



MANEJO DE LA SIMBIOSIS MICORRÍZICA ARBUSCULAR Y EL SUMINISTRO DE NUTRIENTES EN PLANTACIONES DE BANANO cv. 'FHIA-18' (*Musa AAAB*) EN SUELO PARDO MULLIDO CARBONATADO

Management of arbuscular mycorrhizal symbiosis and nutrient supply in banana plantations 'FHIA-18' (*Musa AAAB*) cultivar on Phaeozems haplic calcaric soils

Jaime E. Simó González¹✉, Luis A. Ruiz Martínez¹
y Ramón Rivera Espinosa²

ABSTRACT. From the benefits of arbuscular mycorrhizal symbiosis for most plants and regularities in the efficient strain management of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), positive results are increased because of their application in different crops. By considering these aspects, this work was performed in order to assess the feasibility of integrated management proposals of mycorrhizal inoculants and supplemental doses of organ-mineral fertilization for banana plantations cv. 'FHIA -18' on Phaeozems haplic calcaric soils. Two schemes to supply nutrients to plants were studied, one based on mineral fertilizers and other from organ-mineral sources, both in the presence or absence of an efficient AMF strain inoculation and during mother plant cycles and shoot -1 and 2. A randomized block design with four replications was used. A high response to fertilization was found. The recommended doses of both mineral and organ-mineral fertilization were fully equivalent to yield and nutritional status in banana. The supplemented AMF application with 75 % of both fertilizations studied, ensured equivalent yields and similar nutritional states and with treatments receiving only 100 % of the dose, but high percentages of mycorrhizal colonization and spore production. The AMF inoculation at transplanting time, maintained its effectiveness and permanence in the three production cycles evaluated. Foliar potassium content was directly associated with the performance and response of banana to AMF inoculation

Key words: AMF inoculation, fertilization,
banana plantation

RESUMEN. A partir de los beneficios de la simbiosis micorrízica arbuscular para la mayoría de las plantas y de regularidades en el manejo de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), se incrementan los resultados positivos sobre su aplicación en diferentes cultivos. Teniendo en cuenta estos aspectos se realizó este trabajo, con el objetivo de evaluar la factibilidad de propuestas integradas de manejo de inoculantes micorrízicos y dosis complementarias de fertilización orgánico-mineral, para plantaciones del cultivar 'FHIA-18' en suelo Pardo mullido carbonatado. Se estudiaron dos esquemas para suministrar los nutrientes a las plantas, uno a base de fertilizantes minerales y otro a partir de fuentes orgánico-minerales, ambos en presencia o no de la inoculación de una cepa eficiente de HMA y durante los ciclos de planta madre y vástago-1 y 2, utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se encontró una alta respuesta a la fertilización, siendo completamente equivalentes para el rendimiento y estado nutricional del banano, las dosis recomendadas tanto de fertilización mineral como órgano-mineral. La aplicación de HMA complementada con el 75 % de ambas fertilizaciones estudiadas, garantizaron rendimientos equivalentes y estados nutricionales similares entre sí y con los tratamientos que recibieron solo el 100 % de las dosis, pero con altos porcentajes de colonización micorrízica y producción de esporas. La inoculación de HMA realizada en el trasplante, mantuvo su efectividad y permanencia en los tres ciclos productivos evaluados. Las concentraciones foliares de potasio se asociaron directamente con el rendimiento y con la respuesta del banano a la inoculación con HMA.

Palabras clave: inoculación con HMA, fertilización,
plantación de banano

¹ Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Departamento de Fitotecnia, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba, CP 53000.

² Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.

✉ micorrizast@inivit.cu

INTRODUCCIÓN

El cultivo de bananos (*Musa acuminata*) y plátanos (*Musa balbisiana*) son una fuente importante de alimentos para gran parte de la población mundial, localizada principalmente en países subdesarrollados de Asia, África, América Central y del Sur, con una producción anual estimada en 102 millones de toneladas^A. Cuba no es una excepción y se prevé incluso un incremento en la superficie dedicada al cultivo durante los próximos años (1).

La explotación intensiva y desmesurada de los recursos ha sido la tendencia principal en los agroecosistemas productivos en las últimas décadas en el mundo. Suelos agotados y saturados por exceso de fertilizantes y biocidas, así como las condiciones de salinidad son buenos ejemplos de la situación actual (2, 3, 4, 5).

Resultados de estudios en diversas regiones del mundo informan que al menos del 30 al 50 % de los rendimientos de los cultivos son atribuibles a la aplicación de fertilizantes minerales (6); no obstante, la reducción de químicos es un aspecto de primer orden, tanto por motivos ambientales como económicos.

Entre las prácticas utilizadas para disminuir o sustituir los insumos químicos se encuentran la utilización de abonos orgánicos y otras fuentes minerales (7) con alta efectividad en diferentes agrosistemas e incluso en la propia producción de banano^B (8, 9).

Asimismo, se incrementan las publicaciones sobre los beneficios de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en diferentes cultivos (10, 11, 12), fundamentalmente relacionados con un mejor aprovechamiento de los nutrientes y una disminución en los requerimientos de fertilizantes para mantener altos rendimientos, sobre todo a partir de la factibilidad de la inoculación de cepas eficientes de HMA por tipo de suelo y de la baja especificidad de la cepa eficiente HMA-cultivo^C (13). A lo antes mencionado se añade la existencia de inoculantes micorrízicos que se aplican en bajas cantidades y que se integran con las prácticas culturales (14, 15, 16, 17), todo lo cual ha permitido que se conviertan en una promisoriosa práctica de base biológica para la producción agraria (18).

En específico en los bananos y plátanos, a partir de la última década del siglo pasado, se comenzaron a obtener buenos resultados experimentales con la inoculación de HMA, dejando clara la dependencia micorrízica del mismo (19, 20, 21), fundamentalmente con la aplicación de cepas eficientes de HMA, por tipo de suelo, en la fase de aclimatización de las plantas *in vitro*, garantizando posturas vigorosas y disminución de los requerimientos de abonos orgánicos en los sustratos utilizados.

En relación con la evaluación de los requerimientos de fertilizantes minerales de plantaciones de plátanos inoculadas con cepas eficientes de HMA, solo se ha reportado un trabajo con anterioridad (13), en el cual también se encontró que las dosis de fertilizantes que garantizaron un óptimo funcionamiento micorrízico y altos rendimientos fueron significativamente menores que las dosis comúnmente utilizadas en plantaciones sin inocular, no encontrándose otros resultados experimentales publicados al respecto.

Por la importancia que tiene este tema en la agricultura actual y en el desarrollo de tecnologías más sostenibles de producción, incluso orgánicas, resulta importante evaluar la factibilidad de propuestas integradas de manejo de los inoculantes micorrízicos y dosis complementarias de fertilizantes orgánico-minerales en plantaciones del cv. 'FHIA-18' en suelo Pardo; partiendo incluso de plantas obtenidas *in vitro* ya inoculadas en la fase de aclimatización, con el objetivo de garantizar un funcionamiento micorrízico eficiente del banano en todas las etapas del cultivo, altos rendimientos, disminución de las cantidades de fertilizantes orgánico-minerales y la sustitución total de la fertilización mineral para este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en las áreas agrícolas del Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, Cuba, durante el periodo abril de 2006 hasta octubre de 2008 en un suelo Pardo mullido carbonatado (22), cuyas principales características de fertilidad y contenidos iniciales de esporas de HMA residentes, se presentan en la Tabla I.

De forma general, las características de fertilidad fueron típicas de estos suelos con pH ligeramente básicos y altos contenidos de Ca y Mg (23); sin embargo, los contenidos de materia orgánica fueron bajos. En cuanto al número inicial de esporas de HMA, si bien fueron bajas, se corresponden con los valores obtenidos anteriormente en este tipo de suelos y en esta misma localidad (16, 24), posiblemente asociado al historial de manejo y cultivo de estos.

Los tratamientos estudiados se presentan en la Tabla II.

^A FAO. *Anuario Estadístico de la FAO* [en línea], FAOSTAT, 2012, [Consultado: 27 de junio de 2015], Disponible en: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>.

^B Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). *Instructivo Técnico para el cultivo del plátano*, Ministerio de la Agricultura (MINAG), La Habana, Cuba, 2011, 12 p.

^C Ruiz, M.L. *Efectividad de las asociaciones micorrízicas en raíces y tubérculos en dos tipos de suelos* [Tesis de Doctorado], Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2001, 101 p.

Tabla I. Caracterización y contenido de esporas de HMA inicial del suelo Pardo mullido carbonatado. Profundidad de 0-20 cm.

Año	pH		MO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	K	No. esporas
	KCl	H ₂ O	(%)	(mg 100 g ⁻¹)		(cmol _c kg ⁻¹)			(esporas 50 g ⁻¹)
2006	6,81	7,85	2,10	3,19	23,26	44,94	3,24	0,40	47,50
Z _{1-α} · Es \bar{x}	0,14	0,11	0,12	0,13	1,88	1,20	0,11	0,09	14,60

Z_{1-α} · Es \bar{x} : Intervalo de confianza (1-α=0,05), siendo Z₁ = 1,96. Cada valor es promedio de ocho muestras compuestas.

pH en H₂O y KCl (KCl solución 1 M) en relación suelo: solución (1:2,5) por el método potenciométrico. Determinación de la materia orgánica por el método de Walkley-Black (oxidación del C con K₂Cr₂O₇ 0,5 M en H₂SO₄ 18 M al 98 %) y valoración con solución de 0,25 M de sulfato ferroso amónico. Extracción del P y K disponibles con solución extractiva de (NH₄)₂CO₃, 10 g L⁻¹, pH 9,0 y valoración con HCl 0,05 M e indicador anaranjado de metilo. Extracción de cationes intercambiables con NH₄Ac 1 M y pH 7 en relación suelo:solución de 1:5 y agitando durante 5 minutos según descrito en Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (23). Cuantificación de esporas según la modificación de Herrera y *et al.*^p al protocolo inicial de Gerdemann y Nicholson (25).

Tabla II. Tratamientos estudiados en cada uno de los ciclos de crecimiento.

Control absoluto
HMA
75 % NPK
75 % NPK + HMA
100 % NPK
75 % FOM
75 % FOM + HMA
100 % FOM
100 % FOM + HMA

100 % NPK= 300 y 720 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N y de K₂O, respectivamente y 38 g plantón⁻¹ de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM^B; 100 % FOM= 20 y 10 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza respectivamente^B; 75 % FOM = 15 y 7,5 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza, respectivamente; 75 % NPK= 225 y 540 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N y de K₂O, respectivamente y 29 g plantón⁻¹ solo aplicado en el ciclo de PM; HMA = plantas inoculadas con cepa eficiente para este tipo de suelo en la fase de vivero y en trasplante a campo^C.

El experimento se desarrolló a partir de la plantación de plantas de banano del cv. 'FHIA-18' obtenidas *in vitro*. En los tratamientos inoculados con HMA las plantas que se utilizaron se inocularon en dos momentos, primero en la fase de aclimatización y posteriormente en el momento de trasplante a campo, las posturas aclimatizadas fueron obtenidas de acuerdo con el Instructivo Técnico (26). El diseño utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y se ejecutó durante los ciclos de planta madre y dos vástagos.

La plantación del banano se realizó de forma manual y el marco de plantación utilizado fue 4 x 2 x 2,4 m, equivalente a 1 388 plantas ha⁻¹. Cada parcela experimental tenía un área de 144 m², contando con un total de 20 plantas. El área de cálculo por parcela fue de 43,2 m² con seis plantas evaluables. En el experimento se evaluaron tres ciclos productivos: Planta madre (PM) y los hijos seguidores Vástago-1 (V-1) y Vástago-2 (V-2). La selección de los vástagos se realizó por el método de un portador y el mejor hijo, según metodología descrita en el Instructivo Técnico para el cultivo del plátano^B.

Para la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares se utilizó la cepa *R. intraradices*, por comportarse de forma eficiente en este tipo de suelo^C (13). La inoculación consistió en la aplicación de 10 g

de inoculante en el inicio de la fase de aclimatización. La adaptación de las plantas obtenidas *in vitro* se realizó en condiciones semicontroladas en una casa de cultivo cubierta por una malla plástica (zarán), que permitía el paso del 60 % de la iluminación natural o de un flujo de fotones fotosintéticos (FFF) de 600 mmol m⁻²s⁻¹, colocando una planta en cada bolsa de polietileno negro que contenía 0,5 kg del sustrato y con posterioridad en el trasplante de estas en campo, a razón de otros 20 g planta⁻¹ en el fondo del hoyo, siempre localizado debajo de las raíces y en contacto directo con estas.

Se utilizaron dos esquemas para suministrar los nutrientes a las plantas en condiciones de campo. Uno a partir de fertilizantes minerales (N, P y K) y con los portadores: urea (46 % de N), superfosfato triple (46 % de P₂O₅) y cloruro de potasio (60 % de K₂O) y otro utilizando fertilizante orgánico-mineral (FOM), a partir de compost (19,5; 3,1 y 9,9 g kg⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) y de la ceniza de paja de caña con contenidos promedio de 9,9; 6,6 y 42,8 g kg⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente.

Las dosis de fertilizantes minerales (NPK) y orgánico-minerales (compost y ceniza) se aplicaron en cada ciclo.

En el ciclo de PM los fertilizantes minerales se fraccionaron de la forma siguiente: la urea en cuatro aplicaciones iguales, a los 45, 90, 135 y 180 días después de establecida la plantación (ddp) y el fertilizante potásico en dos aplicaciones a los 45 y 135 ddp. Todas las aplicaciones se realizaron formando un círculo alrededor de la planta. En el caso del fertilizante fosfórico no se fraccionó y se aplicó totalmente antes de establecer la plantación en el fondo del surco^B.

En cada uno de los ciclos correspondientes a los dos vástagos, las dosis de N y K₂O se fraccionaron en dos aplicaciones a partes iguales y se aplicaron en forma de media luna frente al vástago correspondiente, una mitad cuando el 80-90 % de las plantas del ciclo anterior estaban en fase de cosecha y la segunda a los 60 días de haberse realizado la primera aplicación.

En el caso de las aplicaciones a base de compost y ceniza (FOM), en el ciclo de PM se fraccionaron a partes iguales en dos momentos y se aplicaron en la plantación en el fondo del surco y la otra mitad a los 90 días de la primera, de forma circular alrededor de la planta; en los ciclos V-1 y V-2, las aplicaciones de ceniza y de compost se fraccionaron en dos aplicaciones y se aplicaron en forma de media luna frente al vástago correspondiente, una mitad cuando el 80-90 % de las plantas del ciclo anterior estaban en fase de cosecha y la segunda a los 60 días de haberse realizado la primera.

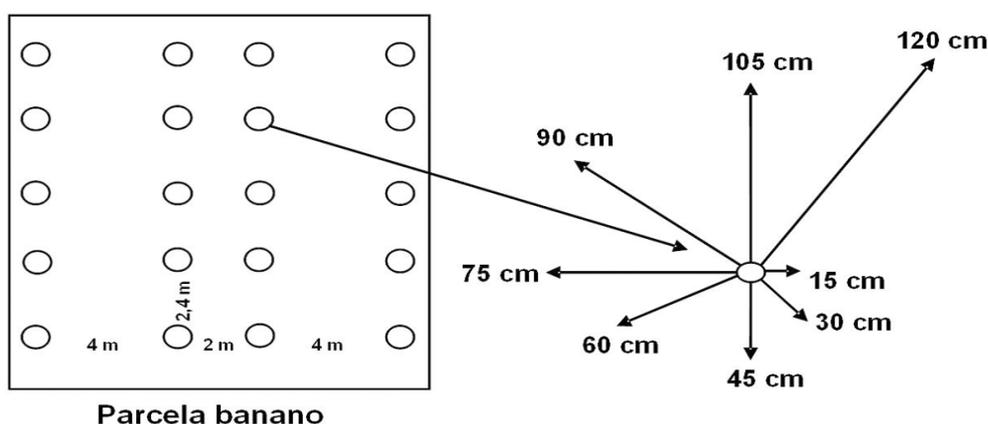
Todas las atenciones agrotécnicas en las plantaciones de banano se realizaron según lo recomendado en el Instructivo Técnico^B.

Dentro de las evaluaciones y determinaciones realizadas, el conteo de esporas de HMA, expresado en esporas 50 g^{-1} de suelo, se realizó al inicio del experimento y en la etapa de floración de cada uno de los ciclos del banano, expresándose en número de esporas 50 g^{-1} de suelo. El conteo inicial de esporas de HMA residentes se realizó en cada una de las ocho muestras compuestas de suelo en la profundidad de 0-20 cm, previo al montaje del experimento. En los momentos de floración del banano 'FHIA-18' las muestras de suelo también se tomaron en la profundidad de 0-20 cm. En cada parcela se muestrearon cuatro plantas y en cada planta ocho puntos (15-30-45-60-75-90-105-120 cm) en forma de espiral, como se observa en la Figura 1, utilizando la metodología de toma de muestras de suelo para análisis agroquímicos en plantaciones de banano^D, de forma tal que cada muestra por parcela fue compuesta de 32 submuestras.

Para la extracción de las esporas se procedió según la modificación de Herrera *et al.*^E al protocolo inicial de Gerdemann y Nicholson (25), posteriormente se lavaron con agua destilada y se vertieron en placa Petri, para su conteo con el uso del microscopio estéreo 70x (Stemi 2000-C).

El porcentaje de colonización micorrízica total se determinó en todos los ciclos en la fase de floración del banano. Para las evaluaciones se motearon las raíces de cuatro plantas de cálculo por parcela a partir de aproximadamente 200 mg de raíces en cada muestra, las que fueron secadas en estufa a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, para ser teñidas, según metodología descrita por Phillips y Hayman (27). La evaluación se realizó en microscopio estéreo 70x (Stemi 2000-C) y luego se utilizó el método de los interceptos, desarrollado por Giovanetti y Mosse (28) para su determinación.

Los análisis foliares, expresados en g kg^{-1} de la masa seca, se realizaron en cada ciclo del cultivo del banano. Para el muestreo de las concentraciones foliares (N, P y K) se seleccionó en cada planta de cálculo y en el estado de floración de cada ciclo del cultivo la hoja III de la planta y se tomó una banda de 10 cm de cada semilimbo en el centro del limbo^E. Las muestras foliares de cada parcela se homogenizaron, se secaron en estufa a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ y posteriormente se molinaron. El N por el método colorimétrico de Nessler y el P y K por digestión vía húmeda ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Se}$), según lo descrito en el Manual de Técnicas Analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos (23).



Parcela banano

Marco de plantación del banano: 4 x 2 x 2,4 m.

Figura 1. Representación gráfica del método de toma de muestras compuestas de suelo (0-20 cm de profundidad) para plantas de banano^E y adaptado para muestreo de esporas de HMA en este cultivo.

^D Guijarro, R. *Investigaciones con relación al régimen nutricional y fertilización del plátano en las condiciones de los suelos Ferralíticos Rojos* [Tesis de Doctorado], ISCAH, La Habana, Cuba, 1980, 107 p.

^E Herrera, R.A.; Ferrer, R.L.; Furrzola, E. y Orozco, M.O. *Estrategia de funcionamiento de las micorrizas VA en un bosque tropical. Biodiversidad en Iberoamérica. Ecosistemas, Evolución y Procesos sociales*, (ed. ser. Monasterio, M.), [Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo, Diversidad Biológica, Subprograma XII], Mérida, México, 1995.

El rendimiento agrícola se determinó por pesada de los racimos en cada una de las seis plantas de cálculo de cada parcela y en los diferentes ciclos estudiados. El rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de cada tratamiento se expresó como rendimiento de cada ciclo y el acumulado total.

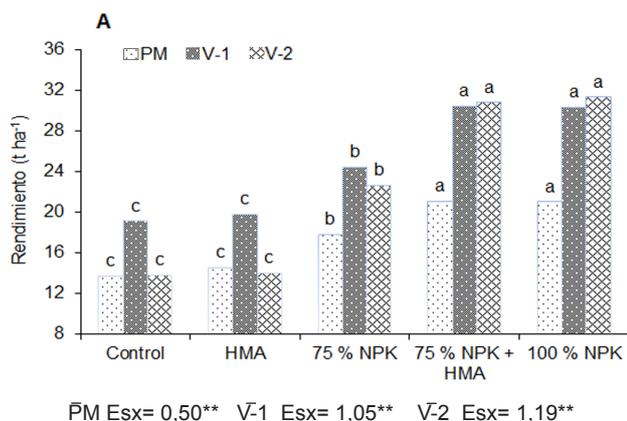
Para el análisis estadístico, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza por Kolmogorov-Smirnov y Levene, se realizaron análisis de varianza de clasificación doble para cada una de las variables evaluadas y en cada uno de los ciclos estudiados, así como con el rendimiento acumulado utilizando el paquete estadístico del Programa SPSS (29). En el caso de existir diferencias significativas, las medias de los tratamientos se docimaron según la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para una mejor comprensión e interpretación de los efectos de la inoculación con cepas eficientes de HMA sobre los requerimientos de fertilizantes minerales y orgánico-minerales del banano y a partir del análisis estadístico integral del rendimiento de los nueve tratamientos (Tabla II), los resultados se mostrarán subdivididos en dos tópicos: 1) efectos en los requerimientos de fertilizantes minerales y 2) en los requerimientos de fuentes orgánico-minerales.

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON UNA CEPA EFICIENTE DE HMA EN LOS REQUERIMIENTOS DE FERTILIZANTES MINERALES (NPK) DEL CV. 'FHIA-18'

Se encontró una alta respuesta a la fertilización mineral (Figura 2), con diferencias significativas en los tres ciclos evaluados y los mayores rendimientos con la dosis recomendada para altos rendimientos en el cultivo (100 % NPK).



Letras diferentes implican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo con el Test de Tukey. 100 % NPK= 300 y 720 $g\ plantón^{-1}\ ciclo^{-1}$ de N y de K_2O , respectivamente y 38 $g\ plantón^{-1}$ de P_2O_5 solo aplicado en el ciclo de PM^B; 75 % NPK= 225 y 540 $g\ plantón^{-1}\ ciclo^{-1}$ de N y de K_2O , respectivamente y 29 $g\ plantón^{-1}$ solo aplicado en el ciclo de PM^C; HMA= plantas inoculadas con cepa eficiente para este tipo de suelo en la fase de vivero y en trasplante a campo. PM= Planta madre, V-1= Vástago-1, V-2= Vástago-2.

Figura 2. Efecto de la aplicación de *R. intraradices* y la fertilización mineral (NPK) sobre el rendimiento del cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado en los ciclos PM, V-1 y V-2 (A) y el total acumulado.

Estos efectos se encontraron en cualquiera de los ciclos productivos y en el rendimiento acumulado.

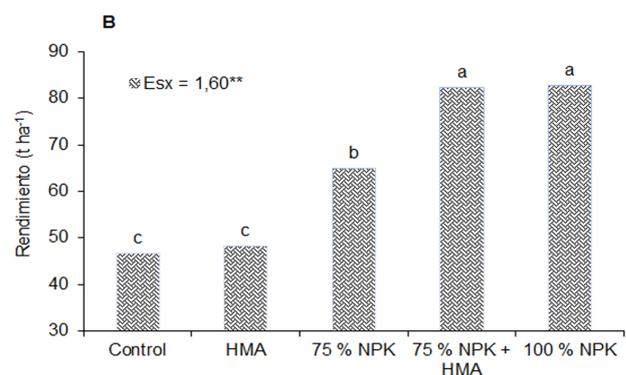
En relación con la aplicación combinada de HMA y el fertilizante mineral se encontró, en cualquiera de los ciclos y en el acumulado, un efecto positivo y significativo de la inoculación con *R. intraradices* y la dosis del 75 % del fertilizante, alcanzándose rendimientos significativamente superiores ($p \leq 0,05$) a los obtenidos con la aplicación del 75 % de la dosis de NPK, en ausencia de inoculación con HMA y similares a los logrados con la aplicación de la dosis máxima de fertilizante mineral (100 % NPK).

El tratamiento que se inoculó, pero que no recibió ninguna aplicación de fertilizante, no presentó diferencias en el rendimiento en ninguno de los ciclos en comparación con el tratamiento control sin fertilización.

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON UNA CEPA EFICIENTE DE HMA SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE FUENTES ORGÁNICO-MINERALES DEL CV. 'FHIA-18'

De forma similar se encontró una respuesta significativa y creciente a la aplicación de diferentes dosis de fertilización orgánico-mineral (FOM), expresada en el rendimiento en cada uno de los tres ciclos evaluados y en el acumulado. Con la aplicación del 100 % de la FOM se alcanzaron niveles de rendimiento similares a los obtenidos cuando se aplicó 100 % de NPK (Figura 3).

El efecto de la inoculación con *R. intraradices* combinada con la dosis del 75 % de FOM en los diferentes ciclos, evidenció un efecto positivo y significativo ($p \leq 0,05$) sobre esta variable, alcanzándose mayores rendimientos que el tratamiento que solo recibió el 75 % de FOM y sin diferencias significativas con los tratamientos que recibieron las mayores dosis de fertilización mineral y de FOM.



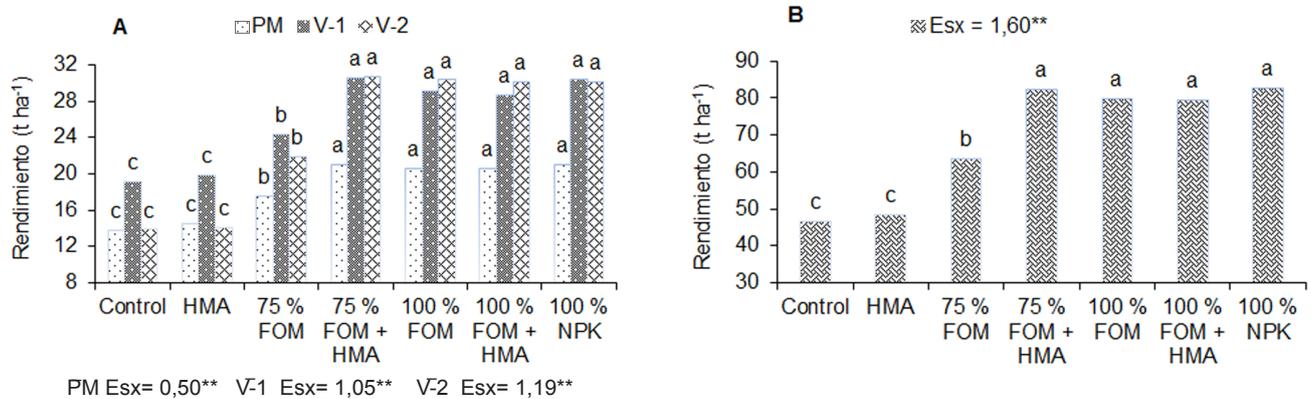
La aplicación de HMA en presencia de la dosis superior de FOM, no incrementó los rendimientos en comparación a los obtenidos con las dosis superiores de fertilización mineral y de FOM.

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON UNA CEPA EFICIENTE DE HMA Y DOSIS DE FERTILIZANTES MINERALES Y ORGÁNICO-MINERALES SOBRE LAS VARIABLES FÚNGICAS EN PLANTACIONES DEL CV. 'FHIA-18'

En todos los casos, con la inoculación de los HMA se obtuvieron valores de porcentaje de colonización micorrízica y de número de esporas (Tabla III) en la rizosfera del cv. 'FHIA-18', significativamente superiores ($p \leq 0,05$) a los que se alcanzaron en las variantes sin inocular.

En los tratamientos inoculados que recibieron dosis de fertilizante mineral u orgánico-mineral se alcanzaron siempre los mayores porcentajes de colonización micorrízica, los cuales fueron del orden del 60-63 % durante el ciclo de PM y V-1, disminuyendo ligeramente a 56-57 % en el V-2. El tratamiento inoculado que no recibió adiciones de fertilizante presentó siempre valores significativamente menores que los anteriores y del orden del 50 %, aunque superiores a los tratamientos no inoculados.

Se encontró de forma similar una respuesta diferenciada de los tratamientos sobre la producción de esporas. Los mayores valores de esta variable estuvieron asociados con los tratamientos inoculados que recibieron dosis del 75 % del fertilizante mineral u orgánico-mineral.



Letras diferentes implican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo con el Test de Tukey.

100 % FOM= 20 y 10 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza^B, respectivamente; 75 % FOM = 15 y 7,5 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza, respectivamente; 100 % NPK= 300 y 720 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N y de K₂O, respectivamente y 38 g plantón⁻¹ de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM^B; HMA= plantas inoculadas con cepa eficiente para este tipo de suelo^C en la fase de vivero y en trasplante a campo. PM= Planta madre, V-1= Vástago-1, V-2= Vástago-2.

Figura 3. Efecto de la aplicación de *R. intraradices* y la fertilización órgano-mineral sobre el rendimiento del cv. 'FHIA-18' en suelo Pardo mullido carbonatado en los ciclos PM, V-1 y V-2 (A) y el total acumulado.

Tabla III. Efecto de la aplicación de HMA y del fertilizante mineral y órgano-mineral en el cv. 'FHIA-18' sobre el porcentaje de colonización micorrízica y el número de esporas de HMA en 0-20 cm de profundidad.

Tratamiento	Colonización			No. de esporas		
	PM	V-1	V-2	PM	V-1	V-2
	(%)			(esporas 50 g ⁻¹ de suelo)		
Control absoluto	13,50 c	16,50 c	9,50 c	47,50 c	38,25 c	31,25 b
HMA	51,75 b	54,50 b	49,25 b	191,75 b	259,00 b	98,75 b
75 % NPK	13,75 c	15,75 c	10,00 c	53,75 c	32,50 c	35,00 b
75 % NPK + HMA	61,00 a	63,25 a	56,00 a	353,75 a	458,50 a	292,75 a
100 % NPK	14,25 c	16,25 c	10,50 c	61,75 c	45,25 c	40,50 b
75 % FOM	12,75 c	15,25 c	10,50 c	54,25 c	50,75 c	47,25 b
75 % FOM + HMA	61,25 a	63,25 a	57,50 a	365,50 a	424,25 a	332,50 a
100 % FOM	13,75 c	15,75 c	11,50 c	65,75 c	60,00 c	58,25 b
100 % FOM + HMA	60,00 a	61,75 a	56,75 a	220,25 b	137,75 bc	111,00 b
Es \bar{x} =	0,93**	1,10**	0,80**	36,21**	42,82**	27,89**

Letras diferentes implican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo con el Test de Tukey.

100 % NPK= 300 y 720 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N y de K₂O, respectivamente y 38 g plantón⁻¹ de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM^B; 75 % NPK= 225, 29 y 540 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente; 100 % FOM= 20 y 10 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza^B, respectivamente; 75 % FOM= 15 y 7,5 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza, respectivamente; HMA= plantas inoculadas con cepa eficiente para este tipo de suelo^C en la fase de vivero y en trasplante a campo. PM= Planta Madre; V-1= Vástago-1; V-2= Vástago-2.

Los tratamientos inoculados que no recibieron fertilizantes o que recibieron el 100 % de la fertilización orgánico-mineral presentaron valores significativamente inferiores a los antes mencionados, aunque todos fueron superiores a los tratamientos no inoculados.

De forma general, los mayores valores de número de esporas se encontraron en el V-1, los cuales fueron ligeramente superiores a los encontrados en PM y estos superiores a los encontrados en el V-2, no influyendo estas variaciones en el comportamiento general de los tratamientos, anteriormente descritos.

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON HMA Y DOSIS DE FERTILIZANTES MINERALES Y ORGÁNICO-MINERALES SOBRE LAS CONCENTRACIONES FOLIARES (N, P, K, g kg⁻¹) EN PLANTACIONES DEL cv. 'FHIA-18'

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cualquiera de los tres ciclos evaluados (Tabla IV), de forma tal que las mayores concentraciones de nitrógeno foliar se hallaron en los tratamientos que no recibieron aplicación de fertilizantes, mientras que las menores concentraciones se encontraron en los tratamientos que recibieron las mayores dosis de fertilizantes minerales u orgánico-minerales o los tratamientos inoculados que recibieron fertilización. Los tratamientos no inoculados y que recibieron dosis del orden del 75 % de los requerimientos de fertilizantes presentaron valores medios de concentración de N.

Asimismo, se encontró una tendencia a la disminución de las concentraciones de nitrógeno foliar en función de los ciclos de la plantación.

En el caso de la concentración foliar de P (Tabla IV) no se encontraron diferencias entre los tratamientos, presentando concentraciones similares que oscilaron entre 0,20 y 0,22 %. Esta conducta se manifestó de forma análoga en cada ciclo evaluado.

Se encontró un marcado efecto positivo y significativo de la fertilización, tanto mineral como orgánico-mineral, en las concentraciones de potasio foliar (Tabla IV), efecto que se presentó en cualquiera de los ciclos.

Se encontró además, un efecto positivo de la inoculación con *R. intraradices* en presencia de dosis de fertilizantes minerales u orgánico-minerales sobre las concentraciones de potasio foliar, de forma tal que estos tratamientos presentaron mayores concentraciones de potasio que los tratamientos homólogos no inoculados y similares a las concentraciones obtenidas con los tratamientos que recibieron las mayores cantidades de fertilizantes.

De forma general, no se encontró efecto de los ciclos sobre las concentraciones de potasio foliar y las diferencias entre tratamientos se manifestaron de forma similar en cada ciclo.

Por otra parte se encontraron similares concentraciones foliares (N, P y K), tanto en el tratamiento inoculado que no recibió fertilizantes como en el tratamiento control que no recibió aplicación alguna.

Los resultados de este estudio dejaron claro los importantes requerimientos de fertilizante nitrogenado y potásico del banano^E, así como la equivalencia entre las dosis recomendadas tanto de fertilización mineral como orgánico-mineral para este cultivo en el país^B. La fertilización orgánico-mineral con 20 y 10 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza, respectivamente, pudo garantizar a lo largo de los tres ciclos de cultivo estudiados los requerimientos nutricionales y los altos rendimientos del banano cultivado en suelos Pardos mullidos carbonatados.

La inoculación con *R. intraradices*, en conjunto con la aplicación del 75 % de las dosis de fertilizante mineral u orgánico-mineral recomendada para garantizar los requerimientos nutricionales del banano, fue altamente efectiva.

Tabla IV. Efecto de la aplicación de HMA y del fertilizante mineral y órgano-mineral sobre la concentración foliar de N, P y K (%) evaluado en la lámina media de la III hoja en floración del cv. 'FHIA-18' en un Suelo Pardo mullido carbonatado.

Tratamiento	Ciclo Planta madre			Ciclo Vástago-1			Ciclo Vástago-2		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
	(g kg ⁻¹ de la masa seca)								
Control	32,3 ab	2,1	22,9 c	30,5 a	2,2	24,1 c	29,3 a	2,1	22,6 c
HMA	32,9 a	2,0	22,1 c	30,0 a	2,2	24,6 c	28,9 a	2,0	22,0 c
75 % NPK	30,0 abc	2,0	29,3 b	27,8 ab	2,2	30,8 b	25,6 bc	2,2	29,4 b
75 % NPK + HMA	29,1 bcd	2,1	33,3 a	26,3 b	2,2	35,5 a	24,6 bcd	2,2	36,9 a
100 % NPK	28,7 cd	2,1	34,4 a	25,9 b	2,2	36,0 a	23,1 d	2,2	37,0 a
75 % FOM	29,4 bcd	2,0	27,9 b	27,5 ab	2,1	30,6 b	26,4 b	2,0	29,0 b
75 % FOM + HMA	26,3 d	2,0	33,5 a	25,3 b	2,2	34,8 a	23,9 cd	2,1	35,3 a
100 % FOM	27,0 cd	2,0	33,6 a	25,3 b	2,1	35,1 a	24,3 bcd	2,1	34,8 a
100 % FOM + HMA	28,1 cd	2,1	34,1 a	26,1 b	2,1	35,4 a	24,9 bcd	2,1	35,1 a
Es \bar{x} =	0,10**	0,01 ns	0,10**	0,09**	0,01 ns	0,05**	0,07**	0,02 ns	0,12**

Letras diferentes implican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo con Test de Tukey.

100 % NPK= 300 y 720 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N y de K₂O, respectivamente y 38 g plantón⁻¹ de P₂O₅ solo aplicado en el ciclo de PM^B; 75 % NPK= 225, 29 y 540 g plantón⁻¹ ciclo⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente; 100 % FOM = 20 y 10 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza^B, respectivamente; 75 % FOM = 15 y 7,5 kg planta⁻¹ ciclo⁻¹ de compost y ceniza, respectivamente; HMA = plantas inoculadas con cepa eficiente para este tipo de suelo^C en la fase de vivero y en trasplante a campo. PM= Planta Madre; V-1= Vástago-1; V-2= Vástago-2.

Esta combinación garantizó altos rendimientos y los requerimientos nutricionales^E, dejando clara la efectividad de *R. intraradices* para el banano en suelos Pardos mullidos carbonatados^C. Por otra parte, corroboró los criterios que sostienen que un funcionamiento micorrízico efectivo incrementa la absorción de los nutrientes del suelo y los fertilizantes (30, 31).

De forma tal que, si las plantas inoculadas con cepas eficientes de HMA requieren de un suministro adecuado de nutrientes para un óptimo funcionamiento micorrízico y, por ende, obtener los beneficios de la micorrización, este suministro será menor que los requerimientos de fertilizantes de ese mismo cultivo no inoculado^{C,F} (13).

La disminución porcentual de los requerimientos de fertilizantes para plantaciones inoculadas de 'FHIA-18', coinciden con los porcentajes obtenidos anteriormente en plátano 'Burro CEMSA' en este mismo suelo e inoculado con la misma cepa de HMA (16).

Los resultados relacionados con el uso de la fertilización orgánico-mineral concuerdan con lo informado por la literatura^B (17, 32). La aplicación de los inoculantes micorrízicos provocó disminuciones en los requerimientos de estos fertilizantes, tal y como ha sido encontrado en café y pastos^{F,G} (17).

También la aplicación de compost y ceniza, al influir sobre la estructura del suelo, el pH, la cantidad de nutrientes, la retención de humedad y favorecer la proliferación de las comunidades microbianas en el suelo, pudo haber originado condiciones más propicias para garantizar la efectividad de la inoculación y obtener efectos beneficiosos sobre el funcionamiento micorrízico (33, 34).

El inferior comportamiento de las plantas en el tratamiento inoculado que no recibió dosis complementarias de fertilizantes en las diferentes variables micorrízicas, rendimiento y estado nutricional, corroboró la necesidad de un suministro adecuado de nutrientes a las plantas inoculadas para garantizar un óptimo funcionamiento micorrízico, estado nutricional y, por ende, mayores rendimientos. Lo anterior ya había sido obtenido tanto en raíces y tubérculos, tabaco, pastos de *Brachiaria*, como en producción de posturas de cafetos y frutales^{C,F,G} (35, 36), entre otros cultivos.

Es decir, la inoculación con una cepa eficiente de HMA no será efectiva si el suministro de nutrientes no es adecuado para garantizar un eficiente funcionamiento micorrízico (13) y puede llegar al extremo en que prácticamente no haya efecto de la inoculación en ausencia de fertilizantes, como en este caso.

Los diferentes tratamientos no inoculados en presencia o no de cantidades de fertilizantes minerales y orgánico-minerales, presentaron valores inferiores en los porcentajes de colonización micorrízica y de producción de esporas, en relación con los tratamientos inoculados y que recibieron fertilizantes. Este comportamiento deja claro que el nivel de funcionamiento obtenido con las cepas de HMA residentes fue bajo, debiendo estar relacionado con las bajas cantidades de esporas de HMA iniciales, e indicando la necesidad de inocular en estas condiciones para obtener los beneficios de la simbiosis micorrízica arbuscular.

La respuesta positiva a la inoculación con *R. intraradices* ha sido encontrada en este tipo de suelo, no solo en presencia de bajas cantidades iniciales de esporas^C (24), sino incluso en presencia de 400 esporas 50 g⁻¹ de suelo de cepas residentes^H, indicando que la respuesta positiva a la inoculación no es solo en suelos con bajas cantidades de esporas residentes.

Si bien, tanto el porcentaje de colonización, como la producción de esporas, presentaron los mayores valores en los tratamientos inoculados que recibieron el 75 % de la fertilización y en correspondencia con los mayores rendimientos y concentración de potasio foliar, indicativos de un funcionamiento micorrízico óptimo, la inoculación en presencia de las mayores dosis de fertilizantes orgánico-minerales ocasionó una conducta diferenciada entre los porcentajes de colonización y el número de esporas en el suelo.

En este tratamiento las cantidades de esporas parecieron más sensibles para reflejar las variaciones en el funcionamiento micorrízico que el porcentaje de colonización, a partir de que altos suministros de nutrientes generalmente no son favorables para un funcionamiento óptimo (18, 37). Si bien los porcentajes de colonización micorrízica obtenidos en este tratamiento fueron altos, los contenidos de esporas disminuyeron significativamente en relación con el tratamiento inoculado que recibió el 75 % de la FOM, siendo incluso similares a las del tratamiento inoculado que no recibió ningún fertilizante y cuyo comportamiento general fue inferior.

Este tipo de conducta de las esporas, reflejando una mayor sensibilidad que los porcentajes de colonización como indicativos del funcionamiento micorrízico, ha sido encontrado con anterioridad al evaluar la influencia de diferentes características de los suelos sobre la efectividad de *G. cubense*^I.

^F Fernández, M.F. *Efecto del manejo de las asociaciones micorrízicas arbusculares sobre la producción de posturas del café (C. arabica L.)* [Tesis de Doctorado], Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 1999, 102 p.

^G Sánchez, C. *Uso y manejo de los hongos micorrizógenos arbusculares y los abonos verdes en la producción de posturas de café (C. arabica L.) en algunos suelos del macizo Guamuaya* [Tesis Doctorado], Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2001, 103 p.

^H González, P. *Comunicación personal*, 2014.

^I Rivera, R. *Informe anual del proyecto P131LH0010003*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2013, 20 p.

En ese estudio se encontró que *G. cubense*, cepa que muestra un buen funcionamiento por encima de pH 6, en pH cercanos a 5, prácticamente no produjo esporas; sin embargo, los porcentajes de colonización sí permanecieron altos (65 %) en esos niveles de pH. Al continuar disminuyendo el pH a 4,5, tanto las esporas como los porcentajes de colonización micorrízica fueron mínimos.

Según lo anterior, las esporas pudieran tenerse en cuenta como indicadoras del funcionamiento y eficiencia de una cepa de HMA y, sobre todo, a partir de la existencia del efecto de permanencia de la inoculación inicial^{C, H} (38), que se relaciona con la propia reproducción de propágulos que realiza el cultivo inoculado y para lo cual se requiere que el ambiente edáfico sea el adecuado. O sea que el efecto de una cepa eficiente de HMA no solo se establece a través de la inoculación inicial que se obtiene con el cultivo inoculado, sino de la capacidad de garantizar el efecto de permanencia, al menos con el primer cultivo posterior (18).

Las concentraciones foliares de N, P y K encontradas indicaron la importancia y necesidad del suministro de estos nutrientes a la plantación.

En relación con la concentración foliar del fósforo, los resultados corroboran la baja necesidad de fertilizante fosfórico para el cultivo obtenida, tanto internacionalmente (39) como en Cuba^E, por lo cual las dosis que se emplean en el cultivo generalmente son bajas, siendo muy frecuentes las aplicaciones a largo plazo, una vez para varios años^B.

La concentración foliar del nitrógeno presentó una conducta muy diferente, las mayores concentraciones se asociaron con los tratamientos con menores rendimientos y viceversa, indicando la existencia de un efecto de dilución y el hecho de que no fuera un elemento limitante en estas condiciones. Así mismo, a menudo se ha observado una disminución de la concentración de los nutrientes en la III hoja en floración en el cultivo del banano, en las plantas que tienen un mayor crecimiento y desarrollo^F.

Un comportamiento muy diferente reflejaron las concentraciones de potasio foliar en los tres ciclos evaluados, con una respuesta directa a la fertilización, bien fuera mineral u orgánico-mineral, siendo los valores obtenidos con las mayores cantidades de fertilizantes, indicativos de una nutrición potásica adecuada en cualquiera de los ciclos^E.

Este comportamiento indicó que fue el potasio el elemento determinante en la nutrición del banano en este experimento, relacionándose directamente sus concentraciones con el rendimiento de la plantación.

La inoculación con *R. intraradices* en presencia de dosis medias de fertilizantes garantizó concentraciones de potasio foliar adecuadas^E y similares a los obtenidos con las mayores dosis de fertilizantes en ausencia de inoculación.

Si bien la literatura internacional comúnmente no refleja un efecto directo de la simbiosis micorrízica arbuscular sobre la absorción de potasio, trabajos relativamente recientes con ⁸⁶Rb^J, como trazador de K y plantas de *M. truncatula* inoculadas con esporas de *G. clarum* y *G. intraradices* bajo condiciones estrictas de cultivo *in vitro* demostraron la funcionalidad de la simbiosis en un sistema autotrófico de cultivo totalmente *in vitro*, a través del transporte de ⁸⁶Rb por parte de las hifas extrarradicales de estas cepas de HMA, hasta el sistema aéreo de plantas de *M. truncatula*, lo cual indica su participación en la adquisición y translocación de K a las plantas.

Cuando se integran los resultados informados en este tipo de suelo con la inoculación con *R. intraradices* en diferentes cultivos como yuca, boniato, malanga, pastos, cafetos, de características y equilibrios nutricionales diversos^{C, G} (13), con los encontrados en un cultivo potasófilo como el banano y con pocas exigencias de fósforo^E, se coincide con planteamientos realizados por otros autores (13).

En ellos se resalta que los HMA cuando se asocian con sus hospederos se comportan más como extensores del sistema radical, contribuyendo a incrementar la absorción de nutrientes y es la planta en base a sus necesidades, la que selecciona cuáles elementos ingresan o no en la misma.

Un aspecto muy interesante es que los efectos positivos de la inoculación en presencia de las dosis del 75 % de la fertilización, tanto sobre el rendimiento como sobre las variables de funcionamiento micorrízico y las concentraciones de potasio foliar, se obtuvieron en cada uno de los tres ciclos estudiados.

Si partimos de la inoculación que se realizó en el momento del trasplante queda claro que en este cultivo se mantiene un efecto de permanencia de la inoculación inicial que se trasmite de un ciclo a otro, posiblemente asociado con el hecho de que coinciden el crecimiento sucesivo de los hijos con el desarrollo activo y el funcionamiento micorrízico del ciclo que precede.

Este comportamiento no debe ser ajeno a que, debido a los altos requerimientos hídricos del banano, siempre se le garantizó un riego adecuado.

Estas condiciones, conjuntamente con el hecho de ser un cultivo tropical adaptado a altas temperaturas, así como de las aplicaciones complementarias de fertilizantes, provocaron que se mantuviera el funcionamiento micorrízico a lo largo de la plantación, lo cual no parece ser una conducta general para otros cultivos perennes como los frutales o el café.

^J Fernández, K. *Establecimiento de un sistema eficiente de micorrización in vitro de plántulas de Solanum tuberosum L. y Medicago truncatula Gaertn* [Tesis de Doctorado], Universidad de La Habana, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2013, 117 p.

En áreas de forrajes permanentes, en este mismo tipo de suelo inoculado con *R. intraradices*, como los pastos de *Brachiaria* bajo sistemas intensivos de corte, se ha encontrado que el efecto de la inoculación inicial se mantiene de uno a dos años, en función de la especie de pasto^l. No obstante, los valores de número de esporas que indicaron la necesidad de reinocular fueron de 600 esporas 50 g⁻¹ de suelo, superiores a los encontrados en los tratamientos inoculados que recibieron el 75 % de la fertilización y que indicaron que en el banano, los contenidos de esporas de alrededor de 350 esporas 50 g⁻¹ de suelo mantienen el funcionamiento micorrízico de un ciclo a otro.

Asimismo, en secuencias de cultivos inoculados con esta misma cepa de HMA y en este suelo se ha comprobado que el efecto de permanencia de la inoculación solo se expresó adecuadamente sobre el primer cultivo posterior al inoculado^{c,k}. Por tanto, todo parece indicar que la propia forma de reproducirse vegetativamente el banano, garantizó condiciones para mantener un funcionamiento micorrízico óptimo en la plantación.

CONCLUSIONES

- ◆ Se encontró una respuesta positiva a la inoculación con *R. intraradices* en plantas de banano cv. 'FHIA-18' cultivado en suelo Pardo mullido carbonatado, garantizando altos rendimientos, porcentajes de colonización micorrízica y producción de esporas de HMA, así como contenidos nutricionales adecuados con disminución de los requerimientos de fertilizantes minerales u orgánico-minerales.
- ◆ La inoculación con HMA realizada en el trasplante, mantuvo su efectividad y permanencia en los tres ciclos productivos evaluados. Se encontró que las cantidades de fertilizantes orgánico-minerales recomendadas sustituyeron totalmente a la fertilización mineral.
- ◆ Las concentraciones foliares de potasio se asociaron directamente con el rendimiento y con la respuesta del banano a la inoculación micorrízica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez, L.J.; Peña, T.E.; Llauger, R.R.; Rodríguez, N.A. y Rodríguez, M.S. "Proyección Estratégica hasta el 2015", *Programa Integral de los Cultivos Varios*, 1.ª ed., edit. Liliانا, La Habana, Cuba, 2010, p. 95, ISBN 978-959-7111-55-9.
2. Snyder, C.S.; Bruulsema, T.W.; Jensen, T.L. y Fixen, P.E. "Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 133, no. 3–4, octubre de 2009, (ser. Reactive nitrogen in agroecosystems: Integration with greenhouse gas interactions), pp. 247–266, ISSN 0167-8809, DOI 10.1016/j.agee.2009.04.021.
3. Aoun, M.; El Samrani, A.G.; Lartiges, B.S.; Kazpard, V. y Saad, Z. "Releases of phosphate fertilizer industry in the surrounding environment: Investigation on heavy metals and polonium-210 in soil", *Journal of Environmental Sciences*, vol. 22, no. 9, septiembre de 2010, pp. 1387–1397, ISSN 1001-0742, DOI 10.1016/S1001-0742(09)60247-3.
4. Spångberg, J.; Hansson, P.-A.; Tidåker, P. y Jönsson, H. "Environmental impact of meat meal fertilizer vs. chemical fertilizer", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, no. 11, septiembre de 2011, pp. 1078–1086, ISSN 0921-3449, DOI 10.1016/j.resconrec.2011.06.002.
5. Aguado, S.G.; Rascón, C.Q. y Luna, B.A. "Impacto económico y ambiental del empleo de fertilizantes químicos", ed. Aguado, S.G.A., *Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura*, edit. INIFAP/SAGARPA, México, 2012, pp. 1–22, ISBN 978-607-425-807-3.
6. Stewart, W.M. "Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes", *Informaciones Agronómicas*, vol. 67, 2007, pp. 1–7, ISSN 2222-016X.
7. Medina, L.A.; Monsalve, Ó.I. y Forero, A.F. "Aspectos prácticos para utilizar materia orgánica en cultivos hortícolas", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 4, no. 1, 13 de septiembre de 2011, pp. 109–125, ISSN 2011-2173, DOI 10.17584/rcch.2010v4i1.1230.
8. Barrera, J.L.; Combatt, E.M. y Ramírez, Y.L. "Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (*Musa AAB*)", *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 5, no. 2, diciembre de 2011, pp. 186–194, ISSN 2011-2173.
9. Ndukwe, O.O.; Muoneke, C.O. y Baiyeri, K.P. "Effect of the time of poultry manure application and cultivar on the growth, yield and fruit quality of plantains (*Musa spp. AAB*)", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 14, no. 1, 2011, pp. 261–270, ISSN 1870-0462.
10. Espín, E.; Medina, M.E.; Jadán, M. y Proaño, K. "Utilización de hongos micorrízico-arbusculares en plántulas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) cultivadas in vitro: Efectos durante la fase de aclimatación", *Revista Ciencia*, vol. 13, no. 1, 2010, pp. 87–93.
11. Anaya, A.; Lourdes, M. de.; Jarquín Gálvez, R.; Hernández Ramos, C.; Figueroa, M.S.; Vargas, M. y Teresa, C. "Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México", *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 2, no. 3, junio de 2011, pp. 417–431, ISSN 2007-0934.
12. Pérez, A.C.; Sierra, J.R. y Montes, V.D. "Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el Caribe colombiano", *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, vol. 3, no. 2, 2011, pp. 366–385, ISSN 2027-4297.

^kRiera, N.M.C. *Manejo de la biofertilización con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en secuencias de cultivos sobre suelo Ferralítico Rojo* [Tesis de Doctorado], Universidad Agraria de La Habana. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba, 2003, 100 p.

13. Rivera, R. y Fernández, K. "Bases científico-técnicas para el manejo de los sistemas agrícolas micorrizados eficientemente", eds. Rivera, R. y Fernández, K., *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: el Caribe*, 1.ª ed., edit. Ediciones INCA, La Habana, Cuba, 2003, p. 177, ISBN 959-7023-24-5.
14. Rivera, R. y Fernández, F. "Inoculation and management of mycorrhizal fungi within tropical agroecosystems", *Biological approaches to sustainable soil systems*, edit. Norman Uphoff, CRC Press, Taylor y Francis Group, Florida, USA, 2006, pp. 479-489, ISBN 978-1-57444-583-1.
15. Martín, G.M.; Arias, L. y Rivera, R. "Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 1, marzo de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
16. Ruiz, L.A.; Simó, J. y Rivera, R. "Nuevo método para la inoculación micorrízica del cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz)", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, septiembre de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
17. González, P.J.; Rivera, R.; Arzola, J.; Morgan, O. y Ramírez, J.F. "Efecto de la inoculación de la cepa de hongo micorrízico arbuscular *Glomus hoi*-like en la respuesta de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II (CIAT 36087) a la fertilización orgánica y nitrogenada", *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 4, diciembre de 2011, pp. 05-12, ISSN 0258-5936.
18. Rivera, R.; Fernández, F.; Fernández, K.; Ruiz, L.; Sánchez, C. y Riera, M. "Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems" [en línea], eds. Hamel, C. y Plenchette, C., *Mycorrhizae in Crop Production*, edit. Haworth Press, Binghamton, N. Y., 2007, pp. 151-196, ISBN 978-1-56022-306-1, [Consultado: 15 de julio de 2015], Disponible en: <10.13140/RG.2.1.1771.2162>.
19. Noval, B. de la.; Hernández, M.J. y Hernández, J.C. "Utilización de las micorrizas arbusculares en la adaptación de vitroplantas de banano (*Musa* sp.). Dosis y cepas de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) y combinaciones de sustratos", *Cultivos Tropicales*, vol. 18, no. 3, 1997, pp. 5-9, ISSN 0258-5936.
20. Jaizme-Vega, M.C.; Delamo, M.E.; Domínguez, P.T. y Rodríguez-Romero, A.S. "Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de dos cultivares de platanera micropropagada", *Infomusa*, vol. 11, no. 1, 2002, pp. 25-28, ISSN 1729-0996.
21. Usuga, O.C.E.; Castañeda, S.D.A. y Franco, M.A. "Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (HMA) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (*Musaceae*)", *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, vol. 61, no. 1, junio de 2008, pp. 4279-4290, ISSN 0304-2847.
22. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, p. 93, ISBN 978-959-7023-77-7.
23. Paneque, P.V.M.; Calaña, N.J.M.; Calderón, V.M.; Borges, B.Y.; Hernández, G.T.C. y Caruncho, C.M. *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*, edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2010, p. 153, ISBN 978-959-7023-51-7.
24. Marrero, Y.; Rivera, R.; Plana, R.; Simó, J. y Ruiz, L. "Influencia del laboreo sobre el manejo de la simbiosis micorrízica efectiva en una secuencia de cultivos sobre un suelo Pardo con Carbonatos", *Cultivos Tropicales*, vol. 29, no. 2, junio de 2008, pp. 11-15, ISSN 0258-5936.
25. Gerdemann, J.W. y Nicolson, T.H. "Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting", *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 46, no. 2, junio de 1963, pp. 235-244, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(63)80079-0.
26. Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT) *Instructivo técnico para la producción de viandas. Primera edición. Producción de semillas por método biotecnológico*, 1.ª ed., edit. INIVIT, La Habana, Cuba, 2012, p. 121-122, ISBN 978-959-295-006-1.
27. Phillips, J.M. y Hayman, D.S. "Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection", *Transactions of the British Mycological Society*, vol. 55, no. 1, agosto de 1970, pp. 158-168, ISSN 0007-1536, DOI 10.1016/S0007-1536(70)80110-3.
28. Giovannetti, M. y Mosse, B. "An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots", *New Phytologist*, vol. 84, no. 3, 1 de marzo de 1980, pp. 489-500, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
29. *IBM SPSS Statistics* [en línea], versión 11.5, [Windows], edit. IBM Corporation, U.S, 2011, Disponible en: <http://www.ibm.com>.
30. Borie, F.; Rubio, R.; Morales, A.; Curaqueo, G. y Cornejo, P. "Arbuscular mycorrhizae in agricultural and forest ecosystems in Chile", *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 10, no. 3, julio de 2010, pp. 185-206, ISSN 0718-9516, DOI 10.4067/S0718-95162010000100001.
31. Medina, A. y Azcón, R. "Effectiveness of the application of arbuscular mycorrhiza fungi and organic amendments to improve soil quality and plant performance under stress conditions", *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 10, no. 3, julio de 2010, pp. 354-372, ISSN 0718-9516, DOI 10.4067/S0718-95162010000100009.
32. Saldanha, de O.A.E.; Sá, J.R. de.; Medeiros, J.F. de.; Nogueira, N.W. y da Silva, K.J.P. "Interação da adubação organo-mineral no estado nutricional das plantas (Mossoró - RN - Brasil)", *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 5, no. 3, 2010, ISSN 1981-8203, [Consultado: 12 de junio de 2015], Disponible en: <http://gva.com.br/revista/index.php/RVADS/article/download/305/305>.
33. Ramírez, M.M. "Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos", *Revista Corpoica*, vol. 5, no. 1, 2004, ISSN 0122-8706, [Consultado: 12 de junio de 2015], Disponible en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/archivos/revista/4micorizasemaiz_pp31-40_revcorpo_v5n1.pdf>.

34. Pérez, C.A.; Botero, L.C. y Cepero, G.M. "Diversidad de micorrizas arbusculares en pasto colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L.) A. Camus de fincas ganaderas del municipio de Corozal-Sucre", *Revista MVZ Córdoba*, vol. 17, no. 2, agosto de 2012, pp. 3024-3032, ISSN 0122-0268.
35. Cruz, H.Y.; García, R.M.; Hernández, M.J.M. y León, G.Y. "Influencia de las micorrizas arbusculares en combinación con diferentes dosis de fertilizante mineral en algunas características morfológicas de las plántulas de tabaco", *Cultivos Tropicales*, vol. 33, no. 3, septiembre de 2012, pp. 23-26, ISSN 0258-5936.
36. Ramos, H.L.; Reyna, G.Y.; Lescaille, A.J.; Telo, C.L.; Arozarena, D.N.J.; Ramírez, P.M. y Martín, A.G.M. "Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana", *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 1, marzo de 2013, pp. 05-10, ISSN 0258-5936.
37. Sánchez, E.C.; Rivera, E.R.; Caballero, B.D.; Cupull, S.R.; Gonzalez, F.C. y Urquiaga, C.S. "Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados", *Cultivos Tropicales*, vol. 32, no. 3, 2011, pp. 11-17, ISSN 0258-5936.
38. Martín, G.M.; Rivera, R.; Arias, L. y Rentería, M. "Efecto de la *Canavalia ensiformis* y micorrizas arbusculares en el cultivo del maíz", *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 43, no. 2, 2009, pp. 191-199, ISSN 2079-3472.
39. Hoffmann, R.B.; Oliveira, F. de.; Souza, A. de.; Gheyi, H.R. y Souza Júnior, R. de. "Acúmulo de matéria seca e de macronutrientes em cultivares de bananeira irrigada", *Revista Brasileira de Fruticultura*, vol. 32, 2010, pp. 268-275, ISSN 1806-9967.

Recibido: 14 de abril de 2014

Aceptado: 8 de diciembre de 2014

¿Cómo citar?

Simó González, J. E.; Ruiz Martínez, L. A. y Rivera Espinosa, R. "Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular y el suministro de nutrientes en plantaciones de banano cv. 'FHIA-18' (*Musa AAAB*) en suelo Pardo mullido carbonatado" [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 43-54. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.



EFECTO DEL PECTIMORF® EN EL CULTIVO DE ÁPICES DE PLANTAS *In Vitro* DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz), CLONES 'CMC-40' Y 'SEÑORITA'

Effect of the Pectimorf® in meristem tip *in vitro* culture cassava (*Manihot esculenta* Crantz), clone 'CMC-40' and 'Señorita'

Lorenzo Suárez Guerra[✉] y María M. Hernández Espinosa

ABSTRACT. The development of more efficient and more sustainable methodologies in the material obtaining yuca (*Manihot esculenta* Crantz) *in vitro*, the improvement of the quality of the seed and vegetable material sanitation, are the objectives of this work to evaluate the effectiveness of Pectimorf® (mixture of oligogalacturonides), innocuous and natural substance taken place in Cuba, to be used as possible complement or substitute of the growth regulators used traditionally in the propagating medium of yuca meristem tip. It was demonstrated that Pectimorf® in the means of cultivation, possible to establish *in vitro* of the meristem tip cultivation in yuca clones 'CMC-40' and 'Señorita' and it stimulated the explant growth too. The results contribute to understand the mechanisms of action of this substance and their future application *in vitro* plant resorts in Cuba.

Key words: micropropagation, oligosaccharides, cultivation medium, meristems

RESUMEN. El desarrollo de metodologías más eficientes y sostenibles en la obtención de material *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), favorece al mejoramiento de la calidad de la semilla y el saneamiento del material vegetal, por ello se trazó como objetivo evaluar la efectividad del Pectimorf® (mezcla de oligogalacturónidos), sustancia inocua y natural producida en Cuba, a emplearse como posible complemento o sustituto de los reguladores del crecimiento empleados tradicionalmente en el medio de cultivo para el crecimiento de ápices meristemáticos de yuca. Se demostró que el Pectimorf® en el medio de cultivo, posibilitó el establecimiento *in vitro* de los ápices en clones de yuca 'CMC-40' y 'Señorita' y favoreció el crecimiento de los explantes. Los resultados contribuyen al esclarecimiento de los mecanismos de acción de esta sustancia y su aplicación futura en las unidades de propagación masiva de plantas del país.

Palabras clave: micropropagación, oligosacáridos, medio de cultivo, meristemas

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo muy versátil, plantado por pequeños campesinos en más de 100 países (1), como alimento, tiene la facilidad de deshidratarse y almacenarse durante varios años (2). La producción mundial de yuca en el año 2012 alcanzó los 282 millones de toneladas, lo que representó un incremento del 7 % con respecto al volumen del 2011. Las perspectivas futuras apuntan a una continua expansión de la producción de yuca, pues continúa siendo un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria en el alivio de la pobreza (1).

En Cuba, este cultivo constituye un valioso alimento desde la época de los aborígenes y forma parte del surtido de raíces y tubérculos que el pueblo cubano denomina viandas. Es un componente importante en la dieta tradicional básica de la población; además, en la dieta animal, donde también se emplea su follaje, tanto en los bancos de proteína para la ganadería como en la confección de concentrados para la alimentación de cerdos y aves. Según el Ministerio de la Agricultura (3), la Proyección estratégica (2010- 2015) previó un incremento en superficie y rendimientos del cultivo durante los próximos años. Para cumplir este reto es imprescindible aumentar los volúmenes de semillas demandados por los agricultores cubanos.

Dentro de la estrategia varietal nacional, definida por el Instituto de Investigaciones en Viandas Tropicales (INIVIT), se encuentran los clones 'CMC-40' y 'Señorita'. El primero tiene la particularidad de que

Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.

✉ lguerra@inca.edu.cu

su ciclo es corto (de 6-10 meses) y tiene una alta productividad; mientras que el clon 'Señorita' es de ciclo largo, más de 10 meses, pero se destaca por su excelente calidad culinaria.

Este cultivo se propaga vegetativamente y su multiplicación es generalmente tediosa y lenta (4). Los agricultores cubanos han perpetuado esta vianda al utilizar semillas asexuales (estacas o pedazos de tallos) en siembras repetidas, lo que constituye un riesgo, debido a que es posible diseminar plagas^A, por lo que la obtención de material de plantación de alta calidad constituye una necesidad básica para nuestros productores en la expansión del cultivo.

La baja disponibilidad de material certificado de semilla de yuca (*Manihot esculenta* C.) en el país, similar al resto de los cultivos de reproducción agámica, pudiera solucionarse mediante la aplicación de las técnicas de cultivo *in vitro*. Según plantean diferentes autores^B (5, 6), estas ofrecen múltiples ventajas como recuperar el vigor y la productividad de las plantas. De igual forma puede contribuir a la producción de grandes volúmenes de 'semilla' de alta calidad, así como también permite la propagación de plantas libres de virus y de cualquier otro patógeno.

El desarrollo de métodos eficientes y rápidos de regeneración de plantas de yuca mediante el cultivo *in vitro* de tejidos, ya sea por embriogénesis somática^A (7, 8, 9) u organogénesis^{C, D} (10), generalmente resultan exigentes en cuanto a la composición del medio de cultivo, especialmente en lo referente al empleo de reguladores del crecimiento, por lo que sería importante lograr el empleo de productos bioactivos de producción nacional en la propagación *in vitro* de la yuca (*Manihot esculenta* C.), como alternativa para mejorar la eficacia económica del proceso; entre estos productos bioactivos puede citarse el Pectimorf[®], elaborado por el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Mayabeque, Cuba^E.

^A Medero, V. *Embriogénesis somática en yuca (Manihot esculenta Crantz)* [Tesis de Doctorado], Universidad de Ciego de Ávila, 2006.

^B García, G.; Magaly, V. y Rodríguez Morales, S. "Effect of meristem culture micropropagation on the vigor and yield of the cassava clone «Señorita»." [en línea], (eds. Roca, W.M. y Thro, A.M.), *Proceedings of the First International Scientific Meeting of the Cassava Biotechnology Network*, edit. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cartagena, Colombia, 1993, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=catalco.ormato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=007899>>.

^C Dawit, B. *Micropropagation of Selected Cassava Varieties (Manihot esculenta Crantz) from Meristem Culture* [Master Science Thesis], Addis-Abeba University, 2009, 36 p.

^D Medero, V.; Rodríguez, S.; Borroto, C.; Gómez, R.; López, J.; de Fera, M.; García, M.; Ventura, J.; del Sol, L.; Cabrera, M.; Pons, C.; Cortés, C.; Martínez, M.; Álvarez, M. y García, J. *Sistema de inmersión temporal para producción intensiva de material de siembra de yuca*, [3], Continente yuquero. Informativo del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la investigación y Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA), 2001, pp. 10-11.

^E Izquierdo, H. *Empleo de nuevas sustancias como reguladores del crecimiento en la micropropagación del banano (Musa spp) clon «FHIA-18» (AAAB)* [Tesis de Doctorado], Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque, Cuba, 2013, 87 p.

El Pectimorf[®] es un producto natural e inocuo, constituido por una mezcla de oligosacáridos biológicamente activos, obtenidos a partir de la pectina cítrica, cuyo principio activo es una mezcla de α -1,4-oligogalacturónidos con grado de polimerización (GP) entre 9 y 16 (11). Es considerado un potente elicitador de defensa en plantas (12, 13) y estimulante del crecimiento y diferenciación celular de diferentes especies vegetales^E (14).

La respuesta de esta mezcla de oligogalacturónidos (OG), cuyo efecto es similar al de las auxinas o citoquininas, puede estar dada principalmente al balance hormonal del explante y de la composición de reguladores del crecimiento en el medio de cultivo; además, regulan entre otros procesos, la interacción entre auxinas, citoquininas, giberelinas y etileno, lo cual valida a esta sustancia como una alternativa promisoriosa en la biotecnología vegetal cubana (15, 16).

Sin embargo, hasta el momento no se conoce el efecto que provoca el Pectimorf[®] en el cultivo *in vitro* de ápices meristemáticos de yuca (*Manihot esculenta* C.), clones 'CMC-40' y 'Señorita', es posible la sustitución total o parcial de ANA (ácido naftalenacético) y 6-BAP (6-bencilaminopurina), reguladores empleados tradicionalmente en los medios de cultivo para esta etapa, por el Pectimorf[®].

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Biotecnología del Departamento de Genética y Mejoramiento de Plantas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), ubicado en el municipio San José de Las Lajas, provincia Mayabeque.

MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron dos clones procedentes del banco de germoplasma cubano de yuca, perteneciente al Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Santo Domingo, Villa Clara, con características contrastantes en cuanto a ciclo, productividad y otros caracteres morfoagronómicos.

CARACTERÍSTICAS DEL CLON 'CMC-40'

Plantas de porte semi-erecto, con más de dos ramificaciones. Tallos de color marrón oscuro, follaje joven verde-rojizo, pecíolos rojos, hojas adultas verdes, hojas jóvenes rosadas, hojas 5-7 lóbulos simples, pecíolos inclinados hacia arriba, de forma irregular. Posee más de 10 raíces por planta, de superficie rugosa y crecimiento oblicuo, sésiles, cónicas o cilíndricas, de color castaño oscuro la película externa, corteza rosada y pulpa blanca. Dentro de sus principales características se destacan su alta productividad y ciclo corto (de 6-10 meses).

CARACTERÍSTICAS DEL CLON 'SEÑORITA'

Plantas de porte erecto, no ramificadas o poco ramificadas. Tallo muy vigoroso y de entrenudos cortos. Tallo verde amarillo, con yemas de color amarillo-rosado, hojas verdes con los nervios y pecíolos ligeramente rosados en adultas, en las hojas jóvenes los pecíolos son rojos por la parte superior y verde-rojo por la parte inferior. Posee raíces cortas y de color blanco, cada planta produce un promedio de 8–12, bastante superficiales, lo cual facilita la cosecha. El ciclo es largo, más de 10 meses. En este clon se destaca su excelente calidad culinaria.

Se tomaron estacas de 15-20 cm de longitud de plantas adultas de los clones antes mencionados y se plantaron en macetas de 14 cm de diámetro superior y una altura de 10 cm, que contenían un sustrato compuesto por una mezcla en volumen de 25 % de materia orgánica (cachaza descompuesta) y 75 % de suelo Ferralítico Rojo compactado (17), en una relación 1:2 v/v. Los brotes crecieron en umbráculo con estructura metálica, paredes de tela antiáfidos, techo de nylon con cubierta de malla de sombra negra de polipropileno (30 %) y piso de cemento. El riego se realizó periódicamente (dos veces/semana), a fin de mantener la humedad en el sustrato por encima del 85 %.

Cuatro semanas después de la plantación, se cortaron brotes de las estacas de los clones antes mencionados y se dividieron en secciones de 3 a 5 cm de longitud con dos yemas; los que se llevaron al laboratorio.

PREPARACIÓN Y DESINFECCIÓN DE LOS EXPLANTES

Los explantes fueron desinfectados según la metodología propuesta por Medero^A. En la cabina de flujo laminar se extrajo ápices meristemáticos de 0,5-0,7 mm de longitud con el empleo de un estereomicroscopio marca CARLZEISS con aumento de (4X). Posteriormente, los ápices meristemáticos

fueron establecidos en tubos de ensayo (25/150 mm) con 20 mL de medio sólido. Se utilizó el medio basal MS (Murashige y Skoog, 1962) (18), además tiamina (1 mg L⁻¹), mioinositol (100 mg L⁻¹), sacarosa (20 mg L⁻¹) y agar (6,5 mg L⁻¹) como agente gelificante. Transcurridos 21 días se extrajo el ápice de las plantas *in vitro* obtenidas, de tamaño 0,8-1,0 mm de longitud con el empleo del estereomicroscopio marca CARLZEISS con aumento de (4X). Se utilizó un total de 15 explantes por tratamiento para cada cultivar.

Fueron empleadas diferentes concentraciones de Pectimorf[®] como sustituto y complemento de los reguladores del crecimiento ANA (ácido naftalenacético) y 6-BAP (6- bencilaminopurina) empleados en el medio control para el crecimiento y desarrollo de ápices meristemáticos de yuca. Se mantuvo en todos los casos el Ácido giberelico (AG₃) para facilitar la elongación de los segmentos nodales. La Tabla I muestra las características de cada tratamiento.

REGULADORES DEL CRECIMIENTO

- ♦ Ácido naftalenacético (ANA): reactivo procedente de Merck
- ♦ Ácido giberelico (AG₃): reactivo procedente de Merck
- ♦ 6 bencilaminopurina (6-BAP): reactivo procedente de Merck
- ♦ Pectimorf[®]: procedente del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Mayabeque, Cuba.

CONDICIONES DE CULTIVO

La esterilización se llevó a cabo en autoclave, durante 20 minutos a 121 °C con 1.5 atmósferas de presión. El material vegetal fue colocado en cámaras de cultivo con temperatura de 25 ± 2 °C, humedad relativa de 80-90 % y luz artificial con un fotoperiodo de 16 horas luz, con una intensidad luminosa de 18,75 μmol m⁻² s⁻¹.

Tabla I. Tratamientos empleados para el establecimiento *in vitro* de ápices de yuca (*Manihot esculenta* C.), clones 'CMC-40' y 'Señorita'.

Tratamientos	ANA (mg L ⁻¹)	AG ₃ (mg L ⁻¹)	BAP (mg L ⁻¹)	Pectimorf [®] (mg L ⁻¹)
1 (control)	0,02	0,05	0,04	-
2	-	0,05	-	-
3	-	0,05	0,04	5
4	-	0,05	0,04	10
5	-	0,05	0,04	15
6	0,02	0,05	-	5
7	0,02	0,05	-	10
8	0,02	0,05	-	15
9	0,02	0,05	0,04	5
10	0,02	0,05	0,04	10
11	0,02	0,05	0,04	15
12	-	0,05	-	5
13	-	0,05	-	10
14	-	0,05	-	15

El pH de los medios de cultivo fue ajustado a 5,7 en todos los casos, previo a la adición del Agar.

Al cabo de los 21 días se realizaron las siguientes observaciones: altura (cm), se midió con una regla graduada desde la base del tallo hasta la parte superior del follaje; número de hojas: se realizó un conteo individual de las hojas por vitroplanta; número de raíces: se contó el número de raíces totales por vitroplanta; coloración de los brotes: se determinó con la ayuda del código de colores hexadecimal^F.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con 10 explantes por tratamiento, los experimentos se repitieron dos veces en tiempo y los datos obtenidos de las observaciones altura, número de hojas y raíces fueron procesados estadísticamente mediante un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA completamente aleatorizado) y las medias se compararon según la prueba de Duncan ($p \leq 0,05$). Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS sobre Windows (19). En todos los casos, previamente se chequeó la distribución normal y la homogeneidad de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la primera semana de establecidos, se observaron algunas alteraciones en el color y la morfología de los ápices en los tratamientos donde se empleó el Pectimorf[®], presumiblemente debido al aumento de la velocidad de crecimiento o división celular en esta primera fase. A pesar de ello, los ápices presentaron una coloración verde lima (32CD32) y a partir de los restantes días continuaron su crecimiento normalmente.

Como se observa en la Tabla II hubo diferencias significativas entre los tratamientos, mostrando una respuesta diferenciada de las variables en ambos clones. En cuanto a la altura de las vitroplantas, en el clon 'CMC- 40', el tratamiento 3, con 5 mg L⁻¹ de Pectimorf[®] en sustitución de ANA, donde alcanzó el mayor valor de altura de 2,88 cm sin diferencias significativas con el control que contenía ANA y BAP, ni de los tratamientos 6 y 7 donde se añadió el Pectimorf[®] a 5 y 10 mg L⁻¹ respectivamente en presencia de ANA y sustitución del BAP. Los resultados indican que el producto logró compensar el efecto de la auxina (ANA) en ausencia de esta en el medio; sin embargo, no se produjo un efecto depresivo (antagónico) marcado cuando estuvo presente.

En el clon 'Señorita' los máximos valores de altura se obtuvieron en los tratamientos 6 y 7, donde se empleó el Pectimorf[®] en presencia de ANA y AG₃ a las concentraciones de 5 y 10 mg L⁻¹, los cuales no difirieron estadísticamente entre ellos y alcanzaron valores por encima de los 2 cm de altura;

ambos tratamientos no difirieron del tratamiento control, tratamiento 3 (6-BAP + 5 mg L⁻¹ Pectimorf[®]) y del tratamiento donde se empleó el Pectimorf[®] en presencia de ANA a la concentración de 15 mg L⁻¹. En este caso fue necesaria la presencia de ANA + Pectimorf[®], donde el producto tuvo un efecto similar a las citoquininas al suplir la ausencia de BAP y estimular el crecimiento de los ápices de yuca.

El efecto de las citoquininas en el crecimiento y la morfogénesis *in vitro* es importante pues se considera que si la relación auxina/citoquinina en el medio de cultivo es baja, favorece la formación de tallos y lo contrario promueve el enraizamiento (20, 21). Este balance está determinado por las concentraciones endógenas de auxinas y citoquininas presentes en el explante. Usualmente en los ápices la citoquinina endógena es baja debido a que el principal sitio de síntesis son las raíces, por lo que la adición exógena en el medio de cultivo favorece el crecimiento de los meristemas.

Para este carácter podemos plantear que el tratamiento 3, donde se sustituyó el ANA por 5 mg L⁻¹ Pectimorf[®] fue capaz de estimular el crecimiento de los meristemas en 'CMC-40'; aunque sin diferir de otros; sin embargo, el clon 'Señorita' requirió la presencia de la auxina y concentraciones de 5 y 10 mg L⁻¹ de Pectimorf[®] tratamiento^B (5), lo que hace pensar que el contenido endógeno de auxinas en este clon es inferior, por lo que se necesita su adición exógena para lograr el balance apropiado para el crecimiento de los ápices.

Para el número de hojas, en el clon 'CMC-40', cuando se utilizó el Pectimorf[®] en la concentración de 15 mg L⁻¹ de Pectimorf[®], en presencia de ambos reguladores, las vitroplantas alcanzaron 5,5 hojas sin diferenciarse estadísticamente del tratamiento 3 (en ausencia de ANA y 5 mg L⁻¹ de Pectimorf[®]), pero sí del resto de los tratamientos. Las hojas desarrolladas en el tratamiento 3, tenían una coloración verde bosque (228B22), lo cual no ocurrió en el tratamiento 11 (ANA, BAP, AG₃ y 15 mg L⁻¹ de Pectimorf[®]), ya que estas fueron de color amarillo (FFFF00). Es muy probable que haya ocurrido un desbalance hormonal que trajo consigo alteraciones en la síntesis de pigmentos relacionados con la clorofila.

En el clon 'Señorita', los máximos valores en cuanto al número de hojas se obtuvieron en los tratamientos 6, 7 y 14, los cuales no difirieron estadísticamente entre ellos, ni con el resto de los tratamientos empleados excepto del tratamiento 2, correspondiente al medio sin reguladores del crecimiento (ANA, BAP) ni Pectimorf[®], en el cual las hojas tenían un color amarillo (FFFF00) también presente en los tratamientos 9, 10 y 11. En el resto de los tratamientos las hojas fueron de color verde primavera (00FF7F).

^FNombres de colores hexadecimales [en línea], [Consultado: 20 de septiembre de 2015], Disponible en: <<http://www.disfrutalasmaticas.com/numeros/hexadecimales-colores-nombres.html>>.

Tabla II. Efecto del Pectimorf® sobre variables morfológicas de ápices *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* C.), clones 'CMC-40' y 'Señorita' cultivados durante 21 días (n=20).

Tratamientos	CMC- 40				Señorita			
	Altura (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Color	Altura (cm)	Número de hojas	Número de raíces	Color
1 (Control)	2,00 ab	2,8 bc	2,8 abc	verde bosque (228B22)	1,12 ab	2,0 ab	1,8 ab	verde bosque (228B22)
2	0,76 b	1,66 c	1,4 bc	amarillo (FFFF00)	0,42 b	1,0 b	0,2 d	amarillo (FFFF00)
3	2,88 a	4,0 ab	4,75 a	verde bosque (228B22)	1,34 ab	3,2 ab	3,2 ab	verde bosque (228B22)
4	0,77 b	2,0 c	1,80 bc	verde bosque (228B22)	0,6 b	2,2 ab	1,0 bc	verde lima (32CD32)
5	0,85 b	2,0 c	0,75 bc	verde bosque (228B22)	0,4 b	1,8 ab	0,4 cd	verde lima (32CD32)
6	2,12 ab	2,60 bc	3,6 ab	verde lima (32CD32)	2,08 a	3,6 a	2,4 ab	verde lima (32CD32)
7	2,37 ab	2,75 bc	3,5 ab	amarillo verde (ADFF2F)	2,18 a	3,6 a	4,0 a	verde lima (32CD32)
8	1,02 ab	2,5 bc	1,5 bc	amarillo verde (ADFF2F)	1,10 ab	2,6 ab	3,4 ab	verde lima (32CD32)
9	1,20 ab	4,0 ab	3,0 abc	amarillo (FFFF00)	0,8 b	2,6 ab	3,0 ab	amarillo (FFFF00)
10	1,35 ab	4,0 ab	3,5 ab	amarillo (FFFF00)	0,64 b	3,0 ab	2,2 ab	amarillo (FFFF00)
11	1,17 ab	5,5 a	2,0 abc	amarillo (FFFF00)	0,72 b	2,0 ab	1,6 ab	amarillo (FFFF00)
12	0,72 b	2,0 c	1,0 bc	verde bosque (228B22)	0,66 b	1,6 ab	2,0 ab	verde bosque (228B22)
13	1,02 ab	2,25 bc	1,2 bc	verde bosque (228B22)	0,76 b	1,8 ab	1,8 ab	verde bosque (228B22)
14	1,22 ab	1,75 c	0,4 c	verde bosque (228B22)	0,56 b	3,4 a	2,4 ab	verde bosque (228B22)
ES	0,41*	0,40**	0,59**		0,43*	0,46**	0,58***	

Tratamiento 1: ANA+AG₃+BAP, tratamiento 2: sin presencia de reguladores (ANA; BAP)+AG₃, tratamiento 3: AG₃+BAP+5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 4: AG₃+BAP+10 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 5: AG₃+BAP+15 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 6: ANA+AG₃+5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 7: ANA+AG₃+10 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 8: ANA+AG₃+15 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 9: ANA+AG₃+BAP+5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 10: ANA+AG₃+BAP+10 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 11: ANA+AG₃+BAP+15 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 12: AG₃+5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 13: AG₃+10 mg L⁻¹ Pectimorf® y tratamiento 14: AG₃+15 mg L⁻¹ Pectimorf®. Medias con letras distintas difieren estadísticamente, según la prueba de Duncan (p≤0,05)(* significativo para p<0,1; **significativo para p<0,01; ***significativo para p<0,001).

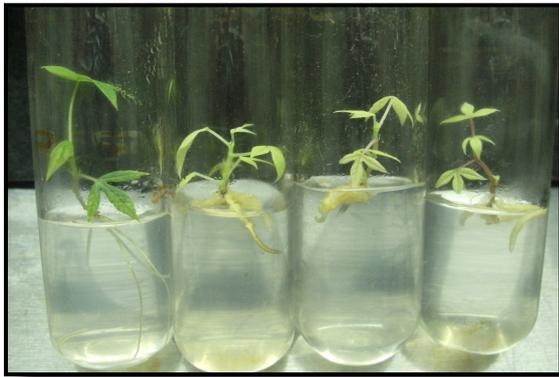
En el clon 'CMC-40' el mejor tratamiento para el número de raíces fue el 3, que contenía 6-BAP y 5 mg L⁻¹ Pectimorf®, sin diferencias significativas con el control ni con los tratamientos 6, 7, 9, 10 y 11 que contenían ANA y 5 y 10 mg L⁻¹ de Pectimorf® respectivamente, en el caso de los dos primeros y ANA y BAP con 5, 10 y 15 mg L⁻¹ de Pectimorf® en el caso de los tres últimos. Al parecer, esta variable no dependió de las concentraciones exógenas para la movilización de las auxinas en la formación de raíces.

En el número de raíces para el clon 'Señorita' el mayor valor fue el tratamiento 7, con ANA y 10 mg L⁻¹ de Pectimorf®, sin diferencias significativas con los tratamientos que contenían 0,02 mg L⁻¹ de ANA

en todas las concentraciones de Pectimorf®, ni del tratamiento control en presencia de ANA y BAP y de los tratamientos 12, 13 y 14 sin ANA y BAP con las otras concentraciones de Pectimorf®.

Se observó que las concentraciones ensayadas de este producto contribuyeron, en gran medida, al desarrollo del sistema radicular.

En la Figura 1, se observa un engrosamiento de las raíces, lo cual podría ocurrir producto del desbalance hormonal auxina/citoquinina, que pudo producir un exceso en los niveles endógenos del explante y al interactuar con el AG₃ influyó en el engrosamiento de este órgano en ambos clones, este suceso no ocurrió en el resto de los tratamientos.



La imagen es significativa para el clon 'Señorita'. (de izquierda a derecha tratamiento control, tratamiento 9: 0,02 mg L⁻¹ ANA+0,05 mg L⁻¹ AG₃+ 0,04 mg L⁻¹ 6-BAP+ 5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 10: 0,02 mg L⁻¹ ANA+0,05 mg L⁻¹ AG₃+ 0,04 mg L⁻¹ 6-BAP+ 10 mg L⁻¹ Pectimorf® y tratamiento 11: 0,02 mg L⁻¹ ANA+0,05 mg L⁻¹ AG₃+ 0,04 mg L⁻¹ 6-BAP+ 15 mg L⁻¹ Pectimorf®).

Figura 1. Efecto del Pectimorf® como complemento de ANA y 6-BAP sobre el crecimiento de ápices de yuca (*Manihot esculenta* C.), clon CMC-40 a los 21 días de cultivo.

La rizogénesis *in vitro* es un proceso complejo en el que se debe profundizar, ya que influyen múltiples factores entre los que se encuentran la composición del medio de cultivo y el origen del explante inicial (especie, genotipo y edad fisiológica).

Al parecer la rizogénesis es un proceso menos afectado en la yuca por la presencia de reguladores en el medio de cultivo, ya que en los tratamientos donde se empleó Pectimorf® como sustituto total de los reguladores ANA y BAP^D (7, 10) se obtuvieron los peores resultados en el clon 'CMC-40'; sin embargo, la ausencia de dichos reguladores afectó en menor medida al clon 'Señorita', ya que estos tratamientos obtuvieron medias superiores al clon 'CMC-40', fundamentalmente en las concentraciones 10 y 15 mg L⁻¹ Pectimorf® y la coloración fue verde bosque (228B22) (Figura 2). En esta figura se observa que la coloración de las hojas fue amarillo (FFFF00) para ambos clones en el tratamiento 2, correspondiente al medio libre de los reguladores del crecimiento ANA y 6-BAP y sin Pectimorf, al parecer la presencia de AG₃ no es suficiente para activar los mecanismos fisiológicos que promuevan una respuesta en la formación de algunos pigmentos de las hojas, como sobre la altura de los brotes.

La acción de las giberelinas va dirigido principalmente sobre el crecimiento de los entrenudos, eliminar la dormancia de yemas y semillas, inducir y acelerar la floración e intervenir en la tuberización (22, 23).

Sin embargo, otros autores demostraron un efecto sinérgico del Pectimorf® con AIA (24), que repercutió en el incremento del porcentaje de germinación de cápsulas

de semilla artificial de caña de azúcar, sin reacción en la interacción del oligosacárido con la giberelina, aunque en el tratamiento donde se combinaron el Pectimorf® con ambos reguladores del crecimiento (AIA y GA₃) fue donde se logró el mayor número de plantas.



La imagen es significativa para el clon 'Señorita'. (de izquierda a derecha tratamiento control, tratamiento 2: libre de reguladores del crecimiento ANA y 6-BAP, excepto 0,05 mg L⁻¹ AG₃, tratamiento 12: 5 mg L⁻¹ Pectimorf®, tratamiento 13: 10 mg L⁻¹ Pectimorf® y tratamiento 14: 15 mg L⁻¹ Pectimorf®).

Figura 2. Efecto del Pectimorf® como sustituto total hormonal de auxinas y citoquininas sobre el crecimiento de ápices de yuca (*Manihot esculenta* C.). cv 'CMC-40' de 21 días de cultivo.

En el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* C.) son numerosos los autores que emplean como reguladores del crecimiento en los protocolos de micropropagación, la auxina ácido naftalenacético (ANA) y la citoquinina bencilaminopurina (6-BAP), para lograr una mayor eficiencia del proceso (9, 10).

Los oligogalacturónidos también se emplean en diferentes procesos biotecnológicos como: crecimiento de plántulas de yuca (*Manihot esculenta* C.) (24), cultivo de embriones de *Citrus macrophylla* W^G, cultivo de brotes de malanga (*Colocassia* spp) (25), formación de callos embriogénicos de mandarina 'Cleopatra' (*Citrus reshni* Hort. ex Tan) (16) y ápices meristemáticos de bananos (*Musa* spp.)^E.

Son numerosos los trabajos que corroboran que Pectimorf® ejerce un efecto similar al de las auxinas, en el establecimiento *in vitro* de yemas de boniato (*Ipomea batata* L.) (26), quienes emplearon Pectimorf® (10 mg L⁻¹) en sustitución de ácido indol-3-acético (0,05 mg L⁻¹) y ácido giberélico (10 mg L⁻¹), donde fue posible el crecimiento de las yemas en todas las concentraciones empleadas de Pectimorf®.

^G Bao, L. Efecto del Pectimorf y diferentes brasinosteroides en la embriogénesis somática de *Citrus macrophylla* Wester [Tesis de Grado], Universidad de La Habana, La Habana, Cuba, 2009, 57 p.

En caña de azúcar (*Sacharum* spp.), en la fase de histodiferenciación de callos el mayor número de embriones y la mayor sincronía ocurrió en aquellas combinaciones en las cuales el 2,4-D se redujo a la mitad y a la concentración de 5 mg L⁻¹ del oligosacárido (27).

En la propagación *in vitro* del *Spathiphyllum* spp. (14) se observó que el tratamiento consistente en la reducción del 6-BAP a la mitad de la concentración a utilizar en el medio control (0,5 mg L⁻¹) y la adición de 10 mg L⁻¹ de Pectimorf® produjo la mayor cantidad de brotes en las plantas.

En el cultivar 'CMC-40' la inclusión del Pectimorf® a la concentración más baja (5 mg L⁻¹) en sustitución del ANA (0,02 mg L⁻¹), combinado con la citoquinina (6-BAP) (0,04 mg L⁻¹) resultó superior en altura, número de hojas y raíces, aunque sin diferencias del control; sin embargo, en el clon 'Señorita', se requirió la presencia del ANA (0,04 mg L⁻¹) y concentraciones de 5 y 10 mg L⁻¹ de Pectimorf® para alcanzar los mejores resultados de altura, número de hojas y raíces e incluso estos tratamientos repercutieron sobre el color de las hojas, lo cual evidenció que resultarían suficientes para promover la formación de pigmentos en las hojas. Teniendo en cuenta que, entre ambos tratamientos, en el caso de este clon no hubo diferencias significativas, pudiéramos emplear 5 mg L⁻¹ de Pectimorf® con 0,02 mg L⁻¹ ANA. Esta diferencia en el comportamiento de ambos clones, hace pensar que el contenido endógeno de auxinas en 'Señorita' fue inferior, por lo que resultó necesaria la adición exógena del Pectimorf® en presencia de esta en el medio para igualar los valores de los indicadores.

De estos resultados, es necesario resaltar que el empleo del Pectimorf® favoreció el establecimiento *in vitro* de ápices de yuca (*Manihot esculenta* C.) en los clones 'CMC-40' y 'Señorita'; sin embargo, su efecto no fue idéntico en ambos clones, lo cual demuestra la influencia del genotipo a la hora de establecer modificaciones en cualquier metodología, principalmente cambios en los reguladores del crecimiento y sus concentraciones en los medios de cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Departamento de Fisiología y Bioquímica, en especial a la Dra. Inés M. Reynaldo Escobar del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), provincia Mayabeque por facilitar el Pectimorf® y a la Tec. Miladys Sánchez Quintana, por ayudar en el montaje de los experimentos desarrollados en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ghanem, H. *The state of food insecurity in the world*. [en línea], (eds. Dawe, D., Stamoulis, K., y Wiebe, K.), edit. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division FAO, Rome, Italy, 2009, ISBN 978-92-5-106288-3, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/012/i0876e/i0876e00.htm>>.
- Nassar, N.M.A.; Junior, O.P.; Sousa, M.V. y Ortiz, R. "Improving Carotenoids and Amino-Acids in Cassava", *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, vol. 1, no. 1, 1 de enero de 2009, pp. 32-38, ISSN 2212-7984, 1876-1429.
- Pérez, J.L. "Proyección Estratégica hasta el 2015", *Programa Integral de los Cultivos Varios*, 1.ª ed., edit. Liliana, La Habana, Cuba, 2010, p. 95, ISBN 978-959-7111-55-9.
- Santana, M.A.; Romay, G.; Matehus, J.; Villardón, J.L. y Demey, J.R. "Simple and low-cost strategy for micropropagation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)", *African Journal of Biotechnology*, vol. 8, no. 16, 2009, ISSN 1684-5315, DOI 10.4314/ajb.v8i16.62061, [Consultado: 8 de septiembre de 2015], Disponible en: <<http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/62061>>.
- Medero, V.V.; Borroto, C.; Rodríguez, S.; Gómez, R.; López, J.; García, M.; Ventura, J.; Espinosa, J.; Cabrera, M.; Martínez, M.; Torres, M.; Torres, Y.; Álvarez, M. y García, J. "Embriogénesis somática a partir de meristemas axilares en yuca", *Biotechnología Vegetal*, no. 1, 2000, pp. 27-32, ISSN 2074-8647.
- Onuoch, C.I. y Onwubiku, N.J.C. "Micropropagation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) using different concentration of Benzylaminopurine (BAP)", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 2, no. 7, 2007, pp. 1229-1231, ISSN 1816-949x, 1818-7803.
- Li, H.-Q.; Sautter, C.; Potrykus, I. y Puonti-Kaerlas, J. "Genetic transformation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)", *Nature Biotechnology*, vol. 14, no. 6, junio de 1996, pp. 736-740, ISSN 1087-0156, DOI 10.1038/nbt0696-736.
- Medina, R.D.; Faloci, M.M.; Neffa, V.S. y Mroginski, L.A. "Embriogénesis somática y regeneración de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de cultivares de interés para Argentina", *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 32, no. 3, 2003, pp. 143-160, ISSN 0325-8718, 1669-2314.
- Ochoa, J.C.; Chavarriaga, P.; López, C. y others "Embriogénesis somática y producción de callo embriogénico friable de dos cultivares de yuca (*Manihot esculenta* Crantz)", *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. 14, no. 2, 2012, pp. 20-27, ISSN 0123-3475.
- Mapayi, E.F.; Ojo, D.K.; Oduwaye, O.A. y Porbeni, J.B.O. "Optimization of In-Vitro Propagation of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Genotypes", *Journal of Agricultural Science*, vol. 5, no. 3, 2013, p. 261, ISSN 1916-9760, DOI 10.5539/jas.v5n3p261.
- Cabrera, J.; Iglesias, R. y Hormaza, J. *Procedimiento de obtención de una mezcla de oligosacáridos pépticos estimuladora del enraizamiento vegetal*, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba, no. 155, 2003.

12. Hernández-Mata, G.; Mellado-Rojas, M.E.; Richards-Lewis, A.; López-Bucio, J.; Beltrán-Peña, E. y Soriano-Bello, E.L. "Plant Immunity Induced by Oligogalacturonides Alters Root Growth in a Process Involving Flavonoid Accumulation in *Arabidopsis thaliana*", *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 29, no. 4, 30 de mayo de 2010, pp. 441-454, ISSN 0721-7595, 1435-8107, DOI 10.1007/s00344-010-9156-x.
13. Galletti, R.; Ferrari, S. y Lorenzo, G.D. "Arabidopsis MPK3 and MPK6 Play Different Roles in Basal and Oligogalacturonide- or Flagellin-Induced Resistance against *Botrytis cinerea*", *Plant Physiology*, vol. 157, no. 2, 1 de octubre de 2011, pp. 804-814, ISSN, 1532-2548, DOI 10.1104/pp.111.174003, [PMID: 21803860].
14. Hernández, M.M.; Suárez, L. y Valcárcel, M. "Empleo del Pectimorf en la micropropagación de *Spathiphyllum* sp.", *Cultivos Tropicales*, vol. 30, no. 3, septiembre de 2009, pp. 56-58, ISSN 0258-5936.
15. Hernández, A.; Ascanio, M.O.; Morales, M. y León, A. *La historia de la clasificación de los suelos de Cuba*, edit. Félix Varela, La Habana, Cuba, 2006, p. 98, ISBN 959-07-0145-0.
16. Hernández, R.M.; Diosdado, E.; Coll, F. y Cabrera, J.C. "Efecto de los biorreguladores del crecimiento en la embriogénesis somática de mandarina Cleopatra (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.)", *Cultivos Tropicales*, vol. 31, no. 3, septiembre de 2010, pp. 00-00, ISSN 0258-5936.
17. Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D. y Castro, N. *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2015, p. 93, ISBN 978-959-7023-77-7.
18. Murashige, T. y Skoog, F. "A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures", *Physiologia Plantarum*, vol. 15, no. 3, 1962, pp. 473-497, ISSN 1399-3054.
19. *IBM SPSS Statistics* [en línea], versión 17, [Windows], edit. IBM Corporation, U.S., 2011, Disponible en: <http://www.ibm.com>.
20. Buchanan, B.B.; Gruissem, W. y Jones, R.L. *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*, 1.^a ed., edit. American Society of Plant Physiologists Rockville, MD, Maryland, USA, 22 de marzo de 2002, p. 1408, ISBN 978-0-943088-39-6.
21. Pernisová, M.; Klíma, P.; Horák, J.; Válková, M.; Malbeck, J.; Souček, P.; Reichman, P.; Hoyerová, K.; Dubová, J.; Friml, J. "Cytokinins modulate auxin-induced organogenesis in plants via regulation of the auxin efflux", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 106, no. 9, 2009, pp. 3609-3614, ISSN 0369-8211, 2250-1746.
22. Bari, R. y Jones, J.D.G. "Role of plant hormones in plant defence responses", *Plant Molecular Biology*, vol. 69, no. 4, 16 de diciembre de 2008, pp. 473-488, ISSN 0167-4412, 1573-5028, DOI 10.1007/s11103-008-9435-0.
23. Lalitha, N.; Kih, S.; Banerjee, R.; Chattopadhyaya, S.; Saha, A.K. y Bindroo, B.B. "High frequency multiple shoot induction and in vitro regeneration of mulberry (*Morus indica* L. cv. S-1635)", *International Journal of Advanced Research*, vol. 1, 2013, pp. 22-26, ISSN 2320-5407.
24. Suárez, L.; Cervone, F.; Hernández, M.M. y Sánchez, M. "Aclimatización de plántulas de yuca (*Manihot esculenta*). Aporte al estudio de los mecanismos de acción de Pectimorf", *IX Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal*, Ciego de Ávila, Cuba, 2013, ISBN 978-959-16-2045-3.
25. Hernández, M.M.; Suárez, L.; Castilla, Y.; González, M.E.; Valcárcel, M. y López, M. "Empleo de una mezcla de oligogalacturonidos en la micropropagación de la malanga (*Colocasia* sp.), var. «Camerum 14»", *XV Congreso Científico del INCA*, edit. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 2006, ISBN 959-7023-36-9.
26. González, O.; Falcón, A.; Hernández, M.; Iglesias, R.; Silva, J.J.; López, M.; Rodríguez, J.E.; Arias, L.; Cabrera, J.C. y Oliva, E. "Evaluación del efecto del Pectimorf® en el establecimiento in vitro de yemas axilares de boniato clon CEMSA 78-354", *Biotecnología Vegetal*, vol. 4, no. 2, 2004, pp. 115-119, ISSN 1609-1841, 2074-8647.
27. Cid, M.; González-Olmedo, J.L.; Lezcano, Y. y Nieves, N. "Influencia del Pectimorf sobre la calidad de la semilla artificial de la Caña de azúcar (*Saccharum* sp.)", *Cultivos Tropicales*, vol. 27, no. 1, 2006, pp. 31-34, ISSN 0258-5936, 1819-4087.

Recibido: 5 de enero de 2015

Aceptado: 11 de junio de 2015

¿Cómo citar?

Suárez Guerra, L. y Hernández Espinosa, M. M. "Efecto del Pectimorf® en el cultivo de ápices de plantas *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), clones 'CMC-40' y 'Señorita'" [en línea]. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. 4, pp. 55-62. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.



CAMBIOS EN LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO BAJO DIFERENTES COBERTURAS

Changes in organic carbon stocks in soils under different plant covers

José I. Bojórquez Serrano^{1✉}, Lucía A. Castillo Pacheco¹,
Alberto Hernández Jiménez², Juan D. García Paredes¹
y Alberto Madueño Molina¹

ABSTRACT. The reserve of organic carbon in soils and their changes over time is a current environmental issue, besides, the loss of soil organic carbon (SOC), that occur with the conversion of natural ecosystems to agricultural systems, contribute to emissions of greenhouse gases, to global warming and climatic change. The objective of this study was to evaluate the changes in SOC reserves under different plant covers that occur in the Mololoa river basin, in the state of Nayarit, Mexico. The analysis was performed by differences in time of sampling, using samples from the top 20 cm of the soil profile, coming from 13 soil profiles under different coverage: two with oak forest, two with pine forest, one under grass, one with avocado orchard and seven under sugarcane cropping. The soils under grass had the greatest reserve of SOC with 2,65 Mg ha⁻¹ año⁻¹, followed by: oak forest (0,40 and 0,47 Mg ha⁻¹ año⁻¹), pine forest (0,15 and 0,38 Mg ha⁻¹ año⁻¹) and avocado orchard (0,29 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Soils with sugarcane crop had a decrease in SOC (between 0, 12-0,84 Mg ha⁻¹ año⁻¹).

Key words: carbon capture, soil plant covers, carbon dioxide

RESUMEN. Las reservas de carbono orgánico en los suelos (COS) y sus cambios en el tiempo son un tema ambiental de actualidad, asimismo las pérdidas de COS que ocurren con la conversión de ecosistemas naturales a agrosistemas, contribuyen con emisiones a la atmósfera, al calentamiento global y el cambio climático. El objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios en las reservas de COS bajo diferentes coberturas de la cuenca del río Mololoa, Nayarit, México. El análisis de los cambios se realiza por diferencia en las reservas de COS en los primeros 20 cm de 13 perfiles de suelos con diferentes coberturas, dos en bosques de encino, dos en bosques de pino, uno en pastizal, uno en cultivo de aguacate y siete en terrenos cultivados con caña de azúcar. Las coberturas estables de bosque y pastizal generan ganancias en las reservas de COS; siendo el pastizal el que registra la mayor cantidad (2,65 Mg ha⁻¹ año⁻¹), seguido por el bosque de encino (0,40-0,47 Mg ha⁻¹ año⁻¹), el bosque de pino (0,15-0,38 Mg ha⁻¹ año⁻¹) y la arboleda de aguacate (0,29 Mg ha⁻¹ año⁻¹). Mientras que la cobertura de cultivo de caña de azúcar generó pérdidas en las reservas de COS, entre 0,12-0,84 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave: captura de carbono, cobertura del suelo, dióxido de carbono

INTRODUCCIÓN

El carbono orgánico del suelo es un tema actual de investigación. Se estima que las reservas de carbono orgánico del suelo constituyen las dos terceras partes de las reservas de carbono terrestre (1). Además, se conoce que con el cambio del uso de los suelos (CUS), se ha perdido gran cantidad de

este elemento, que ha sido emitido a la atmósfera en forma de CO₂, lo que contribuye, en gran medida, al enriquecimiento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y, en consecuencia, al cambio climático global (2, 3, 4, 5). Hay estimados que destacan que la conversión de ecosistemas naturales a agrosistemas, contribuyen con aproximadamente el 24 % de las emisiones mundiales de CO₂^A.

¹ Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo" CP 63190, Tepic, Nayarit, México.

² Instituto Nacional Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, CP 32700.
✉ iranbojorquez@hotmail.com

^A IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [en línea], (ed. ser. Pachauri, R.K. y Reisinger, A.), Geneva, Switzerland, 2007, p. 104, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_frontmatter.pdf>.

Por otra parte, el carbono orgánico del suelo es importante ya que como parte de la materia orgánica influye en las propiedades del suelo como la estructura, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración. Es decir, el cambio de uso de la tierra y la explotación agrícola continuada e intensiva, con aplicación de maquinarias y fertilizantes, provoca la pérdida de la materia orgánica y del carbono orgánico, que da lugar a la degradación de estas propiedades y disminuye la productividad de los suelos (6, 7, 8, 9).

Las pérdidas del carbono de los suelos en los últimos 200 años, debido a las actividades agrícolas, son del orden de 78 ± 12 Pg de C atmosférico (10). Este problema de las pérdidas de carbono en los suelos es más intenso en las regiones cálidas del planeta, por lo que las investigaciones edafológicas encaminadas a mantener un contenido adecuado de carbono en los suelos muy intemperizados, resultan importantes (11, 12, 13).

Por tanto, resulta imprescindible en primer lugar conocer cómo se encuentra el carbono orgánico en los diferentes suelos de los ecosistemas, como es su comportamiento con el cambio de uso de la tierra, sobre todo reservas en el suelo, en relación con las coberturas vegetales, con la finalidad de buscar formas de manejo agrícola adecuado que mantengan y enriquezcan este carbono en el suelo (14). El objetivo del presente trabajo es conocer los cambios que están ocurriendo en las reservas de carbono orgánico en suelos bajo diferentes coberturas estables y cuando se cultivan con caña de azúcar, teniendo como área de estudio la cuenca del río Mololoa, en Nayarit, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la cuenca del río Mololoa (570 km²), localizada en el centro del estado de Nayarit, México. Se localiza en la parte central del estado de Nayarit, entre las coordenadas geográficas 21° 43' 26" Latitud Norte, 104° 56' 46" Longitud Oeste y 21° 16' 12" Latitud Norte, 104° 43' 06" Longitud Oeste. Abarca 618 Km² y forma parte del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago.

Esta región reúne a 34 localidades y cerca del 40 % de la población de la Entidad, que dependen de este ecosistema para el abasto de agua dulce, alimentos vegetales (azúcar, maíz, arroz, hortalizas, aguacate y limón, principalmente) y de origen animal (bovinos, porcinos, aves y ovinos) y ofrece servicios que regulan el clima, el ciclo de nutrientes, además de sitios para el esparcimiento.

El ecosistema se caracteriza por su origen volcánico, con estructuras que delimitan el área de escurrimiento, los volcanes San Juan (el más alto con 2,240 m. s. n. m.), Coatepec, Tepetitlic, Sangangüey y la caldera de Tepic, todas ellas del Cuaternario y

desarrolladas sobre un basamento del Terciario. En medio de estas estructuras se forma un extenso valle (Matatipac) que atraviesa el río Mololoa, para después con dirección noroeste desembocar en el río Grande de Santiago. La cuenca presenta una forma alargada y asimétrica, con relieve y pendientes pronunciadas, es de tamaño intermedio y pendiente promedio de 39 % y abarca 127 micro cuencas (15).

El clima de esta región varía con la diversidad de los relieves, la mayor parte de las laderas de los volcanes y el valle es semicálido (76,84 % del total de la cuenca), en lo más alto de los volcanes es templado (1,46 %), y hacia la desembocadura del río, el clima es cálido subhúmedo (21,70 %). El área de estudio tiene régimen de lluvias en verano (junio a octubre), con un promedio anual de 1 274 mm, la temperatura media anual es de 22,4 °C, con máxima promedio de 29,3 °C en mayo y mínima de 16,4 °C en enero, la oscilación térmica es de 12,9 °C (16).

La zona estudiada tiene cinco paisajes geomorfológicos denudativos (sierra volcánica con laderas escarpadas del volcán San Juan, escudos volcánicos con calderas, sierra volcánica con estrato volcanes, lomeríos y superficies de lomeríos muy erosionados de la cuenca baja) y un paisaje acumulativo, el valle Matatipac (17). Por las características de los relieves se desarrollan suelos Andosoles, Alisoles, Luvisoles, Feozems, Regosoles y Gleysoles, los más extendidos son los Andosoles que se forman en los relieves más recientes, de perfil AC, a partir de depósitos cuaternarios de pómez y de cenizas del volcán San Juan; seguido de los Alisoles, que son suelos de perfil ABtC, más evolucionados, formados en relieves estables y más antiguos de materiales de rocas básicas del volcán Sangangüey (18).

Las principales coberturas del suelo son las tierras de cultivo (44 %), seguido de la vegetación natural (38 %); el resto son vegetación secundaria, construcciones y cuerpos de agua. Las principales comunidades vegetales son bosques de encino y de pino, distribuidos en las elevaciones mayores de los volcanes y con tasa de deforestación de 0,1 ha año⁻¹; y las selvas y pastizales, que se localizan en la parte baja de la cuenca, con ritmo de pérdida de 0,3 ha año⁻¹ (19).

A partir de bases de datos existentes^B y de perfiles de suelos descritos previamente (18, 20), se seleccionaron 13 sitios de muestreo: dos en bosques de encino, dos en bosques de pino, uno en pastizal, uno en cultivo de aguacate y siete en terrenos cultivados con caña de azúcar.

^B Conjunto de datos vectorial Edafológico escala 1: 250 000 Serie II (Continuo Nacional) [en línea], INEGI, [Consultado: 19 de junio de 2015], Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reconat/edafologia/vectorial_serieii.aspx>.