

OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ACELERADA DE MATERIAL DE PLANTACIÓN DE PLÁTANOS

Yoel Beovides García*, Jorge López Torres, Milagros Basail Pérez, Aymé Rayas Cabrera, Arletys Santos Pino, Víctor R. Medero Vega y Oneida Llanes Mendoza.

Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Apdo. 6, CP 53 000, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba.

*Autor para correspondencia: biomol.biotec@inivit.cu, ybeovides72@gmail.com

Recibido: 12 de octubre de 2022; Aceptado: 16 de noviembre de 2022

RESUMEN

Los Centros de Reproducción Acelerada de Semillas (CRAS), desarrollados en Cuba en los 80s, son una alternativa a la multiplicación agámica tradicional en varios cultivos. El objetivo de esta investigación fue optimizar la producción de material de plantación de plátanos mediante CRAS. Se utilizaron plantas élite sanas de los cultivares 'INIVIT PB-2012' e 'INIVIT PV-0630', procedentes del Banco de Germoplasma del INIVIT. Se desarrollaron diseños experimentales completamente aleatorizados para estudiar: diferentes calibres (peso (g)) de los propágulos (yemas y fracciones), tres distancias de plantación y tres estrategias de riego en el desarrollo de las plántulas. Se contabilizó el porcentaje de brotación a partir de 15 días después de la plantación (ddp); desde 25-30 ddp se midió el grosor del pseudotallo (cm) y la altura (cm) en 10 plántulas al azar por tratamiento. En el período lluvioso y más altas temperaturas, las yemas con cachaza en el sustrato brotaron como promedio en 21-24 días y las fracciones en 27-30 días. En la etapa poco lluviosa y menores temperaturas, en ambos casos, demoraron 5-7 días. Yemas con 300-400 g originaron plántulas con pseudotallos de 4 cm en solo 25-30 días; aquellas con 100-200 g generaron buenas plantas para venta a productores, aunque demoraron al menos 10 días más para estar listas. La tecnología CRAS mantiene su eficacia y valor cuando se incluye la cachaza en el sustrato y se ajustan algunos aspectos como la frecuencia de riego (dos diarios de 15 min) y la distancia de plantación (20x15 ó 20x10 cm).

Palabras clave: cachaza, macropropagación, plátanos y bananos, semillas.

OPTIMIZATION OF THE QUICK PRODUCTION OF PLANTAINS' PLANTATION MATERIAL

ABSTRACT

Centers of Quick Reproduction of Seeds (In Spanish, CRAS), developed in Cuba in the 80s, are an alternative to the traditional asexual multiplication in several crops. The objective of this research was to optimize the production of plantains' plantation material by means of CRAS. Healthy Elite plants of cultivars 'INIVIT PB-2012' and 'INIVIT PV-0630' from the INIVIT's Germplasm Bank were used. Completely randomized experimental designs were developed to study: different calibers (by weight (g)) of propagules (buds and corms fractions), three plantation distances and three watering strategies on the development of plantlets. The sprouting percentage was counted starting from 15 days after planting (dap); from 25-30 dap the pseudostem thickness (cm) and

height (cm) were measured in 10 randomized plantlets per treatment. During the rainy season and higher temperatures, buds growing with filter cake as substrate sprouted like average in 21-24 days and fractions in 27-30 days. Under lowest temperatures in dry season, both kind of materials delayed 5-7 days more. Buds with 300-400 g originated plantlets with pseudostems of 4 cm in 25-30 days; those between 100-200 g generated good plantlets to sell for producers, but they delayed at least 10 days more to be ready. The CRAS technology maintains its effectiveness and value when filter cake is part of the substrate, and some aspects are adjusted: the watering frequency (two daily of 15 min) and at a plantation distance of 20x15 or 20x10 cm.

Keywords: filter cake, macropagation, plantains and bananas, seeds.

INTRODUCCIÓN

Los plátanos y bananos (*Musa* spp.) son importantes por su valor nutritivo (Ramya y Patel, 2019; Elyazid *et al.*, 2021). En las prácticas generales de manejo del cultivo, la calidad del material de plantación es crucial para lograr altas producciones. Según Tiwari *et al.* (2019), la inversión inicial representa el 70 % de todos los gastos del plátano, y de ellos, un 36,49 % se debe a las plántulas iniciales.

Existen avances en la aplicación de la biotecnología para fortalecer los sistemas de producción de semillas (Cruz *et al.*, 2016), y se reconocen las ventajas productivas del uso de plantas producidas *in vitro* (Ortas *et al.*, 2017; López *et al.*, 2021). Sin embargo, su uso en la producción es limitada debido a múltiples factores objetivos y subjetivos.

En la práctica, la falta de acceso a material de plantación de plátano, libre de enfermedades y económicamente costeable, a menudo resulta en una alta demanda del mismo (Ntamwira *et al.*, 2017). Por ello, la propagación a partir de cormos o yemas tiene todavía un alto protagonismo entre los productores de menores recursos, a pesar de su deficiente calidad sanitaria (Jacobsen *et al.*, 2019), y bajas tasas de multiplicación (Bangata *et al.*, 2019).

Existen diferentes técnicas para propagar plátanos y bananos, y sus tasas de multiplicación varían según el proceder y el genotipo (Tumuhimbise y Talengera, 2018). Además del cultivo *in vitro* y sus diferentes variantes, se han desarrollado diversas estrategias y alternativas para producir material de plantación que complementan a los métodos tradicionales de multiplicación agámica (Aguilar *et al.*, 2004; Álvarez *et al.*, 2013; Ntamwira *et al.*, 2017). En la última década se han generado varias investigaciones relacionadas con diversos procedimientos para la 'macro-propagación' de ese cultivo (Galan *et al.*, 2018; Tumuhimbise y Talengera, 2018; Abdulrahman *et al.*, 2019; Adjei *et al.*, 2021).

Durante la década de los 80s, en Cuba se desarrolló y aplicó con éxito una tecnología conocida como Centros de Reproducción Acelerada de Semillas (CRAS). Se trata de una alternativa de propagación para complementar los métodos tradicionales de multiplicación agámica en yuca, malanga, plátanos y bananos, entre otros (Filipia *et al.*, 2001).

En su momento los CRAS funcionaron bien y se logró ponerlos en práctica en muchos lugares de Cuba. Sin embargo, muchos elementos definitorios para una explotación eficiente de la técnica, han cambiado en más de 40 años, entre ellos: el clima, los sustratos disponibles, los cultivares a multiplicar, la incidencia de nuevas plagas, etc. Su diseño original, sus procedimientos y sobretodo, el gran uso de productos químicos (muchos de los cuales ya no existen o son de muy difícil acceso) en la desinfección y

tratamiento del sustrato y el material vegetal, requieren una revisión, actualización y optimización. En ese sentido, esta investigación tuvo como objetivo general: optimizar la producción de material de plantación de plátanos y bananos mediante la tecnología CRAS acorde a las nuevas condiciones de la agricultura cubana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se desarrollaron durante los años 2020-2022 en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), ubicado a 22 35' N, 80 18' W y 40 m s.n.m. en el municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara, Cuba.

Los ensayos se realizaron en cámaras de concreto de 10,0 m² (con una altura de 1,0 m), y también, en cámaras bajas (a ras de suelo) de 2,0 m², todas con el diseño interno original estructurado en capas que facilita un buen drenaje (Filipia y Pino, 1999). Cada cámara tenía un sistema de riego por aspersión, central y superior, a una altura de 70-80 cm.

En todos los experimentos se utilizaron diseños experimentales completamente aleatorizados y los tratamientos incluyeron: la comparación de diferentes calibres (por peso (g)) de los propágulos (yemas y fracciones de cormos), tres distancias de plantación y tres estrategias de riego por aspersión.

Selección y desinfección del sustrato y material de plantación inicial

Como sustrato se utilizó una combinación de cachaza (70 %) más suelo (capa vegetal) negro (30 %) (3:1). Se realizó la desinfección del mismo previo a su uso, y especialmente, entre una siembra y otra, con Formol (5 %) y su tapado con un *nylon* durante 72 h.

El material vegetal inicial se tomó de áreas certificadas del Banco de Germoplasma y del Banco de Donantes establecidas en áreas del INIVIT. Se utilizaron los cultivares comerciales 'INIVIT PB-2012' e 'INIVIT PV-0630', entre los de mayor demanda por parte de los productores y las Biofábricas. En ambos casos, se seleccionaron plantas Élite, visualmente sin afectación de plagas o enfermedades.

Para la desinfección del material de plantación, se realizó el mondado de los cormos y yemas tal como lo recomiendan Njeri *et al.* (2011) para evitar cualquier riesgo de enfermedades bananeras. El machete utilizado se desinfectó regularmente con hipoclorito de sodio al 3 %. En todos los casos, una vez fraccionados los cormos, se dejaron 24 h expuestos al aire para el secado y cicatrización de los cortes; en el caso de los destinados a producir plántulas que serían utilizadas para establecer *in vitro*, al concluir el mondado o fraccionamiento se realizó una aplicación por aspersión de *Celest Top 312 FS* (262,5 g de thiamethoxam + 25 g de fludioxonil+ 25 g de difenoconazol) (fungicida) a razón de 5 ml por mochila de 16 L (300 ppm).

En áreas destinadas para venta a productores, se utilizó la inmersión del material de plantación en una solución de *Beauveria bassiana* (2 kg ha⁻¹) previo a la siembra. En el lecho donde se ubicarían las yemas y fracciones en las cámaras, se aplicó el hongo *Trichoderma* (4 kg ha⁻¹), también antes de la siembra.

Manejo de yemas y fracciones: tamaño, densidad de plantación y riego

Se consideraron yemas aquellos cormos entre 100 y 400 g y no se fraccionaron. Los cormos con peso superior a los 400 g y hasta los 2000 g, se fraccionaron según la disponibilidad de yemas laterales en desarrollo (Minag, 2012).

Para definir la mejor distancia de plantación se tuvo en cuenta la necesidad de que las plántulas pudieran alcanzar el mayor grosor posible del pseudotallo en el menor tiempo posible. Así, se concibieron dos nuevas distancias: (20 cm x 15 cm y 20 cm x 10 cm) principalmente para las yemas más pequeñas (100-200 g); siempre 20 cm entre hileras a

plantar. Como tratamiento control se tuvo en cuenta las recomendaciones del método original de que las yemas debían plantarse a 10 cm x 10 cm y las fracciones siempre con el corte hacia arriba (Filipia y Pino, 1999).

Para mantener la humedad apropiada para la brotación y desarrollo de las plántulas, se ensayaron tiempos de riego de 15 ó 20 min, en dos frecuencias diarias (mañana y tarde) (tratamientos 1 y 2); los días de lluvia no se regó. La tecnología original recomendaba dar 2-3 riegos diarios de 20-30 minutos (Filipia y Pino, 1999), por lo que se incluyó una tercera variante de 25 min dos veces al día (tratamiento control).

Con vistas a reducir la aplicación de agroquímicos, solo se usó fórmula completa (9-13-17) a los 20 días después de la plantación (ddp) a razón de 150 g m⁻² sobre el sustrato (Filipia y Pino, 1999) y se cubrió con el propio sustrato. Posteriormente, se aplicó por aspersión foliar el Fitomas-E® a 2 L ha⁻¹ a los 25 y 35 días ddp.

A todos los tratamientos se les realizaron las mismas atenciones agrotécnicas de deshierbe, deshoje y manejo de plagas (todas manualmente). Se realizaron dos aplicaciones de *Cyrc* (0,5 L ha⁻¹) cada siete días por afectaciones al follaje por insectos.

Evaluaciones realizadas y procesamiento estadístico

A partir del quinto día del trasplante se inició el monitoreo de la aparición de los brotes (dinámica de brotación) y se calculó el porcentaje de brotación (%). En 10 plantas al azar por cada tratamiento, se realizó un seguimiento en el tiempo del grosor del pseudotallo (cm) de las plántulas procedentes de yemas o fracciones desde los 25-30 ddp hasta los 50-60 ddp.

En los tratamientos relacionados con las frecuencias de riego y distancias de plantación, además de contabilizar la brotación del total de yemas o fracciones (50) por variante, se midió el grosor del pseudotallo (cm) y la altura de las plántulas (cm). El grosor del pseudotallo se midió con un pie de rey; la altura, con una regla milimetrada. Los experimentos se repitieron y evaluaron dos veces en el tiempo, coincidiendo con el período lluvioso (junio-agosto) y poco lluvioso (diciembre-febrero).

Los resultados se procesaron mediante las herramientas del programa estadístico IBM.SPSS v23 (2016). Inicialmente se comprobaron los presupuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y de homogeneidad de varianza (prueba de Levene). En los diferentes experimentos se realizaron los ANOVA de acuerdo con el diseño experimental utilizado y siempre que las interacciones fueron significativas, la comparación de medias (pruebas de *post hoc* para identificar diferencias entre los tratamientos) se realizó utilizando un nivel de significación $P \leq 0,05$ mediante las pruebas de Tukey o Duncan.

En el caso del monitoreo del incremento del grosor del pseudotallo (dinámica de crecimiento), a partir del error experimental resultante del análisis de varianza, se calculó el intervalo de confianza para ambas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección y desinfección del sustrato y material de plantación inicial

La desinfección del material vegetal y del sustrato resultó efectiva, ya que no se presentaron afectaciones por plagas o enfermedades asociadas a ambos aspectos, además de lograrse una alta brotación y supervivencia (mayor del 97 %). La desinfección o esterilización del sustrato (y del material vegetal), reduce la transmisión de plagas, especialmente de nematodos y del picudo negro (Adjei *et al.*, 2021).

La brotación fue usualmente buena y uniforme; se inició entre cinco y 10 días posteriores a la plantación para las yemas y las fracciones, respectivamente. En el cultivar 'INIVIT PV 06-30' en la etapa con mayores temperaturas y adecuado riego, se produjo como promedio antes de los 20 días para las yemas (98 %) (Figura 1). En el caso de las fracciones, el 97 % de ellas habían brotado antes de 30 días. En los meses de menores temperaturas (enero-febrero), hubo un retraso en brotar de, al menos, 5-7 días en ambos tipos de material de plantación y en los dos cultivares estudiados.

En general las yemas brotaron más rápido que las fracciones, en mayor porcentaje y su proceso de desarrollo fue más homogéneo. Los resultados confirmaron que el material de plantación debe clasificarse correctamente por tipo (yemas o fracciones) y calibre (peso aproximado), y plantarlos por separado para lograr una mejor brotación y el desarrollo más homogéneo posible en el menor tiempo. La Figura 2 muestra algunas distorsiones en la brotación y ulterior desarrollo de las plántulas, asociadas al manejo incorrecto de los calibres en el momento de la plantación en cámaras.

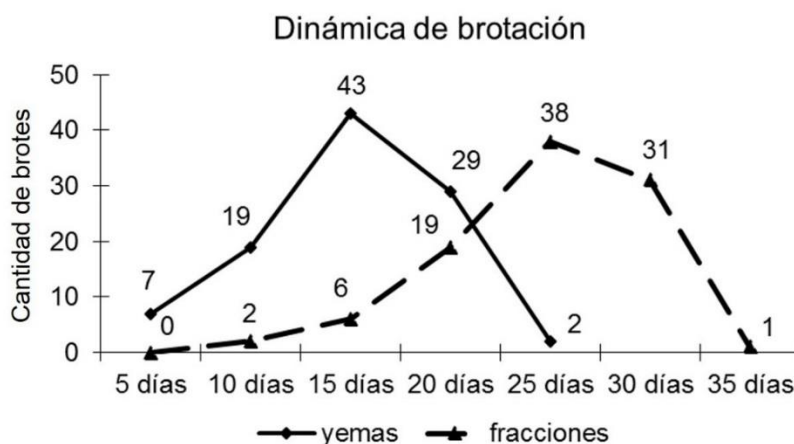


Figura 1. Dinámica del proceso de brotación de 100 yemas y 100 fracciones de plátano cv. 'INIVIT PV 06-30' en cámaras de CRAS (en verano).



Figura 2. Algunas irregularidades o deficiencias asociadas al incorrecto manejo de yemas y fracciones durante su plantación en cámaras de CRAS.

Leyenda: A- fracciones no homogéneas, B- yemas similares, C- mezcla de yemas (y) y fracciones (f) en la misma área de la cámara.

El crecimiento desigual de las plántulas implica que las más pequeñas siempre se van quedando rezagadas en su desarrollo (Fig. 2 A), respecto a las que si fueron calibradas (Fig. 2 B), ya sean yemas o fracciones. Tampoco deben mezclarse unas y otras, debido a que las primeras generalmente brotan antes y son más vigorosas, y ocurriría el mismo efecto (Fig. 2 C). Estos contratiempos se asociaron a alguno de los siguientes problemas:

muerte de los brotes más pequeños, demora en el desarrollo de las plántulas en al menos 15 días, mala calidad de las plántulas (más delgadas y pequeñas).

Este resultado coincide con lo descrito antes por Galan *et al.* (2018), sobre la necesidad de que cada planta del bloque pueda obtener el mismo beneficio de la iluminación disponible, aunque en la práctica, rara vez se logre un crecimiento totalmente uniforme.

En términos generales, el buen porcentaje de brotación y supervivencia en los experimentos, también estuvo en correspondencia con la calidad y la selección apropiada del material vegetal inicial y luego, con un manejo adecuado del mismo, así como, por el uso de un sustrato rico en nutrientes (70 % de cachaza) y demás condiciones medioambientales favorables para estimular el desarrollo de las plántulas, entre ellas, el riego que aquí fue de 15 min diarios (en la mañana) cuando no llovió. En el caso de sustratos a base de mezclas con arena, hay menor retención de humedad y pueden ser necesarias dos frecuencias de riego diarias.

La tecnología original de CRAS recomendaba preferiblemente arena o zeolita (lavada), con dos tipos de sustrato: arena de río (lavada) o mezcla de 50 % de suelo ligero con 30 % de materia orgánica y 20 % de arena (Filipia y Pino, 1999). Sin embargo, el uso continuo de las cámaras y la falta de mantenimiento de dichos sustratos llevó a que la mayoría de las estructuras que sobrevivieron al paso del tiempo, tienen variedad o mezclas de sustratos con alguna materia orgánica.

Los materiales orgánicos influyen en la dinámica y en el contenido de nutrientes del suelo (Di Gioia, 2017); lo mismo sucede en los sustratos de las cámaras de CRAS. También mejoran la estructura del suelos y sustratos, y su permeabilidad, lo que mejora la disponibilidad y acceso a los nutrientes (Giannitsopoulos *et al.*, 2019). La materia orgánica e inorgánica mejoran su salud, y la respuesta al crecimiento vegetal, el almacenamiento de agua y carbono (Kerr *et al.*, 2022).

Sobre la fertilización, la tecnología original de CRAS recomendaba fertilizar con 100-150 g m⁻² de fórmula completa al inicio de la brotación y urea 100 g/1,5 m² posteriormente (Filipia y Pino, 1999). Sin embargo, durante esta investigación no se utilizó urea y se observó que con la inclusión de cachaza en el sustrato y la aplicación de algunos biofertilizantes o bioestimulantes como Fitomas E® y otros (Labiono, VIUSID Agro®, CBFERT) es posible, incluso, prescindir del fertilizante mineral.

Esto tiene un impacto importante desde el punto de vista económico y ecológico, y además, humaniza el trabajo de fertilización. Ese tipo de productos promueven el desarrollo de las raíces, aumentan la actividad fotosintética y de otros tejidos vegetativos, mejoran el vigor y la uniformidad de las plantas (Parađiković *et al.*, 2018). A propósito, Teles *et al.* (2016) aseguraron que la fertilización foliar es un complemento a la que se realiza o existe en el suelo (o el sustrato).

La actividad del riego es de gran importancia en el desarrollo óptimo de las plantas, una humedad apropiada del sustrato facilita la toma de nutrientes y la vitalidad de las plántulas. Las frecuencias de riego estudiadas, generaron diferencias estadísticas en la brotación de yemas y fracciones (Tabla 1). Un mayor tiempo de riego (dos frecuencias de 25 min) incidió negativamente con una disminución del 11,2 % de las fracciones brotadas y del 4,8 % en las yemas. La mayoría de las que no emitieron brotes fue a causa de muertes por pudrición; ese efecto se incrementó cuando el material inicial pasó 72 h o más en campo antes de su plantación en CRAS.

Tabla 1. Valores promedio de brotación de yemas y fracciones del cultivar de plátano 'INIVIT PB-2012' bajo diferentes tiempos de riego.

Tratamientos	Yemas brotadas	Fracciones brotadas
15 min dos veces al día	49,6 a	49,2 a
20 min dos veces al día	49,0 a	47,4 b
25 min dos veces al día	47,6 b	44,4 c
$S_{\bar{x}}$	0,33	0,50

* Letras diferentes en cada columna expresan diferencias ($P \leq 0,05$) de acuerdo con Prueba de Duncan.

Se observó que en los primeros 20-25 días, es imprescindible regular muy bien el riego porque los sustratos a base de suelo y materia orgánica mantienen la humedad y las fracciones podrían pudrirse y no brotar, o no generar plántulas de calidad. Por ello, un riego diario de 15 min o incluso, en días alternos, sería suficiente para mantener la humedad necesaria para una buena brotación, en ausencia de lluvias, lo que sugiere estudiar otras variantes o frecuencias de riego.

Filipia y Pino (1999) recomendaron regar de dos a tres veces al día durante 20 a 30 minutos. Sin embargo, el CRAS utilizaba originalmente otros sustratos que, junto al buen drenaje de las cámaras, hacía que la retención de humedad fuera muy baja. Con la incorporación de sustratos enriquecidos con suelo y cachaza, este aspecto cambia radicalmente y con ello la tendencia a mantener una mayor humedad del mismo. Aquí se demostró que el tratamiento con dos frecuencias diarias de 25 min, bajo las condiciones actuales, no resultó apropiado.

Es bien conocido que el uso de enmiendas orgánicas como estiércol, cachaza o compost, mejora la retención de agua en suelos y sustratos, lo cual reduce las exigencias de riego y tiene un impacto beneficioso en su estructura (Rahman *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2019, 2020). No obstante, una vez que las plántulas hayan brotado, y avancen en su desarrollo vegetativo los requerimientos de agua son mayores, especialmente durante el verano y en ausencia de lluvias.

Hay otro aspecto importante a tener en cuenta en la brotación y el desarrollo de las plántulas de CRAS: el tiempo que media desde la extracción de los cormos en campo, su preparación y plantación en cámaras. Aunque es un tema que debe investigarse con mayor profundidad, la figura 3 muestra con claridad una brotación más rápida y vigorosa cuando los cormos y yemas no permanecieron en campo más de 24 h. En aquellos que pasaron 72 h o más (B) en esas condiciones (aún protegidos del sol), la brotación se inició a las tres-cuatro semanas, nunca superó el 70-75 % y muchas de las plántulas no reunían los parámetros esperados de calidad.



Figura 3. Brotación a los 25 días en yemas de plátano 'INIVIT PB-2012' con diferente tiempo entre la extracción en campo y su plantación en cámaras de CRAS. A- yemas

plantadas con menos de 24 h en campo, B- brotación de yemas plantadas después de permanecer por 72-96 h o más en campo.

Este problema es bastante común en Cuba en áreas productivas que intentan utilizar la tecnología CRAS para producir material de plantación de más calidad y por ello, amerita nuevas indagaciones. Esto coincide con lo planteado por Patel y Chundawat (1988), quienes concluyeron que los hijos plantados inmediatamente después de su separación del cormo tienen un mejor arraigo, un ciclo más corto y mayor rendimiento que los hijos plantados 10 días después de su extracción.

Manejo de yemas y fracciones: tamaño y densidad de plantación

El uso de yemas menores de 400 g (sin fraccionar) siempre permitió obtener las mejores plantas. Sin embargo, la obtención y manejo de las fracciones constituye el principal objetivo y reto del trabajo en condiciones de CRAS.

El número de fracciones como tipo de material de plantación, dependió del calibre de los cormos utilizados con ese fin, generalmente entre 400 y 2000 g. En todos los casos se prescindió de la yema apical para eliminar su dominancia y estimular el desarrollo de las laterales, lo cual es un principio básico de esta tecnología y de otras similares (Aguilar *et al.*, 2004; Álvarez *et al.*, 2013; Ntamwira *et al.*, 2017).

En general, el mayor número de fracciones se generó cuando se utilizaron plantas madre o en una etapa avanzada de desarrollo, aunque ellas no fueron mayoría entre el material vegetal inicial, y estuvo muy relacionado con el cultivar y el número de yemas laterales identificadas en capacidad y condiciones para brotar. El cultivar 'INIVIT PB-2012' (tipo burro) mostró una tendencia a cormos (chopos o rizomas) más grandes y con más yemas laterales, lo que permitió generar un mayor número de fracciones (hasta 4-5 fracciones).

Cuando se multiplicó el cultivar 'INIVIT PV 06-30' el número de fracciones estuvo entre tres y cuatro. Este cultivar tiene buen ahijamiento aunque generalmente solo uno o dos tienen un mejor desarrollo y por tanto, cormos con más posibilidades de generar fracciones. En ambos casos, los valores fueron menores a los informados antes por Filipia y Pino (1999) en la tecnología original de CRAS (Tabla 2), en correspondencia con algunos cambios implementados en la presente investigación.

Tabla 2. Calibre y cantidad de fracciones estimada según el peso de los cormos y las yemas de plátano en la tecnología original de CRAS.

Calibres	Peso (Kg)	Peso (g)	Nº de Fracciones	Peso (estimado) por fracción (g)*
A	> 2,72	> 2 720	10 - 8	272 - 340
B	2,72- 1,81	2 720 -1 810	8 - 6	340 - 301
C	1,80- 0,9	1 800 - 900	6 - 4	301 - 225
D	0,9- 0,5	900 - 500	3 - 2	225 - 250
Yemas	≤ 0,5	≤ 500	Sin fraccionar	

Fuente: Filipia y Pino (1999). * Valor estimado a partir de la información original de la fuente.

Los índices de multiplicación obtenidos por cormos también difieren de lo publicado por otros autores con el uso de procedimientos similares, aunque más demorados en el tiempo. Njukwe *et al.* (2009), por ejemplo, estimaron una conversión de 1:10 según una

metodología desarrollada en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), mediante la cual podrían obtenerse en cuatro meses unas 8,000 plantas a partir de 800 cormos en cámaras de multiplicación con características parecidas al sistema de CRAS. Por su parte, Tumuhimbise y Talengera (2018) informaron la obtención de hasta 60 plántulas a partir de un solo cormo, según el cultivar, también en unos cuatro meses.

Singh *et al.* (2011), plantearon que mediante métodos tradicionales podrían extraerse entre cinco y veinte hijuelos de una planta en un año. Por tanto, propusieron en la India una estrategia no convencional de propagación de plátanos y bananos, a partir de hijos espada extraídos del campo. Así, sin utilizar el cultivo *in vitro*, obtuvieron unas 50-60 plántulas a partir de un solo hijo. Sin embargo, se trataba de un proceso muy largo (140-150 días), trabajoso y con un gran uso de productos químicos.

A propósito de las diferencias en el número de fracciones o yemas que pudieran obtenerse en cada cultivar, Ntamwira *et al.* (2017) informaron que estas diferencias estaban asociadas al tipo de genoma, y también a la altitud y condiciones climáticas desde donde procedía el material inicial.

En el caso de Cuba, aunque no abunda la literatura científica sobre el tema, en intercambios con técnicos implicados en la actividad en aquellos tiempos de florecimiento exitoso de los CRAS (década de los 80s y 90s), se conoció que el proceso de extracción de cormos y yemas en el campo y su manejo posterior tenía varias especificidades, lo que exigía una gran disciplina técnica y un arduo trabajo manual que, por muchas razones, es casi imposible reproducir 40 años después.

Explicado en pocas palabras por ejecutores de aquella época, una vez identificadas las plantas élite en campos certificados, se extraía manualmente el plantón completo y así se llevaba al CRAS, se lavaban con abundante agua, se separaban los cormos y yemas, se realizaba el mondado (eliminando restos de raíces, partes más viejas del cormo, etc.) y se clasificaban por calibres. Luego se iniciaba el proceso de fraccionamiento, separación por calibres, desinfección del material vegetal obtenido y finalmente, su plantación en las cámaras previamente alistadas.

Lo observado por los autores de esta investigación en algunos lugares de Cuba donde aún se intenta utilizar la tecnología, y los resultados del estudio realizado demostraron que en la práctica, no siempre es posible obtener un número tan alto de fracciones como propusieron Filipia y Pino (1999). Esto se debe a tres aspectos fundamentales que, a su vez, están condicionados por otros elementos genéticos, fisiológicos, etc.

El primero es que la cantidad de fracciones, más que por el calibre, está determinada por la cantidad de yemas laterales en capacidad de generar un brote y por consiguiente, una plántula de calidad. Esto requiere un nivel de práctica y experiencia por parte de los obreros y técnicos que ejecutan el proceso para evitar pérdidas, ya sean por la no brotación de las fracciones o por la posterior aparición de plántulas de mala calidad (pequeñas, débiles, o que mueren después de brotar).

En segundo lugar, generalmente ya no se extraen y manejan plantones completos e independientes de manera que pueda cumplirse la metodología tradicional. Sin embargo, en ocasiones se puede usar la variante de voltear, con un tractor, uno o varios surcos de una plantación en desarrollo, en ese caso, no es posible separar los plantones. También se practica esa alternativa en áreas en demolición, a pesar de los riesgos de sanidad y envejecimiento que eso implica (Robinson y Galán, 2012).

Un tercer aspecto está relacionado con lo que es necesario hacer y que es, especialmente fundamental para establecer una correcta fase Cero para el cultivo *in*

vitro. Comúnmente se realizan extracciones de hijuelos en diferente estado de desarrollo a partir de plantas élite, seleccionadas en un campo en producción, área de semilla o banco de donantes certificados. Por tanto, si no se utilizan plantas madre, el tamaño (calibre) del cormo es menor (generalmente menos de 2,0 kg) y se generaran menos fracciones. Sería factible recomendar la extracción de hijuelos pequeños, que constituyan yemas únicas o que producen muy pocas fracciones, pero que siempre tienen buena vitalidad y mejor calidad fitosanitaria.

Se sabe que con otros procedimientos pueden lograrse, aunque en más tiempo (cuatro meses o más), un mayor número de plántulas por cormo (Aguilar *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2011; Tumuhimbise y Talengera, 2018). No obstante, Rai *et al.* (2020) alertaron que el tipo y tamaño del explante (yema o fracción) en los procesos de macropropagación, es determinante para potenciar el enraizamiento, sobrevivencia, crecimiento temprano y calidad de las plántulas de banano en fase de vivero. Existen varias razones por las que las plantas madre o envejecidas (sus cormos) no deberían utilizarse para producir nuevas plántulas (Galan *et al.*, 2018), y menos, con la finalidad de producir luego material vegetal para el cultivo *in vitro*. También se ha demostrado en otros cultivos como la malanga, que la edad fisiológica de la planta donante es uno de los factores fundamentales que inciden negativamente en la aparición de contaminantes microbianos en el proceso *in vitro* (Gutiérrez *et al.*, 2019).

Aunque no se apreciaron diferencias estadísticas en la brotación de yemas y fracciones para las tres distancias de plantación estudiadas (>98 %), las dos nuevas alternativas (20 x 15 cm y 20 x 10 cm) generalmente mostraron plántulas de una calidad superior a las que crecieron a la distancia recomendada originalmente para el CRAS por Filipia y Pino (1999) (Tabla 3). Estos autores propusieron tomar la distancia para fracciones a partir de su tamaño y para las yemas pequeñas (aunque consideraban yemas los cormos desde 500 g), una distancia de 10 cm x 10 cm.

Se demostró que cuando las plántulas resultantes se desarrollan con menor espacio vital (10x10 cm), incluso para las yemas, el crecimiento fue menos homogéneo y mantuvieron un pseudotallo al menos un 22,6 % más fino que cuando estuvieron más separadas.

Tabla 3. Grosor del pseudotallo y altura de las plántulas en el cultivar 'INIVIT PV 06-30' con diferentes distancias de plantación en condiciones de CRAS.

Distancia de plantación (cm)	grosor pseudotallo (cm)		altura de la planta (cm)	
	Yemas	Fracciones	Yemas	Fracciones
10X10 (control)	2,96 b	1,95 b	16,04 a	11,76 b
20X15	3,55 a	2,67 a	18,02 a	15,06 a
20X10	3,41 a	2,52 a	17,6 a	15,61 a
S $\bar{x}$	0,15	0,13	0,79	0,68

* Letras diferentes en cada columna expresan diferencias ($P \leq 0,05$) de acuerdo con Prueba de Duncan.

El crecimiento y desarrollo vegetal se afectan por varios factores como la temperatura, la luz, la humedad, la concentración de CO₂ y otros, los que cambian según la época del año (Chen *et al.*, 2022). Por ello, resultan lógicas algunas diferencias entre las etapas de verano o primavera, como se demostró en esta investigación. Larsen *et al.* (2020), por ejemplo, afirmaron que la intensidad de la luz incrementa los azúcares

solubles, los cuales son parte de la materia seca, y por tanto, con un efecto sobre el crecimiento, el área foliar o el rendimiento.

Durante las investigaciones no hubo afectaciones por hongos, bacterias ni nematodos. Resultado en correspondencia no solo a las acciones de desinfección del material vegetal, sino también al uso del formol al 5 % y el tapado con un *nylon* (polietileno) durante 48-72 h, que aumenta la temperatura del sustrato con la incidencia del sol y estimula la solarización (Cuellas *et al.*, 2019). Una manipulación incorrecta del material vegetal inicial, o un medio ambiente no estéril, aumentan las tasas de contaminación microbiana durante el cultivo *in vitro* (Leelavathy y Sankar, 2016).

En el momento de extracción de las plántulas no se observó la presencia de insectos plaga, como el picudo negro del banano *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: *Curculionidae*), lo que evidenció la buena calidad de las mismas. La actividad de estos insectos, según González *et al.* (2018), interfiere con el desarrollo de la raíz y la absorción de nutrientes, y por tanto, en el desarrollo general de las plantas.

En general, la ausencia de patógenos con el uso de *Trichoderma* y *Beauveria* coincidió con informes previos de su uso en el cultivo en condiciones de campo. Según González *et al.* (2018), aunque el control químico es el método más difundido en las plantaciones comerciales, *Beauveria bassiana* tiene una probada efectividad contra el picudo negro.

Los resultados de esta investigación concuerdan con lo planteado por Abdulrahman *et al.* (2019), durante un estudio sobre nivel de adopción de la macro-propagación como alternativa en la producción de material de plantación de plátanos y bananos en Nigeria. Ellos determinaron que al incluir tratamientos al material procedente de campo, se redujo el riesgo de transmitir enfermedades y contaminantes en general del suelo. También coincidieron en que las plántulas obtenidas por esta vía eran más homogéneas y estaban mejor preparadas para las condiciones de campo y por tanto, contribuyen a producciones de mayor calidad con incrementos en los rendimientos.

La tecnología de CRAS es una alternativa de macro-propagación sencilla, sin grandes exigencias de equipamiento y por tanto, una técnica de campo eficaz y fácil de adoptar por aquellos productores con una formación práctica básica. Al involucrar el tratamiento de las yemas y cormos, y del sustrato, reduce el riesgo de transmitir contaminantes propios o del suelo. Generalmente, las plántulas obtenidas por esta vía tienen buena uniformidad y por sus atributos de calidad, se favorece su establecimiento en campo, y su rendimiento productivo. Por tanto, la vitalidad de los CRAS y nivel de adopción entre los productores, 40 años después de su creación, implica introducir modificaciones y ajustes, sin perder su esencia y objetivos.

CONCLUSIONES

1. La tecnología CRAS es un método sencillo y técnicamente eficaz de macropropagación de plátanos y bananos, para producir material de plantación de buena calidad genética y fitosanitaria. También es una vía importante como fase Cero para obtener los explantes iniciales a establecer en cultivo *in vitro*.
2. La incorporación de cachaza en la composición de los sustratos de las cámaras de CRAS, mejoran su contenido nutricional, la retención de humedad y estimulan el desarrollo de las plántulas.
3. Las yemas siempre brotan y se desarrollan en menos tiempo que las fracciones de cormos; las yemas con un peso de 300-400 g producen plántulas óptimas para utilizar en cultivo *in vitro* en 45 días.

4. La combinación de distancias de plantación de 20 x 15 cm y 20 x 10 cm, con una frecuencia máxima de riego de dos veces al día, durante 15 min cada una, independientemente del tipo de material a plantar, resultan suficientes para lograr una buena brotación y desarrollo de yemas y fracciones.
5. El uso de bioproductos para el combate de plagas y la fertilización foliar favorecen el desarrollo óptimo de las plántulas de CRAS, lo que tiene una contribución medioambiental importante al disminuir el uso de agroquímicos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDULRAHMAN, O. L.; I. OGUNLADE and K. F. OMOTESHO. 2019. Assessing the adoption of macro propagation technology (MPT) among plantain and banana farmers in Ondo State, Nigeria. *South African Journal of Agricultural Extension*, 47(4): 96-105.
- ADJEI, A.E.; E.N. TETTEH; S. DARKE; B.M. DZOMEKU; P. MINTAH and M. ANTI. 2021. Extrapolating technology from research plots to commercial scale and challenges involved: Case study of plantain macro-propagation technique. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 13(4): 225-231.
- AGUILAR, M.; G. REYES y M. ACUÑA. 2004. Guía técnica No. 1: Métodos alternativos de propagación de semilla agámica de plátano (*Musa* spp.). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 18 p.
- ÁLVAREZ, E.; G. CEBALLOS; L. GAÑÁN; D. RODRÍGUEZ; S. GONZÁLEZ y A. PANTOJA. 2013. Producción de material de 'siembra' limpio en el manejo de las enfermedades limitantes del plátano. Publicación CIAT No. 384/ Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 16 p.
- BANGATA, B.; N. NGBENELO and K. MOBAMBO. 2019. Evaluation du potentiel de prolifération d'explants de différentes dimensions de bananier plantain (*Musa* sp. cv. AAB) para la macropropagation en conditions semi-contrôlées. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 2(2): 25-31.
- CHEN, X-L.; Y-L. LI; L-C. WANG, Q-C. YANG and W-Z. GUO. 2022. Responses of butter leaf lettuce to mixed red and blue light with extended light/dark cycle period. *Scientific Reports*, 12:6924.
- CRUZ, N.; H. CANCHIGNIA; J. MORANTE; E. NIETO; Y. CRUZ and D. CABRERA. 2016. *In vitro* propagation of the Orito banana cultivar (*Musa acuminata* AA). *Bioteecnología Aplicada*, 33(4): 4201-4204.
- CUELLAS, M.; P. AMOIA and P. DELMAZZO. 2019. Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(1): 26-37.
- DI GIOIA, F., M. OZORES-HAMPTON, X. ZHAO, J. THOMAS, P. WILSON, Z. LI, J. ALBANO; M. SWISHER and E. ROSSKOPF. 2017. Anaerobic soil disinfestation impact on soil nutrients dynamics and nitrous oxide emissions in fresh-market tomato. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240: 194-205.
- ELYAZID, D.M.A.; A.M. SALAMA; A.F.M. EL ZANATY and N. ABDALLA. 2021. *In vitro* propagation and acclimatization of banana plants: antioxidant enzymes, chemical assessments and genetic stability of regenerates as a response to copper sulphate. *Plants*, 10, 1853.

- FILIPIA, R. y J.A. PINO. 1999. Instrucciones para los centros de reproducción acelerada de semillas (CRAS) tecnificado de plátano en Cuba. Boletín. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales, Ministerio de la Agricultura, La Habana, Cuba.
- FILIPIA, R.; R.M. PINO; J.R. PINO; M.C. OLIVA e I. ARREDONDO. 2001. Los CRAS, consideraciones y sus múltiples usos. Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), Villa Clara, Cuba.
- GALAN, V.; A. RANGEL; J. LOPEZ; J.B. PEREZ; J. SANDOVAL y H. SOUZA. 2018. Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4): e-574.
- GIANNITSOPOULOS, M.L.; P.J. BURGESS and R.J. RICKSON. 2019. Effects of conservation tillage systems on soil physical changes and crop yields in a wheat-oilseed rape rotation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 74: 247-258.
- GONZÁLEZ, D., M. ÁVALOS; R. GUTIÉRREZ; W. CHAN; J. MOLINA and E. GALINDO. 2018. Suitability of *Cordyceps bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for biological control of *Cosmopolites sordidus* (Germar) (Coleoptera: Curculionidae) in an organic Mexican banana plantation: laboratory and field trials. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125: 73-81.
- GUTIÉRREZ, Y.; M. FOLGUERAS; A. SANTOS; J. LÓPEZ; V. MEDERO; D. REINALDO y Y. ALVARADO-CAPÓ. 2019. Manejo de la contaminación bacteriana en la propagación *in vitro* de yemas axilares de *Colocasia esculenta* cv. 'INIVIT MC-2012'. *Biotecnología Vegetal*, 19(2): 147-152.
- IBM.SPSS v23. 2016. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), IBM. SPSS STATISTICAL, Version 23.0 for Windows. [Online] Accessed: June 24th, 2022. Disponible en: www.ibm.com.
- JACOBSEN, K.; B. OMONDI; C. ALMEKINDER; E. ALVAREZ; G. BLOMME; M. DITA; M. ISKRA; W. OCIMATI; W. TINZAARA; P. KUMAR and C. STAVES. 2019. Seed degeneration of banana planting materials: strategies for improved farmer access to healthy seed. *Plant Pathology*, 68(1): 207-228
- KERR, H.C.; K.L. JOHNSON and D.G. TOLL. 2022. Reusing Fe water treatment residual as a soil amendment to improve physical function and flood resilience. *Soil*, 8: 283-295.
- LARSEN, D.H.; E.J. WOLTERING; C.C.S. NICOLE and L.F.M. MARCELIS. 2020. Response of basil growth and morphology to light intensity and spectrum in a vertical farm. *Frontiers in Plant Science*, 11: 597906.
- LÓPEZ, J.; G. CEDEÑO y G. CEDEÑO. 2021. Efectos de bencilaminopurina y tipo de brotes en la producción y calidad de plántulas de plátano vía macropropagación. *ALFA-Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(15): 386 - 399.
- NJERI, N.; M. MAINA; G. RUTH; M. JESCA and M. REUBEN. 2011. Banana weevil (*Cosmopolites sordidus*) reduces availability of corms for seedling production through macropropagation technology. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 12(1): 1537-1542.
- NJUKWE, E.; A. TENKOUANO; D. AMAH; K. SADIK; P. MUCHUNGUZI; M. NYINE and T. DUBOIS. 2009. Training manual for macro-propagation of banana and plantain. International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan, Nigeria, 23 p.
- NTAMWIRA, J.; C. SIVIRIHAUMA; W. OCIMATI; M. BUMBA; L. VUTSEME; M. KAMIRA and G. BLOMME. 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 of Horticultural Science*, 82(1): 38-53.
- ORTAS, I.; M. RAFIQUE; C. AKPINAR and Y. AKA. 2017. Growth media and mycorrhizal species effect on acclimatization and nutrient uptake of banana plantlets. *Scientia Horticulturae*, 217(15): 55-60.
- PARADIKOVIĆ, N.; T. TEKLIĆ; S. ZELJKOVIĆ; M. LISJAK and M. ŠPOLJAREVIĆ. 2018. Biostimulants research in some horticultural plant species-A review. *Food and Energy Security*, 8: e00162.
- PATEL, N.L. and B.S. CHUNDAWAT. 1988. Effect of size and resting period of suckers on growth and yield of banana. *Indian Journal of Horticulture*, 45: 189-196.
- RAHMAN, M.T.; Q.H. ZHU, Z.B. ZHANG, H. ZHOU and X. PENG. 2017. The roles of organic amendments and microbial community in the improvement of soil structure of a Vertisol. *Applied Soil Ecology*, 111, 84-93.
- RAI, I.; I. SUDANA; I. GEDE and R. DWIYANI. 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.
- RAMYA, V. and P. PATEL. 2019. Health benefits of vegetables. *International Journal of Chemical Studies*, 7(2): 82-87.
- ROBINSON, J.C. y V. GALÁN. 2012. Plátanos y bananas. Mundiprensa, Madrid, 321 p.
- SINGH, H.P.; S. UMA; R. SELVARAJAN and J.L. KARIHALOO. 2011. Micropropagation for production of quality banana planting material in Asia-Pacific. *Asia-Pacific Consortium on Agricultural Biotechnology (APCoAB)*, New Delhi, India. 92 p.
- TELES, R.; R. CARDOSO; M.A. MOREIRA; R.U. BENTO; R.C. DIAS; S.J. SILVA and A. PELÁ. 2016. Foliar application of urea and bell pepper amino acids. *African Journal of Agricultural Research*, 11(19): 1674-1678.
- TIWARI, I. L.A.; M. VERMA; S. GUPTA and S. DEVI. 2019. Impact of technology adoption on production and productivity of banana. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8: 2032-2034.
- TUMUHIMBISE, R. and D. TALENGERA. 2018. Improved propagation techniques to enhance the productivity of banana (*Musa* spp.). *Open Agriculture*, 3: 138-145.
- ZHOU, H.; C. CHEN; D. WANG; E. ARTHUR; Z. ZHANG; Z. GUO; X. PENG and S.J. MOONEY. 2020. Effect of long-term organic amendments on the full-range soil water retention characteristics of a Vertisol. *Soil and Tillage Research*, 202, 104663.
- ZHOU, H.; H. FANG; Q. ZHANG; Q. WANG; C. CHEN; S.J. MOONEY; X. PENG and Z. DU. 2019. Biochar enhances soil hydraulic function but not soil aggregation in a sandy loam. *European Journal of Soil Science*, 70, 291-300.