433. Methods in molecular biology, New York, USA: Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-62703-074-8_32

- Lin, K-H., Wu, C-W., y Chang, Y-S. (2019). Applying Dickson quality index, chlorophyll fluorescence, and leaf area index for assessing plant quality of *Pentas lanceolata*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47 (1), 169–176. <https://doi.org/10.15835/nbha4711312>
- Muhidin, Nurmas, A., Sadimantara, G., Pratama, A., Rakian, T., Sutariati, G., Leomo, S., y Yusuf, D. (2021). The effect of banana humps size on the vegetative growth of dwarf banana seedling. *International Conference on Agriculture, Environment and Food Security:2020*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 782, 042061. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/782/4/042061>
- Murray, D. (1960). The effect of deficiencies of the major nutrients on growth and leaf analysis of the banana. *Tropical Agriculture*, 37 (2), 97–106. <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/4175/0>
- Njau, N., Mwangi, M., Kahuthia-Gathu, R., Muasya, R., y Mbaka, J. (2011, octubre, 10–13). Macropropagation technique for production of healthy banana seedlings. En Tenywa, J. S., Taulya, G., Kawube, G., Kawuki, R., Namugwanya, M., y Santos, L. *African Crop Science Conference Proceedings*, 10, 469 – 472. Congress conducted by African Crop Science Society, Maputo, Mozambique.
- Ntamwira, J., Sivirihauma, C., Ocimati, W., Bumba, M., Vutseme, L., Kamira, M., y Blomme, G. (2017). Macropropagation of banana/plantain using selected local materials: a cost-effective way of mass propagation of planting materials for resource-poor households. *European Journal for Horticultural Science*, 82 (1), 38–53. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.1.5>
- Opoku, E. M., Mensah, B. D., Amoako, P., Owusu-Nketia, S., y Dapaah, H. (2017). Sucker multiplication in plantain using chicken manure as a substrate supplement. *African Journal of Plant Science*, 11(5), 168–173. <https://doi.org/10.5897/AJPS2017.1539>
- Panattoni, A., Luvisi, A., y Triolo, E. (2013). Review. Elimination of viruses in plants: twenty years of progress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(1), 173–188. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013111-3201>
- Patiño-Martínez, A. A., Rodríguez-Yzquierdo, G. A., Miranda-Salas, T. C., y Lemus-Lemus, L. M. (2019). Efecto de fertilización y peso del cormo sobre la multiplicación de semilla de bananito (*Musa AA*). *Temas Agrarios*, 24 (2), 139–146. <https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.1857>
- Rai, I. N., Sudana, I. M., Astawa, I. G., y Dwiyani, R. (2020). The effect of chopped corm sizes and types of soaking material on growth seedling of kepok banana (*Musa paradisiaca* L. ABB Kepok). *International Journal of Life Sciences*, 4 (2), 32–41. <https://doi.org/10.29332/ijls.v4n2.432>
- Ramírez, H., Rodríguez, G., y Arturo, S. M. (2006). *Efecto de diferentes sustratos y dosis de nitrógeno sobre el desarrollo de plantas de banana (Musa AAA) en etapa de vivero*. [Tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela]. Biblioteca Central. <http://sibucv.ucv.ve/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=84525#>
- Rezende, F., Hardt, V., Branco, C., y Moura, M. (2016). Biochar in substrate composition for production of teak seedlings. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51 (9), 1449–1456. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900043>
- Saharinen, M. H. (1998). Evaluation of changes in CEC during composting. *Compost Science & Utilization*, 6 (4), 29–37. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1998.10701938>
- Sajith, K., Uma, S., Saraswathi, M., Backiyarani, S., y Durai, P. (2014). Macropropagation of banana - Effect of bio-fertilizers and plant hormones. *Indian Journal of Horticulture*, 71 (3), 299–305. <https://iahs.org.in/indian-journal-of-horticulture-other-publications/indian-journal-of-horticulture/>
- Scott, G. (2021). A review of root, tuber and banana crops in developing countries: past, present and future. *International Journal of Food Science and Technology*, 56 (3), 1093–1114. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14778>
- Sebayang, N., Puspita, D., y Basri, S. (2018). Different planting media in barangan banana (*Musa Acuminata* Colla) breeding in southeast Aceh. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 1(3), 307–316. <https://doi.org/10.32734/injar.v1i3.473>
- Shi, W., Villar-Salvador, P., Li, G., y Jiang, X. (2019). Acorn size is more important than nursery fertilization for outplanting performance of *Quercus variabilis* container seedlings. *Annals of Forest Science* 76, 22. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0785-8>
- Smith, R. H. (2013). Chapter 4 - Explant Preparation. *Plant Tissue Culture* (3a Ed., 45–51). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-415920-4.00004-9>
- Sosa-Rodríguez, F., Ortiz, R., Hernández, R., Armas, P., y Guillén, D. (2009). Propagación in vitro de *Heliconia standley* Macbride en Cuba. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15 (2), 17–23. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v15nspe/v15nspea4.pdf>
- Steffens, B., y Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant Physiology*, 170 (2), 603–617. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>
- Taji, A., y Williams, R. (2005). Use of in vitro breeding strategies in the development of Australian native plants. *Acta Horticulturae*, 683, 87–94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.683.7>
- Tchoa, K., Mongomaké, K., Teixeira, J., Koné, D., Kouadio, J. (2011). Effect of substrate type and bulb size on in vivo production of seedlings in three cultivars of plantain (*Musa* spp.). *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*, 5 (1), 50–55.
- Tchoa, K., Brahima, S.A., Kpatolo, C., Siaka, T., Daouda, K., y Mongomaké, K. (2016). Effects of substrates, weight and physiological stage of suckers on massive propagation of plantain (*Musa paradisiaca* L.). *International Journal of Research – GRANTHAALAYAH*, 4 (1), 1–13. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v4.i1.2016.2837>
- Tumuhimbise, R., y Talengera, D. (2018). Improved propagation techniques to enhance the productivity of banana (*Musa* spp.). *Open Agriculture*, 3(1), 138–145. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0014>
- Yang, L., y Wen, B. (2017). Seed Quality. En Thomas, B., Murray, B., Murphy, D. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, 553–563. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00205-7>