

## Utilización del Pectimorf® en el desarrollo de plantas *in vitro* procedentes de embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*)

Victoria García Fonseca<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0009-0001-3810-1777>

Misterbino Borges García<sup>2\*</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2052-7294>

Diana María Reyes Avalos<sup>3</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-2305-387X>

Leyanes García-Aguila<sup>4</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-9838-5505>

<sup>1</sup>Biofábrica Granma. Carretera a Santiago de Cuba km 5. Bayamo. Granma. Cuba. CP 85100.

<sup>2</sup>Centro de Estudios de Biotecnología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Granma. Carretera a Manzanillo km 17 ½ Peralejo, Apartado 21. Bayamo. Granma. Cuba. CP 85149.

<sup>3</sup>Centro Universitario Municipal Jiguaní. Pasaje No 3. Jiguaní. Granma. Cuba. CP 87300.

<sup>4</sup>Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP), Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54 830.

\*Autor para la correspondencia e-mail: [mborgesg@udg.co.cu](mailto:mborgesg@udg.co.cu)

### RESUMEN

Pectimorf® se ha empleado como sustituto parcial o total de los reguladores del crecimiento usados en la propagación *in vitro* de diferentes cultivos. No obstante, su efecto no se ha evaluado en la embriogénesis somática de bananos a escala comercial. Por ello, esta investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del Pectimorf® en el desarrollo de plantas *in vitro* procedentes de embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*) en la Biofábrica de Granma. Los tratamientos consistieron en el uso del Pectimorf® solo (5, 10 y 15 mg l<sup>-1</sup>) y combinado con los reguladores del crecimiento (2 mg l<sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l<sup>-1</sup> 6-BAP) del medio de cultivo. A los 30 días, se tomaron aleatoriamente 60 plantas *in vitro* (de un total de 200 embriones somáticos germinados por tratamiento con tres réplicas), a los cuales se les determinaron las siguientes variables: porcentaje de supervivencia y enraizamiento, número de brotes, hojas y raíces, altura y grosor del pseudotallo, longitud de la raíz más larga, masa seca parte aérea y de las raíces. Se obtuvo mayor desarrollo vegetativo de las plantas con la utilización del Pectimorf® solo (a razón de 10 y 15 mg l<sup>-1</sup>) y combinado con los reguladores del crecimiento (AIA y 6-BAP). Estos resultados pueden constituir una alternativa en la optimización del proceso de propagación a escala comercial en la Biofábricas cubanas.

Palabras clave: embriogénesis somática, indicadores morfológicos, medio de cultivo, *Musa*, oligosacáridos

### Use of the Pectimorf® in the *in vitro* plants development from somatic embryos in the banana cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*)

### ABSTRACT

Pectimorf® is has been used as partial or total substitute of the plant growth regulators in the *in vitro* propagation of different crops. Nevertheless, its effect has not been evaluated in the somatic embryogenesis in bananas to large scale. Therefore, the investigation about the effect of the Pectimorf® in the development of *in vitro* plants of somatic embryos in germination phase of banana cultivar 'FHIA 01' (AAAB) to commercial scale in the Biofábrica Granma was carried out. The treatments consisted on the use of the alone Pectimorf® (5, 10 and 15 mg l<sup>-1</sup>) and combined with the plant growth regulators (2 mg l<sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l<sup>-1</sup> 6-BAP). At 30 days after culture it was taken randomly 60 *in vitro* plants (from 200 somatic embryos per treatment with three replicate) in which were determined the following variables: rooting and survival percentage, bud, leaves and root

numbers, pseudostem height and thickness (cm), root greater size length (cm), air and root part mass dry (g). Bigger vegetative development of the plants was obtained with the use of the alone Pectimorf® (to reason of 10 and 15 mg l<sup>-1</sup>) and combined with the plant growth regulators (AIA and 6-BAP) in the somatic embryogenesis of banana cultivar 'FHIA 01' (AAAB). These results can constitute an important alternative in the optimization from the propagation process to Cuban commercial large scale lab.

Keywords: culture medium, *Musa*, morphological indicators, somatic embryogenesis, oligosaccharides

## INTRODUCCIÓN

Los bananos (*Musa* spp.) constituyen una fuente importante de alimento para gran parte de la población mundial, las estimaciones disponibles indican que la producción mundial media de bananos pasó de 69 millones de toneladas en 2000- 2002 a 116 millones de toneladas en 2017-2019, por un valor aproximado de 31 000 millones de dólares EE.UU (FAO, 2020).

La embriogénesis somática es un sistema de regeneración de plantas por técnicas biotecnológicas utilizado en la mejora genética de los bananos, además de permitir obtener producciones superiores en un menor período de tiempo y a un costo más bajo, lo cual hace que este método sea potencialmente más eficiente que la regeneración vía organogénesis (Rodríguez *et al.*, 2015).

La regeneración de plantas por embriogénesis somática en plátanos y bananos puede convertirse en una tecnología para la propagación a escala comercial, debido al elevado coeficiente de multiplicación de los embriones somáticos. Sin embargo, para lograr tasas superiores de germinación y conversión de plantas, es importante obtener embriones de calidad con un desarrollo morfológico sincrónico (García *et al.*, 2016). En la región oriental de Cuba y en particular en la provincia Granma existe una alta demanda de semillas biotecnológicas en el cultivo de plátanos y bananos, lo cual a través de la propagación masiva vía organogénesis es aun insatisfecha cubrir los volúmenes de plantas requeridos y los costos de producción son elevados. Por lo tanto, la posibilidad de utilización de tecnologías más eficientes como la embriogénesis somática de diferentes cultivares obtenida en el Instituto de Biotecnología de las Plantas y su transferencia con las adecuaciones pertinentes en la Biofábrica Granma, constituye una valiosa

alternativa para contribuir a incrementar los niveles requeridos de semillas y disminuir los costos de producción.

La aplicación de sustancias activas de producción nacional en la tecnología de embriogénesis somática en *Musa* spp. en la fase de germinación a escala comercial, pudiera constituir una alternativa para mejorar la eficiencia de este proceso. Dentro de estas sustancias activas de producción nacional se puede considerar el Pectimorf® mezcla de  $\alpha(1-4)$ -D-oligogalacturónidos. La capacidad del Pectimorf® para incrementar de forma notable el desarrollo y vigor de las plantas *in vitro* de los diferentes cultivos, lo validan como una alternativa promisoría en la biotecnología vegetal (Posada *et al.*, 2016).

Izquierdo *et al.* (2016), evaluaron la efectividad de los bioestimuladores a base de oligogalacturónidos (Pectimorf®) y de análogos de brasinoesteroides (Biobras-6, Biobras-16 y MH-5) como reguladores del crecimiento, en combinación con auxinas o citoquininas, en los procesos de organogénesis y embriogénesis somática de especies vegetales de interés agrícola y en el modelo biológico *Arabidopsis* sp., según su actividad biológica en la morfogénesis, fisiología y anatomía de las plantas.

Por todo lo anteriormente planteado la presente investigación tuvo como propósito determinar el efecto del Pectimorf® en el desarrollo de plantas *in vitro* procedentes de embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa* AAAB), como alternativa para mejorar la eficiencia de su propagación masiva a escala comercial en la Biofábrica de Granma, no utilizado hasta el momento para la embriogénesis somática de esta especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en la Biofábrica Granma en colaboración con el Centro de

Estudios de Biotecnología Vegetal (CEBVEG) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Granma, en el período comprendido entre los meses de enero de 2018 a enero de 2021.

#### Material vegetal

Se utilizaron como material vegetal embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*) en fase de germinación proveniente del Instituto de Biotecnología de las Plantas de Santa Clara, Villa Clara, Cuba. El material vegetal estaba compuesto por pequeñas plantas de color verde de 0.5 y 1.0 cm de altura, aproximadamente. La selección de este cultivar obedeció a su excelente calidad culinaria y nutricional, así como por su valor agrícola y comercial.

#### Medio y condiciones de cultivo *in vitro*

Se utilizó el medio de cultivo basal compuesto por las sales MS (Murashige y Skoog, 1962) al 100% de su concentración, vitaminas MS, sacarosa 30 g l<sup>-1</sup> y agar E (BIOCEN) a razón de 7.5 g l<sup>-1</sup>. El pH se ajustó a 5.8 con un pHmetro (HANNA) y las variaciones se regularon con HCl (0.1N) y NaOH (0.1N), antes de la esterilización química con Vitrofur<sup>®</sup>. Se dosificaron 80 ml por frasco de 700 ml de capacidad total.

Los medios de cultivo se mantuvieron en reposo durante tres días antes de su uso. La manipulación del material vegetal en los frascos de cultivo se efectuó en condiciones

asépticas en una cabina de flujo laminar horizontal.

#### Efecto del Pectimorf<sup>®</sup> en el desarrollo morfológico de plantas *in vitro*

El experimento tuvo como objetivo determinar el uso del Pectimorf<sup>®</sup> sólo y combinado con dos reguladores del crecimiento 6-bencilaminopurina (6-BAP) y ácido indolacético (AIA) en el desarrollo de plantas *in vitro* procedentes de embriones somáticos.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron en el uso del Pectimorf<sup>®</sup> solo y combinado con los reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) (Tabla 1). Esto arrojó un total de 10 tratamientos con tres repeticiones.

Las condiciones de cultivo en las cámaras de crecimiento de luz solar fueron: 25±2 °C; humedad relativa de 70-80%, intensidad luminosa de 40 µE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y duración del fotoperiodo de aproximadamente 12 horas luz.

#### Evaluaciones

Se colocaron por tratamiento 200 embriones somáticos germinados (pequeñas plantas de color verde) en 10 frascos de cultivo. A los 30 días, se tomaron aleatoriamente 60 plantas y se cuantificó el número de plantas vivas y el número de plantas con raíces. Con estos datos se calculó el porcentaje de supervivencia y el porcentaje de enraizamiento.

Tabla 1. Tratamientos del uso del Pectimorf<sup>®</sup> solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) en el desarrollo de plantas *in vitro* de embriones somáticos banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*).

Tratamientos	Pectimorf <sup>®</sup> +AIA +6-BAP
1	5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup>
2	10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup>
3	15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup>
4	5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA
5	10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA
6	15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA
7	5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP
8	10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP
9	15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf <sup>®</sup> + mg l <sup>-1</sup> 6-BAP
10 Control	2 mg l <sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP

Además, se midió la longitud del pseudotallo (cm) por planta (desde la base hasta el punto de inserción de la primera hoja), el grosor del pseudotallo (cm) por planta a nivel de la base del medio de cultivo y la longitud de la raíz más larga (cm desde la base del explante hasta el extremo), todos con ayuda de una regla milimetrada. Se cuantificó el número de brotes por planta, el número de hojas extendidas completamente por cada explante y el número de raíces (conteo total de raíces por planta) (u). Finalmente, se determinó la masa seca parte aérea (mg) y la masa seca de las raíces (g).

La masa seca foliar y de las raíces se determinó por el método gravimétrico sometiendo las muestras (parte aérea y de las raíces de cinco plantas *in vitro*) a 70 °C en estufa durante 72 horas hasta masa constante, pesados en una balanza eléctrica digital monoplato (modelo 11-DO629) con precisión de 0.3 mg.

#### Análisis estadístico

Para comprobar la normalidad de los datos se utilizó la prueba de Kolmogorov – Smirnov y para la homogeneidad de varianzas la prueba de Levene. Se aplicó un análisis de varianza de clasificación simple con prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5% de probabilidad del error. Estos análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico InfoStat. Los datos en porcentajes se procesaron con el programa de comparación múltiples de proporciones Compaprop (Miranda y Castillo, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El uso del Pectimorf® solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) sobre plantas *in vitro* o, procedentes de embriones somáticos condujo a altos porcentajes de supervivencia (99.0%) y de enraizamiento (100%), sin diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Esto evidencia el efecto similar del Pectimorf® solo y en sus distintas combinaciones en la supervivencia y enraizamiento de las plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos en el cultivar de banano 'FHIA 01' (AAAB) (Figura 1) en relación con el tratamiento control formado por las combinaciones de 2

mg l<sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l<sup>-1</sup> 6-BAP, lo que constituye una alternativa factible de utilización.

También es necesario señalar que los embriones somáticos cuando germinan muestran ambos meristemas (apical y radical), por lo tanto, la supervivencia y el enraizamiento de los mismos no están determinados solo por la presencia del Pectimorf® y los reguladores del crecimiento exógenos añadidos al medio de cultivo. Es por ello, que el efecto significativo del Pectimorf® intervienen en el posterior desarrollo vegetativo de las plantas obtenidas a partir de los embriones germinados como se discute más adelante.

Izquierdo (2013) en plantas *in vitro* cv. 'FHIA 18', demostró que la inclusión de Pectimorf® como sustituto del AIA en el medio de cultivo MS a razón de 5 mg l<sup>-1</sup> tributó a un 100% de supervivencia y de enraizamiento de las plantas. Frías *et al.* (2017) al emplear Pectimorf® en el medio de cultivo MS a razón de 5 y 8 mg l<sup>-1</sup> durante la propagación vía organogénica de plantas *in vitro* de plátano cv 'FHIA 21' (AAAB) proporcionó valores significativamente superiores ( $p \leq 0.05$ ) de enraizamiento a los 15 días (100%) de cultivo sin diferencias con el tratamiento control (AIA 1.3 mg l<sup>-1</sup>). Igualmente, Borges *et al.* (2021) en la fase de enraizamiento *in vitro* de plantas *in vitro* de plátano cultivar 'Enano Guantanamero' propagadas por organogénesis comprobó una marcada influencia con el uso del Pectimorf® 10 mg l<sup>-1</sup> + AIA 1.3 mg l<sup>-1</sup> en la estimulación del enraizamiento con 100% de las plantas enraizadas en todos los tratamientos.

Varias investigaciones han demostrado la estimulación de la supervivencia y enraizamiento con el uso de Pectimorf®, en otras especies de plantas *in vitro* (Falcón *et al.*, 2015; Posada *et al.*, 2016; Borges *et al.*, 2017). Sin embargo, en la literatura científica no aparecen trabajos similares sobre el uso del Pectimorf® en la conversión de embriones maduros en plantas *in vitro* de plátanos y bananos. No obstante, Izquierdo *et al.* (2016) al recopilar los aportes al conocimiento del funcionamiento de bioestimuladores nacionales en procesos de la Biotecnología Vegetal a base de oligogalacturónidos (Pectimorf®) y de análogos de brasinoesteroides (Biobras-6, Biobras-16

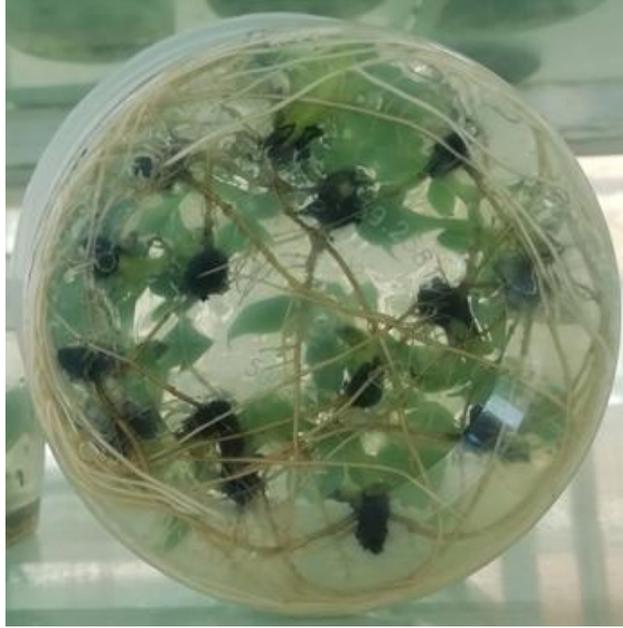


Figura 1. Plantas *in vitro* de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*) enraizadas, obtenidas de embriones somáticos, a los 30 días en medio de cultivo con Pectimorf® (5 mg l<sup>-1</sup>).

y MH-5), demostraron su efectividad en la supervivencia, enraizamiento y calidad de las plantas *in vitro* obtenidas de los procesos de organogénesis y embriogénesis somática de especies vegetales de interés agrícola, donde incluye su uso en plátanos y bananos, pero por vía organogénica.

El uso del Pectimorf® solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) tuvo efecto sobre los indicadores morfológicos de las plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos en el cultivar de banano 'FHIA 01' (AAAB) (Tabla 2). Los mayores valores significativos para  $p < 0.05$  correspondieron para las distintas variables evaluadas (número de brotes, altura de la planta, grosor del pseudotallo, número de hojas, número de raíces, longitud de la raíz de mayor tamaño) en los tratamientos con la utilización del Pectimorf® solo (10 y 15 mg l<sup>-1</sup>) y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) en todas sus variantes (5, 10 y 15 mg l<sup>-1</sup>). En general se muestra un incremento de los indicadores morfológicos con diferencias significativas con el control y la menor concentración del Pectimorf® en el medio de cultivo.

Los resultados demostraron la influencia significativa del Pectimorf® solo a partir de 10 mg l<sup>-1</sup> y combinado (5, 10 y 15 mg l<sup>-1</sup>) con

los reguladores del crecimiento 2 mg l<sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l<sup>-1</sup> 6-BAP en sus distintos tratamientos sobre los indicadores de desarrollo vegetativo de las plantas *in vitro* de banano cv. FHIA-01 obtenidas por vía embriogénica (Figura 2).

También se evidenció un efecto auxínico/citoquinínico del Pectimorf® solo a partir de 10 mg l<sup>-1</sup>. Este papel auxínico influye en un mayor alargamiento celular, lo que se puso de manifiesto en los aumentos significativos de la altura del pseudotallo y longitud de las raíces de las plantas *in vitro* de banano cv. 'FHIA 01'. Numerosas investigaciones corroboran que el Pectimorf® tiene un efecto similar al de las auxinas, en el cultivo *in vitro* de plantas (Falcón *et al.*, 2015; Borges *et al.*, 2017). Varios estudios han demostrado un efecto auxínico sinérgico de esta sustancia con el ácido indol butírico (AIB). En el enraizamiento en plantas de papaya (*Carica papaya* L.), el mayor número de plantas con raíces así como el mayor porcentaje de supervivencia, se obtuvo en el tratamiento con 9 mg l<sup>-1</sup> de Pectimorf® combinado con 2 mg l<sup>-1</sup> de AIB, en ausencia de sacarosa en el medio de cultivo y utilizando la zeolita como soporte (Posada *et al.*, 2016), mientras que Frías *et al.* (2017) mostró un efecto auxínico/citoquinínico del Pectimorf® a las concentraciones de 5 y 8 mg l<sup>-1</sup> a través del aumento significativo de la longitud de las raíces de plantas *in vitro* de plátano cv. 'FHIA 21'.

Tabla 2. Efecto del Pectimorf® solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) sobre los indicadores morfológicos de plantas *in vitro* de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*) obtenidas a partir de embriones somáticos.

Tratamientos	NB	AP (cm)	GP (cm)	NH	NR	LR (cm)
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	1.1 b	2.0 b	0.21 b	2.0 b	2.6 b	3.3 b
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	4.0 a	4.6 a	0.48 a	3.9 a	4.6 a	5.3 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	5.0 a	4.4 a	0.49 a	5.6 a	5.6 a	6.3 a
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	4.0 a	3.9 a	0.47 a	4.6 a	4.6 a	6.6 a
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	5.0 a	4.2 a	0.50 a	3.8 a	5.6 a	6.4 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	4.0 a	4.1 a	0.51 a	4.0 a	5 a	6.4 a
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	4.0 a	3.9 a	0.47 a	4.6 a	4.6 a	6.4 a
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	5.0 a	3.9 a	0.48 a	3.9 a	4 a	5.6 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	5.0 a	4.3 a	0.49 a	4.3 a	5.3 a	7.4 a
2 mg l <sup>-1</sup> AIA + + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	1.0 b	2.2 b	0.22 b	2.2 b	2.8 b	3.5 b
EE	0.2	0.86	0.02	0.12	0.12	0.14

Leyenda: NB, número de brotes, AP, altura del pseudotallo, GP, grosor del pseudotallo, NH, número de hojas, NR, número de raíces, LR, longitud de la raíz de mayor tamaño. Medias con letras distintas por columnas difieren significativamente para  $p \leq 0.05$ , según prueba de Tukey. EE, error estándar

$p \leq 0.05$



Figura 2. Desarrollo vegetativo de plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos del cultivar de banano 'FHIA 01' (AAAB) a los 30 días en el medio de cultivo de germinación Pectimorf® (10 mg l<sup>-1</sup>).

El efecto citoquinínico del Pectimorf® a partir de la concentración de 10 mg l<sup>-1</sup> se expresó en una mayor actividad de división celular lo que se evidenció en los incrementos significativos de los indicadores vegetativos número de brotes, grosor del pseudotallo, número de hojas y número de raíces de las plantas *in vitro* de banano cv. 'FHIA 01'. En relación con ello, diferentes autores han mostrado evidencias de un marcado papel citoquinínico de este producto en los principales indicadores vegetativos de plantas

*in vitro* en un rango de 5 a 10 mg l<sup>-1</sup> (Falcón *et al.*, 2015; Borges *et al.*, 2017).

El Pectimorf® solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) tuvo un efecto similar sobre la masa seca de la parte aérea y de las raíces de las plantas *in vitro* alcanzado para los indicadores morfológicos (Tabla 3). Los tratamientos con Pectimorf® solo (10 y 15 mg l<sup>-1</sup>) y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) en todas sus variantes (5, 10 y 15 mg l<sup>-1</sup>)

Tabla 3. Efecto del uso del Pectimorf® solo y combinado con reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) sobre masa seca de la parte aérea y de las raíces de las plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' (*Musa AAAB*).

Tratamientos	Masa seca (g)	
	Parte aérea	Raíces
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	0.28 b	0.50 b
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	0.48 a	1.02 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf®	0.48 a	0.93 a
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	0.46 a	0.95 a
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	0.48 a	0.92 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 2 mg l <sup>-1</sup> AIA	0.47 a	0.99 a
5 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	0.47 a	1.10 a
10 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	0.43 a	1.20 a
15 mg l <sup>-1</sup> Pectimorf® + mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	0.47 a	1.07 a
2 mg l <sup>-1</sup> AIA + + 0.05 mg l <sup>-1</sup> 6-BAP	0.30 b	0.51 b
EE	0.009	0.04

Medias con letras distintas por columnas difieren significativamente para  $p \leq 0.05$  según prueba de Tukey. EE, error estándar.  $n=60$

difirieron significativamente ( $p < 0.05$ ) de los tratamientos con Pectimorf® solo 5 mg l<sup>-1</sup> y el control (2 mg l<sup>-1</sup> AIA + 0.05 mg l<sup>-1</sup> 6-BAP).

Este resultado indicó cómo a partir de la utilización del Pectimorf® a la concentración de 10 mg l<sup>-1</sup> en el medio de cultivo solo y combinado con los reguladores del crecimiento (6-BAP, AIA) se lograron los mayores valores de acumulación de masa seca tanto de la parte aérea como de las raíces lo que está estrechamente relacionado con los mayores indicadores de desarrollo vegetativo de las plantas *in vitro* (Tabla 2). Todo ello demuestra el efecto bioestimulante significativo del Pectimorf® a razón de 10 mg l<sup>-1</sup> en los indicadores de desarrollo vegetativo y contenido de materia seca de las plantas *in vitro* obtenidas de embriones somáticos de banano cv. 'FHIA 01' con un incremento de almidones y proteínas de reservas. Vilchez (2016) al evaluar la masa seca de embriones somáticos maduros y en fase de conversión en plantas *in vitro* de Guayabo (*Psidium guajava* L.) demostró un efecto significativo favorable de este indicador debido principalmente a un aumento de los almidones y proteínas de reservas. También Falcón *et al.* (2015) y Suárez y Hernández (2015) declararon que la respuesta de esta mezcla de oligogalacturonidos tiene un efecto similar al de las auxinas o citoquininas. Sobre lo anterior, Frías *et al.* (2017) señalaron que esta

influencia puede estar dada principalmente por el balance hormonal del explante y de la composición de los reguladores del crecimiento en el medio de cultivo.

La introducción de sustancias activas de producción nacional en la tecnología de regeneración *in vitro* de plantas de banano cv. 'FHIA 01', pudiera constituir una alternativa promisoría para mejorar la eficacia económica del proceso, a partir de insumos nacionales con el empleo de técnicas sencillas y confiables. Dentro de estas sustancias activas de producción nacional puede citarse el Pectimorf®, obtenido en el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), el cual se ha utilizado, entre otros, en la micropropagación de diferentes especies vegetales, como sustituto de los reguladores del crecimiento empleados tradicionalmente. Este producto ha demostrado efectividad como posible sustituto del AIA en la propagación masiva de plantas *in vitro* de plátano con buen desarrollo y vigor (Suárez y Hernández, 2015). De igual forma, Frías (2018) demostró las potencialidades del Pectimorf® como promotor de procesos morfogénicos en especies vegetales y evidenció la factibilidad de su incorporación solo o combinado en el medio de cultivo de establecimiento *in vitro* del plátano vianda cv. 'Enano Guantanamero' (AAB) con un efecto

significativo en el desarrollo vegetativo de las plantas *in vitro* y una influencia residual favorable en las plántulas aclimatizadas.

Los resultados de esta investigación comprobaron que es posible utilizar el bioregulador de producción nacional Pectimorf® a la concentración de 10 mg l<sup>-1</sup> en el medio de cultivo y sustituir AIA y 6-BAP en el medio de cultivo MS para la regeneración de plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos en fase de germinación de banano cv. 'FHIA 01' (AAAB).

#### CONCLUSIONES

La utilización del Pectimorf® a razón de 10 mg l<sup>-1</sup> en el medio de cultivo MS es una alternativa factible para el desarrollo satisfactorio de plantas *in vitro* provenientes de embriones somáticos en fase de germinación de banano cv. 'FHIA 01' (AAAB)

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la cooperación científica brindada por el proyecto Nacional Asociado a Programa del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), 'Desarrollo de bioestimulantes para la protección y beneficio de cultivos de interés económico', en especial a su coordinador, Dr.C. Alejandro Falcón Rodríguez.

#### Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflictos de interés.

#### Contribución de los autores

Conceptualización MBG, VGF, DMRA, Investigación VGF, Análisis formal MBG, VGF, DMRA, LGA, Metodología MBG, VGF, DMRA, Supervisión LGA, Escritura-Primera redacción MBG, VGF, DMRA, LGA, Escritura-Revisión y Edición LGA.

#### REFERENCIAS

Borges M, González O, Reyes D, Rodríguez M, Villavicencio A, Estrada E (2017) Respuesta de plantas *in vitro* de ñame clon 'Blanco de guinea' al uso del Pectimorf®. Cultivos Tropicales 38(2): 129-136

Borges M, Reyes D, Frías A (2021) Micropropagación del plátano cultivar enano guantanamero (*Musa* spp. AAB) con el

empleo del Pectimorf®. Revista Científica Agroecosistemas 9(3): 67-73

Falcón AB, Costales D, González D, Nápoles MC (2015) Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. Cultivos Tropicales 36: 111-129

FAO (2020) Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019. FAO, Roma

Frías A (2018) Utilización del Pectimorf® en la micropropagación del plátano clon Enano Guantanamero (*Musa* spp. AAB). Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas. Universidad de Granma, Bayamo, Cuba

Frías A, Borges M, Destrade R (2017) Uso del Pectimorf® el enraizamiento *in vitro* de plantas de FHIA 21 (*Musa* spp. AAAB). Rev Agricultura Tropical 3(2): 48-56

Galan V, Rangel A, López J, Perez JB, Sandoval J, Souza E (2018) Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal 40(4): 1-22

García L, Gómez R, Alvarado Y, Sarría Z, Albany N, Vilchez, Reyes M, Pérez B, Rodríguez A (2016) Efecto de la densidad de inoculación de embriones somáticos en la obtención de plántulas de plátano cv. FHIA-21 (AAAB). Cultivos Tropicales 37(1): 57-64

Izquierdo H (2013) Empleo de nuevas sustancias como reguladores del crecimiento en la micropropagación del banano (*Musa* spp.) cultivar 'FHIA- 18' (AAAB). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, Cuba

Izquierdo H, Diosdado E, González MC, Núñez M, Cabrera JC, Hernández RM, González JL, Hernández MM, Héctor EF, Gómez R, Proenza R, Velásquez M (2016) Contributions to knowledge of the functioning of national bioestimulators in plant biotechnology processes. Biotecnología Aplicada 33: 3511-3516

Miranda I, Castillo Y (2014) Compaprop: Sistema para comparación de proporciones múltiples. Revista Protección Vegetal 29(3): 231-234

Murashige T, Skoog F (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum* 15(3): 473-497

Posada L, Padrón Y, González J, Rodríguez R, Barbón R, Norman O, Rodríguez R, Gómez R (2016) Efecto del Pectimorf® en el enraizamiento y la aclimatización *in vitro* de brotes de papaya (*Carica papaya* L.) cultivar 'Maradol Roja'. *Cultivos Tropicales* 37(3): 50-59

Rodríguez D, López J, Rayas A, Montano N, Santos A, Basail M, Reynaldo D, Beovides Y, Medero V (2015) Embriogénesis somática en el cultivar de plátano 'FHIA - 25' (AAB) a partir de ápices meristemáticos. *Revista Colombiana de Biotecnología* 17(2): 65-75

Suárez L, Hernández MM (2015) Efecto del Pectimorf® en el cultivo de ápices de plantas

*in vitro* de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), clones 'CMC-40' y 'Señorita'. *Cultivos Tropicales* 36(4): 55-62

Vilchez JA (2016) Embriogénesis Somática en Guayabo (*Psidium guajava* L.). Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, Córdoba, Colombia

Recibido: 25-02-2021

Aceptado: 29-10-2021

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> Está permitido su uso, distribución o reproducción citando la fuente original y los autores.