



# Reseña bibliográfica

## ANÁLOGOS ESPIROSTÁNICOS DE BRASINOESTEROIDES Y SUS POTENCIALIDADES DE USO EN LA AGRICULTURA

### Review

#### Spirostane analogs of brassinosteroids and their use potentialities in agriculture

Miriam Núñez Vázquez✉, Yanelis Reyes Guerrero, Lissy Rosabal Ayán y Lisbel Martínez González

**ABSTRACT.** Brassinosteroids are natural compounds which have a strong biological activity and have been used as yield stimulators in agriculture. However, since 80's decade endings of last century, searching of analogs of these compounds whose synthesis is more economic and that have a long lasting activity under field conditions has been working. In Cuba, some spirostane analogs of brassinosteroids which have a biological activity like natural brassinosteroids and give very good results as crop yield and growth stimulators have been synthesized. In this paper, information about the activity of some of these analogs and its influence on germination, rooting, growth, yield and quality of some economically important crop is analyzed and discussed. Results about the use of these analogs as growth regulators in the plant micropropagation are, also, presented.

**RESUMEN.** Los brasinoesteroides son compuestos naturales que poseen una potente actividad biológica y que han sido utilizados como estimuladores del rendimiento en la agricultura. Sin embargo, desde finales de la década del 80 del pasado siglo se ha venido investigando en la búsqueda de análogos de estos compuestos, cuyas síntesis sean más factibles desde el punto de vista económico y que además, tengan una actividad biológica más prolongada en condiciones de campo. En Cuba, se han sintetizado algunos análogos espirostánicos de brasinoesteroides, que poseen una actividad biológica similar a los brasinoesteroides naturales y que han resultado muy buenos estimuladores del crecimiento y del rendimiento de los cultivos. En este trabajo se analiza y se discute información acerca de la actividad de algunos de estos análogos y su influencia en la germinación, el enraizamiento, el crecimiento, el rendimiento y la calidad de algunos cultivos de importancia económica. También se presentan los resultados del empleo de estos análogos como reguladores del crecimiento en la micropropagación masiva de plantas.

*Key words:* brassinosteroids, growth, yield, plant micropropagation

*Palabras clave:* brasinoesteroides, crecimiento, rendimiento, micropropagación masiva de plantas

### INTRODUCCIÓN

Los brasinoesteroides son compuestos naturales de estructura esteroidea que se encuentran

Dra.C. Miriam Núñez Vázquez, Investigadora Titular; M.Sc. Yanelis Reyes Guerrero y Lissy Rosabal Ayán, Aspirantes a Investigador; Lisbel Martínez González, Especialista del departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, CP 32700, Cuba.

✉ mmunez@inca.edu.cu; yanelisrg@inca.edu.cu; lisbel@inca.edu.cu

ampliamente distribuidos en el reino vegetal y que poseen una potente actividad biológica. A principios de la década del 90, se resumieron los resultados acerca de las aplicaciones prácticas de los brasinoesteroides naturales en la agricultura (1). Diversos autores, tanto en Europa Occidental como Oriental, así como en Asia han informado acerca de los efectos beneficiosos que las aplicaciones de la brasinólida (BL),

la 24-epibrasinólida (EBL) y la 28-homobrasinólida (HBL) ejercen en el crecimiento y el rendimiento de diferentes cultivos (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10); sin embargo, la mayor dificultad para el uso práctico de estos compuestos es la baja estabilidad de sus efectos en condiciones de campo y por ese motivo, no se continuaron las aplicaciones de estos compuestos a gran escala en Europa Occidental y Japón (11).

A partir de estos resultados, se sugirió la utilidad de aplicar compuestos análogos capaces de ser transformados en las plantas a BRs activos y por ende, que su actividad tenga más larga duración o persistencia a nivel de campo (12).

En consonancia con lo anterior, en Cuba, desde finales de la década del 80 del siglo pasado, el Centro de Estudios de Productos Naturales de la Facultad de Química de la Universidad de la Habana comenzó a trabajar en la síntesis de análogos de brasinoesteroides. Así, en 1990, se informó, por primera vez, la obtención de análogos con un anillo espirocetónico en la cadena lateral, además del uso de sapogeninas esteroidales para la síntesis de estos reguladores del crecimiento vegetal<sup>A</sup>.

Posteriormente, se informó de la síntesis y caracterización de cuatro análogos espirocetónicos de brasinoesteroides con estereoquímica 5 $\beta$ ; así como de compuestos activos biológicamente con un sistema 2,3 diol en el anillo A con diferentes estereoquímicas<sup>B</sup>.

Existen algunas formulaciones a base de análogos espirocetónicos de brasinoesteroides que se han destacado por su actividad biológica, dentro de ellas se encuentran las conocidas como BIOBRAS-6 (BB-6), BIOBRAS-16 (BB-16) y MH-5. En este trabajo se recogen los principales resultados relacionados con los efectos que estos análogos ejercen en la germinación, la morfogénesis, el crecimiento, el rendimiento y la calidad de las cosechas; así como el empleo de los mismos como reguladores del crecimiento en la micropropagación masiva de plantas.

## INFLUENCIA DE ANÁLOGOS ESPIROCETÓNICOS DE BRASINOESTEROIDES EN LA GERMINACIÓN, EL ENRAIZAMIENTO Y EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

En 1994, algunos autores informaron de las aplicaciones del BB-6 y de otros análogos en algunos frutales (13). Las aplicaciones efectuadas incrementaron en un 20 % el poder germinativo de la *Carica papaya* L. y aumentaron el vigor de las plantas en la fase de vivero; aumentaron el poder germinativo de la mandarina Cleopatra (*C. reshni* Hort. ex Tan.) utilizada como portainjerto en el cultivo de los cítricos; adelantaron la brotación de vástagos vegetativos (estolones) de la fresa (*Fragaria x ananassa*) cv. "Misionaria", así como incrementaron el número promedio de estos vástagos por planta.

Resultados similares a los anteriores se obtuvieron al evaluar el efecto de diferentes análogos en la germinación de semillas de mandarina Cleopatra (14). Por otra parte, en caña de azúcar, se determinó que la estimulación de la longitud del vástago y de las raíces inducida por el BB-6 era dependiente de la concentración. Se encontró un efecto estimulante de los vástagos a concentraciones de 10<sup>-4</sup>-10<sup>-3</sup> mg.L<sup>-1</sup>; mientras que la longitud de las raíces respondió a concentraciones aún más bajas (10<sup>-6</sup>-10<sup>-3</sup> mg.L<sup>-1</sup>) (15).

Se estudió, además, la influencia que el BB-6 ejercía en el crecimiento y la actividad metabólica de plantas jóvenes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Los resultados demostraron que la aspersión foliar de este producto (0,5 mg.L<sup>-1</sup>), a razón de 2 mL por planta, a los 20 días después de la siembra, estimuló el crecimiento de las mismas. De igual forma, el BB-6 influyó en la actividad metabólica de las plantas, ocho días después

de la aspersión, incrementando la concentración de proteínas solubles totales, aminoácidos libres totales y prolina (16).

La aspersión foliar con BB-16 favoreció, el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.), incrementando tanto el desarrollo foliar como el crecimiento radical (17).

En cuanto a la estimulación del enraizamiento, se demostró que la inmersión de esquejes de guayaba (*Psidium guajava* L.), durante 15 minutos, en una solución de BB-16 0,05 mg.L<sup>-1</sup> indujo el enraizamiento y estimuló el crecimiento de las posturas, sustituyendo al ácido indolbutírico (AIB), auxina que de forma general se utiliza en estos casos (Ibarra *et al.*, datos no publicados).

Se obtuvieron, buenos resultados, también, al estudiar el efecto del BB-16 en la reproducción por injerto del mamey colorado (*Pouteria sapota* Jacq.). Las yemas, una vez tratadas, se injertaron en los patrones por medio de dos técnicas diferentes (yema terminal lateral y yema lateral de chapa) y se pudo constatar que hubo un incremento significativo en el porcentaje de injertos prendidos en relación con el tratamiento control (18).

En dos especies de orquídeas, las aspersiones foliares repetidas con BB-16 (0,05 mg.L<sup>-1</sup>) incrementaron tanto el número de pseudobulbos o tallos como el número de raíces, además de favorecer la coloración de las plantas y la calidad de las flores (19).

El papel de los brasinoesteroides en la germinación y el crecimiento de las plantas ha sido bien documentado. Así, se ha demostrado que estos compuestos estimulan la germinación de las semillas a través de su influencia en el metabolismo de las proteínas, en el contenido de aminoácidos, lo cual está acompañado de un incremento en el contenido de ácido indolacético y de una disminución en el contenido de

<sup>A</sup>Alonso, E. Síntesis de análogos espirocetónicos de brasinoesteroides. [Tesis de Doctorado]. Universidad de la Habana, 1990.

<sup>B</sup>Jomarrón, I. Síntesis de espirostanonas y espirostanolactonas biológicamente activas. [Tesis de grado Doctorado]. Universidad de la Habana, 1995.

ácido abscísico (20). De igual forma, los brasinoesteroides estimulan la división y el alargamiento celular, además tienen efectos específicos sobre la diferenciación. Esto incluye modificaciones en las propiedades de la pared celular, efectos sobre la asimilación de carbohidratos y el control de la actividad de las acuaporinas (21).

Estos resultados demuestran que los análogos espirostánicos de brasinoesteroides y en particular, las formulaciones conocidas como BIOBRAS-6 y BIOBRAS-16 ejercen también efectos positivos en la germinación y el crecimiento de las plantas; sin embargo, no se conoce si dichos análogos utilizan mecanismos similares a los descritos anteriormente para estimular estos procesos fisiológicos, aspectos en los cuales hay que profundizar. Se debe destacar, que en un estudio efectuado donde se comparó la capacidad de la 24-epibrasinólida (EBL) y los análogos espirostánicos BIOBRAS-6 y MH-5 para revertir la disminución en el crecimiento de plántulas de soya producida por un inhibidor de biosíntesis de los brasinoesteroides (Brz2001), se encontró que la EBL revirtió totalmente dicha inhibición. Por su parte, los análogos lo hicieron parcialmente, siendo más efectivo el MH-5 que el BIOBRAS-6; lo que hizo pensar que estos análogos poseen una actividad biológica similar a la de los brasinoesteroides naturales (22).

## **EFFECTOS DE LOS ANÁLOGOS ESPIROSTÁNICOS DE BRASINOESTEROIDES SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DE LAS COSECHAS**

Primeramente, se analizarán los resultados de las aplicaciones de la formulación conocida como DAA-6 o BB-6 en diferentes cultivos.

Los resultados de las aplicaciones de esta formulación en cultivos tales como papa, tomate, ajo, cebolla, tabaco, arroz, entre otros, se revisaron en 1999 (23); por lo que en este trabajo se recogen los resultados posteriores a esta fecha.

En la Estación de Arroz del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, ubicada en Los Palacios, Pinar del Río, se efectuó un experimento con la variedad INCA LP-2, durante dos campañas, donde se utilizaron tres dosis totales: 20, 50 y 100 mg.ha<sup>-1</sup> y dos momentos de aplicación: ahijamiento activo e inicio de paniculación o inicio de paniculación y llenado del grano. Se debe destacar que la dosis más alta solo se aplicó en ahijamiento activo e inicio de paniculación. Los resultados mostraron que todos los tratamientos incrementaron significativamente el rendimiento en relación con el tratamiento control sin aspersión; obteniéndose los mayores incrementos en los tratamientos donde el BB-6 se asperjó en una dosis total de 50 mg.ha<sup>-1</sup> fraccionada en partes iguales en el ahijamiento activo e inicio de paniculación o inicio de paniculación y llenado del grano, para las campañas de frío y primavera, respectivamente (24).

En soya, se estudió la combinación de la aspersión foliar de BB-6 20 mg.ha<sup>-1</sup> en la etapa de floración con la inoculación o coinoculación de las semillas de tres cultivares (CUBAsoy-23, INCAsoy-24, INCAsoy-27) con *Bradyrhizobium japonicum* (BJ) y micorrizas arbusculares, MA (cepa *Glomus clarum*) (25). En los tres cultivares, los mejores resultados se obtuvieron con la coinoculación de los dos biofertilizantes y la aspersión foliar del BB-6.

Los resultados expuestos en este trabajo conjuntamente con los informados con anterioridad (23) evidenciaron las potencialidades del BIOBRAS-6 para ser utilizado como estimulador de los rendimientos en la agricultura.

Paralelamente a los trabajos efectuados para conocer los efectos que provocaban las aspersiones foliares con BB-6 en diferentes cultivos, se comenzó la utilización de otra formulación denominada DI-31 o BB-16 a nivel experimental en condiciones de campo.

En el cultivo del maíz (26), se evaluaron 13 tratamientos, durante dos campañas, donde se utilizaron dosis de BB-16 de 10, 20, 30 y 40 mg.ha<sup>-1</sup> asperjadas a los 20 o 35 días después de la siembra (DDS) y de forma fraccionada al 50 % en estos dos momentos. En ambas campañas se constató que la aspersión foliar con cualquiera de las dosis de BB-16, asperjadas a los 20 o 35 DDS o de forma fraccionada en estos dos momentos estimuló el rendimiento del cultivo y algunos de sus componentes. No obstante, se destacó el tratamiento donde se asperjó una dosis total equivalente a 20 mg.ha<sup>-1</sup>, fraccionada al 50 % a los 20 y 35 DDS, respectivamente.

Estos resultados revelaron que no es necesaria la utilización de dosis superiores a 20 mg.ha<sup>-1</sup> y, además, se confirma la utilidad del fraccionamiento de la misma en dos momentos de aplicación.

En el cultivo del arroz, se evaluaron cinco tratamientos, es decir, dos dosis (20 y 50 mg.ha<sup>-1</sup>) aplicadas de forma fraccionada en dos momentos (ahijamiento activo e inicio de paniculación e inicio de paniculación y llenado del grano) y un control sin aspersión. Todos los tratamientos incrementaron de forma significativa el rendimiento de las plantas de la variedad INCA LP-2 tanto en la campaña de frío como en la de primavera (27).

Sin embargo, los componentes del rendimiento que se favorecieron fueron diferentes, ya que en la campaña de frío, el BB-16 solamente incrementó de forma significativa el número de panículas.m<sup>-2</sup>, mientras que en la primavera, se incrementó, además del número de panículas.m<sup>-2</sup>, el

número de granos llenos.panicula<sup>-1</sup> y la masa de 1000 granos. Esto pudiera ser la causa de los mayores incrementos en el rendimiento que se obtuvieron en la campaña de primavera (66-81 %) en comparación con la de frío (26-33 %).

Estos resultados demostraron que la aspersión foliar de BB-16 con 20 mg.ha<sup>-1</sup> fraccionada al 50 % en las etapas de ahijamiento activo e inicio de paniculación o inicio de la paniculación y llenado del grano fue suficiente para estimular el rendimiento de este cultivo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizaron algunas validaciones de estos resultados en condiciones de producción y se asperjó foliarmente la dosis de 20 mg.ha<sup>-1</sup>, fraccionada a partes iguales en las fases de ahijamiento activo e inicio de paniculación en áreas que oscilaron entre 40 y 60 ha. Los resultados demostraron que el BB-16 incrementó en más de 40 % los rendimientos del cultivo (27).

Posteriormente, se realizaron otras validaciones en áreas de pequeños productores de la provincia de Pinar del Río, donde se aplicó a plantas de arroz var. INCALP-5, una dosis de 20 mg.ha<sup>-1</sup> de BB-16 fraccionada al 50 % en las fases: inicio de paniculación y llenado del grano, durante dos campañas. Los resultados demostraron que, de forma general, en las dos épocas de siembra evaluadas, hubo un efecto positivo del producto aplicado, lográndose un mejor desarrollo vegetativo y un incremento del rendimiento agrícola del cultivo (28).

Otro aspecto interesante a analizar es la respuesta de las plantas al uso combinado de esta formulación con algunos biofertilizantes como vía ecológica y sostenible de incrementar los rendimientos agrícolas. En este sentido, en el cultivo del tomate var. Amalia, se demostró que la combinación de los biofertilizantes (*Azospirillum* y Micorrizas) con la aspersión foliar del BB-16 en la

floración, no solo fue capaz de incrementar los rendimientos sino además de ahorrar 60 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante nitrogenado (29).

Estos resultados sugieren la posibilidad de la sustitución parcial de fertilizante nitrogenado por el uso de biofertilizantes y de un bioestimulador como el BB-16 en el cultivo del tomate, principal hortaliza cultivada en Cuba, lo que conllevará no solo a incrementar la producción sino además, a disponer de una tecnología de producción más amigable con el ambiente y por ende, más sostenible en el tiempo.

En el caso de la soya, se demostró que la inmersión de las semillas, durante una hora, en una solución de BB-16 0,05 mg.L<sup>-1</sup> mejoró la respuesta de la interacción simbiótica *Bradyrhizobium*-soya, incrementando tanto el número de nódulos como las masas fresca y seca de los mismos (30).

Se demostró, también, que la aspersión foliar de BB-16 incrementó la producción de frutos en plantas de maracuyá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) (31) y de fresa cv. Misionaria<sup>c</sup> y adelantó ligeramente la maduración de los frutos de toronja (*Citrus paradisi*, Macf.), al favorecer la degradación de la clorofila durante el proceso de desverdización de la corteza en cámara de etileno, lo cual resulta beneficioso para la comercialización de los mismos en el mercado internacional<sup>d</sup>.

Estos resultados confirman la efectividad de estas dos formulaciones como estimuladoras de los rendimientos de los cultivos,

<sup>c</sup>Noriega, C.; Pozo, L. y Rodríguez, M. E. Aplicación de bioestimulantes en el cultivo de la fresa. Programa y Resúmenes XI Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, 1998, 124 p.

<sup>d</sup>García, M. E.; Cáceres, I.; Betancourt, M.; Pozo, L.; Coll, F.; Robaina, C. y Altuna, B. Adelanto del inicio de la cosecha de frutos de toronja (*Citrus paradisi* Macf) mediante aspersiones foliares de fitoreguladores. Programa y Resúmenes. XI Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, 1998, 123 p.

lo que abre nuevas perspectivas para la agricultura. No obstante, aunque ambas formulaciones tienen efectos beneficiosos en el crecimiento y rendimiento de las plantas, hay que tener en cuenta que la síntesis del BIOBRAS-6 es más engorrosa y costosa que la del BIOBRAS-16, por lo que, en los últimos años, los esfuerzos se han encaminado a continuar perfeccionando el uso y manejo de este último.

Por otra parte, se demostró que las dosis más adecuadas han oscilado entre 10 y 50 mg.ha<sup>-1</sup>; siendo más eficaz la aspersión foliar en dos momentos del ciclo del cultivo. Estas dosis están dentro del rango de dosis (5-50 mg.ha<sup>-1</sup>) de EBL recomendadas para estos fines (10), lo que confirma una vez más la actividad similar a los brasinoesteroides naturales que presentan estos análogos.

Se debe destacar, que aún quedan muchas potencialidades del BIOBRAS-16 que deben continuar investigándose como son: la aplicación a otros cultivos, la sustitución parcial o total de algunos productos químicos que se emplean actualmente en la agricultura como plaguicidas, el empleo de otros modos de aplicación como es el tratamiento a las semillas antes de la siembra, ya sea por inmersión o aspersión; así como continuar profundizando en la interacción de estos productos con algunos microorganismos benéficos que son utilizados como biofertilizantes o bioestimulantes; entre otras.

En relación con lo anterior, muy recientemente, en áreas de un productor de la provincia Villa Clara, se realizaron aspersiones con BIOBRAS-16 a las semillas de frijoles, antes de la siembra y se obtuvieron incrementos en los rendimientos del cultivo; lo que evidencia la posible efectividad de otros modos de aplicación de esta formulación (32).

Este producto también ha sido

aplicado en diferentes cultivos en otros países del Continente como Colombia, Venezuela, México, Costa Rica, Panamá y Chile y de Europa como Ucrania y España con buenos resultados. Así, por ejemplo, en Colombia (donde el producto se conoce como Biomex) se aplicaron, foliarmente, plantas de algodón al inicio de la floración y en la maduración de las cápsulas y se obtuvieron incrementos en la producción de hasta un 25 %. Estos resultados fueron muy superiores cuando la aspersión foliar con Biomex se combinó con el recubrimiento de las semillas con micorrizas<sup>E</sup>.

En México, se estudió el efecto del BIOBRAS-16 en frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) y se encontró que la utilización de una concentración de 0.4 mg.L<sup>-1</sup> incrementó tres veces la biomasa total y el rendimiento en un 68 % (33). Además, se informó que la aplicación del producto llamado Bioveg (formulación similar al Biobras-16) en concentraciones que oscilaron entre 0,001 y 1,0 mg.L<sup>-1</sup> a diferentes cultivos, optimizó el rendimiento y protegió a las plantas ante déficit hídrico (34).

## ANÁLOGOS ESPIROSTÁNICOS DE BRASINOESTEROIDES COMO REGULADORES DEL CRECIMIENTO EN LA MICROPROPAGACIÓN MASIVA DE PLANTAS

De todos es conocido, el auge que en los últimos años ha tenido la biotecnología vegetal no solo como una herramienta útil para el mejoramiento genético, sino también como una vía

fundamental para la obtención de "semillas" de alta calidad para la agricultura. Por esta razón, es de gran interés científico-técnico evaluar la posibilidad de utilizar estos análogos como reguladores del crecimiento en los medios de cultivo que se emplean tanto en procesos de organogénesis directa como indirecta.

## EFFECTOS DE ANÁLOGOS ESPIROSTÁNICOS DE BRASINOESTEROIDES EN PROCESOS DE ORGANOGENESIS DIRECTA

En la propagación *in vitro* del banano (*Musa* spp.), se demostró que el BB-6 fue efectivo en sustituir a la citoquinina 6-bencilaminopurina (6-BAP) en la fase de establecimiento<sup>F</sup>. Por otra parte, en banano cv. Gran Enano se evidenció que el BIOBRAS-6 es capaz de sustituir al ácido indol-3-acético (AIA) en la fase de enraizamiento<sup>G</sup> y que además puede ser útil en la fase de multiplicación (35), cuando se adiciona al medio de cultivo que contiene AIA y 6-BAP. Sin embargo, en el plátano (*Musa* spp.) clon FHIA-21<sup>H</sup> y en el plátano macho clon Sobrino (36), se obtuvieron los mejores resultados en la multiplicación cuando el BB-6 se combinó con el 6-BAP en ausencia de AIA.

<sup>F</sup>Rayas, A.; Sánchez, R.; Ventura, J. de la C. y López, J. Efectos del DAA-6 en el medio de implantación para la micropropagación *in vitro* del banano (*Musa* spp.). Programa y Resúmenes X Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, 1996, 158 p.

<sup>G</sup>Rodríguez, T.; Núñez, M.; Vento, H. y Velázquez, M. Efecto del BB-6 en la fase de enraizamiento *in vitro* del plátano var. Gran Enano. XI Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, 1998, 130 p.

<sup>H</sup>Agramonte, D.; Ramírez, D.; Jiménez, F.; Pérez, M.; Gutiérrez, O. y Núñez, M. Efecto del DAA-6 en la micropropagación *in vitro* del plátano (*Musa* spp.) clon FHIA-21. Programa y Resúmenes X Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA., 1996, 158 p.

En otros estudios, utilizando el banano clon FHIA-18 (datos no publicados) se ha demostrado que este análogo puede ser utilizado con éxito en todas las fases de la micropropagación masiva, en sustitución de las auxinas que usualmente se utilizan en este proceso (ácido indolbutírico, AIB, para la fase de establecimiento y AIA, para las fases de multiplicación y enraizamiento).

Recientemente, se demostró que la inmersión de las vitroplantas de banano clon FHIA-18 en soluciones de BIOBRAS-6 (denominado ABr), antes de la transferencia a la fase *ex vitro*, más la aspersión foliar, 15 días después del trasplante, no solo incrementó la supervivencia de las plántulas y promovió el crecimiento de las mismas durante la aclimatización, sino que además estimuló en las hojas, la concentración de proteínas solubles totales y el grosor de la cutícula (37).

En el caso de la papa (*Solanum tuberosum* L.), se encontró (38) que cuando se colocaron nudos de plantas crecidas *in vitro*, de 30 días de edad, de la variedad Desirée, en el medio de propagación enriquecido con BB-6 1 mg.L<sup>-1</sup>, se estimuló de manera significativa la altura, el número de entrenudos y de raíces de las plántulas. Si se tiene en cuenta que el entrenudo es el órgano empleado para la multiplicación *in vitro* de la papa y la cantidad de plántulas que se llevan al campo para la obtención de semilla básica es de cientos de miles, este resultado cobra una relevancia especial para los fines prácticos que se persiguen.

En este mismo cultivo, se demostró que la inmersión de las vitroplantas en soluciones de BB-6 o BB-16 solas o en combinación con ácido naftalenacético (ANA), antes de la transferencia a la fase *ex vitro*, resultó beneficiosa para las vitroplantas, ya que estimularon el desarrollo radical y la longitud del tallo de las mismas (39).

<sup>E</sup>Fernández, F. Efecto del uso del biofertilizante comercial Biofert y el estimulador del crecimiento Biomex sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo del algodón en suelos colombianos. Programa y Resúmenes. X Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA, 1996, 161 p.

Estos compuestos se han utilizado, satisfactoriamente, en la micropropagación de flores y plantas ornamentales. Así, se estudió la inclusión del BB-6 0,5 y 1,0 mg.L<sup>-1</sup> como sustituto de la auxina en el medio de cultivo para la micropropagación de tres variedades de clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) y se demostró que la respuesta fue dependiente de la variedad (40). Por otra parte, se ha informado también la utilidad del empleo del BB-16 en la micropropagación de esta especie<sup>1</sup>.

Por otra parte, con el objetivo de establecer un protocolo para la aclimatización de brotes de un híbrido del género *Vriesea* propagados *in vitro* en sistemas de inmersión temporal se evaluó el efecto de la aplicación de otro análogo, conocido como MH5, en la supervivencia y calidad de los brotes (41).

Además, se estudió la influencia de diferentes concentraciones de BB-6 en la respuesta morfogénica *in vitro* del tomate. Se utilizaron como explantes segmentos apicales de hipocotilos y cotiledones provenientes de plántulas de la var. Amalia cultivadas en medio MS suplementado con BB-6 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-1</sup> mg.L<sup>-1</sup> en presencia o no de 6-BAP 0,25, 0,5, 1,0 mg.L<sup>-1</sup>. Con la adición de BB-6 10<sup>-4</sup> mg.L<sup>-1</sup> en los medios de cultivo de los hipocotilos, se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a eficiencia y frecuencia de regeneración directa (42).

## EFFECTOS DE ANÁLOGOS ESPIROSTÁNICOS DE BRASINOESTEROIDES EN PROCESOS DE ORGANOGÉNESIS INDIRECTA

Se han estudiado diferentes combinaciones de análogos de brasinoesteroides y reguladores

del crecimiento, tanto para la formación de callos como para la regeneración de plantas.

Así, se constató que el BB-6 puede ser utilizado en sustitución de la citoquinina en la regeneración de plantas a partir de callos de arroz (*Oryza sativa* L.) de las variedades Amistad-82 e INCA LP-10, ya que este análogo estimuló notablemente la diferenciación celular (43). Resultados similares se obtuvieron en la diferenciación de callos de papa (44), pues se evidenció que la concentración de 1 mg.L<sup>-1</sup> de este análogo produjo un efecto similar al de la zeatina 2 mg.L<sup>-1</sup>.

Sin embargo, la combinación del BB-6 (10<sup>-4</sup> mg.L<sup>-1</sup>) con 6-BAP (0,25 mg.L<sup>-1</sup>) en el medio de cultivo benefició notablemente la formación de callos, a partir de segmentos apicales de hipocotilos y cotiledones provenientes de plántulas de tomate var. Amalia, favoreciendo un lento proceso de regeneración indirecta (42).

En la formación de callos de *Coffea canephora* var. Robusta, se evidenció que el DAA-6 y el MH-5 0,01 mg.L<sup>-1</sup> en sustitución de la citoquinina, brindaron resultados satisfactorios en la evolución del callo, siendo el MH-5, el de mejor comportamiento; ya que no solo funcionó en el proceso, sino que también favoreció su desarrollo en el tiempo (45).

Partiendo de los resultados anteriores, se desarrolló otro experimento, donde se estudió la influencia de la inclusión en el medio de cultivo del MH-5 0,01 mg.L<sup>-1</sup> en combinación con el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) 0,25 y 0,50 mg.L<sup>-1</sup> y con el 2,4-D 0,25 y 0,50 mg.L<sup>-1</sup> + kinetina 2 mg.L<sup>-1</sup> en la dinámica de crecimiento de callos de *Coffea canephora* var. Robusta. Los resultados permitieron establecer la actividad biológica del análogo MH-5, observándose valores adecuados de masa fresca de los callos y un favorecimiento en el balance de los reguladores del

crecimiento, independientemente, de la presencia o no de kinetina y de la concentración de 2,4-D en el medio del cultivo (46).

Se informó, también, una estimulación en la formación de callos embriogénicos de papa, cuando se sustituyó en el medio de cultivo la kinetina por los análogos de brasinoesteroides BB-6 y MH-5 (47).

En boniato (*Ipomoea batatas* L.), se obtuvieron buenos resultados en la inducción de callos cuando el BB-6 y el MH-5 se utilizaron tanto de forma independiente como en combinación con 2,4-D y 6-BAP. Sin embargo, la regeneración de plantas solamente se favoreció con la adición del BB-6 al AIA y la kinetina (48).

La adición de BIOBRAS-6 0,01 mg.L<sup>-1</sup> a un medio de cultivo que contenía AIA y 6-BAP incrementó la germinación de embriones somáticos del cultivar híbrido FHIA-18 (AAAB), recomendándose este nuevo medio para la embriogénesis somática en medios líquidos (49).

Está bien documentado que los brasinoesteroides estimulan procesos fisiológicos específicos entre los que se encuentran la elongación, la división y la diferenciación celular. Por otra parte, se ha informado que los BRs promueven la proliferación celular en combinación con auxinas y citoquininas en células cultivadas del parénquima de *Helianthus tuberosum* L. y en protoplastos de col china y de petunia (50). Además, se ha sugerido que los BRs juegan un papel importante en la división celular de *Arabidopsis*, en cultivos de suspensión del mutante *det2*, donde se mostró que la 24-epibrasinólida (EBL) provoca un incremento en los niveles de transcriptos del gen que codifica para la ciclina-D3, una proteína reguladora del ciclo celular. La ciclina-D3 es regulada por las citoquininas y puede ser significativo que la EBL sea capaz de sustituir eficientemente a la zeatina (una citoquinina natural)

<sup>1</sup>Castilla, Y. Micropropagación del clavel español (*Dianthus caryophyllus* L.) con el empleo de Biobras-16. [Tesis de Maestría]. Universidad de la Habana, 2008. 65 p.

en el crecimiento de callos y en cultivos en suspensión de *Arabidopsis* (51).

Esto sugiere que estos análogos y en especial el BB-6 y el MH-5 pudieran estar actuando de manera similar a los brasinoesteroides naturales, ya que como se analizó anteriormente ellos sustituyeron, satisfactoriamente, a las citoquininas (zeatina y kinetina) que se utilizan en la formación de callos de diferentes especies.

Estos resultados revelan que estos análogos espirostánicos de brasinoesteroides, sintetizados en Cuba, pueden ser utilizados como reguladores del crecimiento en la biotecnología vegetal. Ahora bien, la utilización de los mismos como sustitutos de auxinas o de citoquininas o como complementos de los reguladores que se emplean tradicionalmente, dependerá del proceso biológico que se quiera evaluar, así como del tipo de explante que se utilice, entre otros factores.

## CONCLUSIONES

De todos es conocido que en los últimos años, se han hecho numerosos esfuerzos, a nivel internacional, para dilucidar los mecanismos de acción de los BRs en las plantas. Con este fin, se han utilizado como herramientas mutantes asociados a la biosíntesis y percepción de los BRs, los cuales han permitido determinar, por ejemplo, que estos compuestos regulan la expresión de genes de la expansión celular, ya que se demostró que los BRs están involucrados en la regulación de los niveles de expansinas, proteínas que inducen la extensión de las paredes celulares, en *Arabidopsis* (52).

Por otra parte, en una revisión reciente, se plantearon, además, la interacción que existen entre los BRs y las otras hormonas vegetales en las respuestas de crecimiento de las plantas y ante condiciones de estrés (53). De esta forma,

se señala que las interacciones entre el ácido abscísico (ABA) y los BRs regulan la expresión de muchos genes que gobiernan varios procesos biológicos, tales como la germinación de las semillas, el cierre estomático y las respuestas al estrés ambiental y se ha propuesto, que las cascadas de señales de los BRs y el ABA se cruzan justamente después de la percepción de los BRs y antes de su activación transcripcional. Además, se ha sugerido que las auxinas ejercen un control directo en la biosíntesis de los BRs en plantas; que los BRs influyen positivamente en la biosíntesis del etileno a través de la regulación de las actividades de las enzimas ACS y ACC oxidasa y que existen interacciones y rutas cruzadas entre los BRs y las citoquininas en varios procesos biológicos.

En esta revisión se demostró que los análogos espirostánicos y en particular, las formulaciones conocidas como BIOBRAS-6 y BIOBRAS-16 son capaces de estimular la germinación y el crecimiento de las plantas y estos efectos ocurren cuando se aplican muy bajas concentraciones, similares a las que se utilizan cuando se aplican brasinoesteroides naturales.

Por otra parte, ambas formulaciones, poseen también amplias potencialidades para ser utilizadas en la agricultura como estimuladores del rendimiento de los cultivos; revelándose la importancia del manejo adecuado de las dosis y los momentos de aplicación para la obtención de los efectos esperados.

Se demostró, también, la factibilidad del uso potencial del BIOBRAS-6 como regulador del crecimiento en la micropropagación masiva de algunas especies vegetales; sin embargo, la mayoría de los resultados presentados se han obtenido en una de las fases de este proceso y no hay apenas información del efecto de la inclusión de este análogo en todas

las fases de la micropropagación, lo cual pudiera incrementar la efectividad de este proceso en las biofábricas.

Sin embargo, como se puede apreciar, las investigaciones realizadas hasta la fecha han estado dirigidas a evaluar las respuestas del crecimiento y el rendimiento de las plantas a las aplicaciones de estos análogos; quedando aún pendiente dilucidar los mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que utilizan estos compuestos para ejercer sus efectos, lo cual permitiría determinar si ellos actúan de manera similar a los brasinoesteroides naturales o si utilizan otros mecanismos de acción.

## REFERENCIAS

1. Ikekawa, N. y Zhao, Y-J. Application of 24-epibrassinolide in agriculture. En: *Brassinosteroids. Chemistry, Bioactivity and Applications*. ACS Symposium Series. Washington : Eds. American Chem. Society. 1991. Chapter 24. p. 280-291. ISBN: 9780841213302. DOI: 10.1021/bk-1991-0474.ch024.
2. Lim, U-K. Studies of the effects of brassinosteroid treatment on the growth and yield of crops. *Proc. Plant Growth Regul. Soc. Amer.*, 1985, p. 213-219.
3. Abe, H. Advances in brassinosteroid research and prospects for its agricultural application. *Japan Pesticide Information*, 1989, vol. 55, p. 10-14.
4. Fujii, S.; Hirai, K. y Saka, H. Growth-regulating action of brassinolide in rice plants. En: *Brassinosteroids. Chemistry, Bioactivity and Applications*.- Washington: Am. Chem. Soc. 1991.
5. Khrupach, V. A.; Zhabinskii, V. y Litvinovskaya, R. Synthesis and some practical aspects of brassinosteroids. En: *Brassinosteroids. Chemistry, Bioactivity and Applications*. ACS Symposium Series. Washington: Eds. American Chem. Society. 1991. Chapter 5. p. 43-55. ISBN: 9780841213302. DOI: 10.1021/bk-1991-0474.ch005.

6. Wang, Y-Q.; Luo, W. y Zhao, Y. J. Effect of epibrassinolide on growth and fruit quality of watermelon. *Plant Physiol. Comm.*, 1994, vol. 30, p. 423-425.
7. Prusakova, L. D.; Chizhova, S. I. y Khripach, V. A. K. Lodging resistance and productivity of spring barley and perennial wheat under the effect of brassinosteroids. *Sel'skokhozyaistvennaya Biol.*, 1995, no. 1, p. 93-97.
8. Ramraj, V. M.; Vyas, B. N.; Godrey, N. B.; Mistry, K. B.; Swami, B. N. y Singh, N. Effects of 28-homobrassinolide on yields of wheat, rice, groundnut, mustard, potato and cotton. *J. Agric. Sci.*, 1997, vol. 128, p. 405-413.
9. Vidya, B. y Ram, S. Effect of brassinosteroids on growth, metabolite content and yield of *Arachis hypogaea*. *Phytochem.*, 1998, vol. 48, no. 6, p. 927-930.
10. Khripach, V. A.; Zhabinskii, A. y de Groot, A. E. Brassinosteroids. A new class of plant hormones. San Diego: Academic Press, 1999.
11. Kamuro, Y. y Takatsuto, S. Practical application of brassinosteroids in agricultural fields. En: Brassinosteroids. Steroidal Plant Hormones. Tokyo: Eds. Springer-Verlag. 1999. Cap. 10. p. 223-241.
12. Sasse, J. M. Recent progress in brassinosteroid research. *Physiol. Plant.*, 1997, vol. 100, p. 696-701.
13. Pozo, L.; Rivera, T.; Noriega, C.; Iglesias, M.; Coll, F.; Robaina, C.; Velázquez, B.; Rodríguez, O. L. y Rodríguez, M. E. Algunos resultados en el cultivo de los frutales mediante la utilización de brasinoesteroides o compuestos análogos. *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 3, p. 79.
14. Almenares, G. R.; Pozo, L.; Martínez, J. L. e Iglesias, M. Efecto de compuestos brasinoesteroides en la germinación de semillas de cítricos. *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 3, p. 86.
15. Ortega, P.; Rodés, R.; Ortega, E.; Fernández, L.; Díez, M. y García, V. Efecto de un brasinoesteroide sintético (DAA-6) sobre el crecimiento del vástago y las raíces de la caña de azúcar. *Rev. CENIC, Ciencias Biológicas*, 2003, vol. 34, no. 2, p. 67-72.
16. Núñez, M.; Torres, W. y Echevarría, I. Influencia de un análogo de brasinoesteroide en el crecimiento y la actividad metabólica de plantas jóvenes de tomate. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no. 3, p. 26-30.
17. Terry, E.; Ruiz, J.; Tejada, T.; Reynaldo, I. y Díaz, M. M. Respuesta del cultivo de la lechuga a la aplicación de diferentes productos bioactivos. *Cultivos Tropicales*, 2011, vol. 32, no. 1, p. 77-82.
18. Ramírez, A. Respuesta del injerto en el mamey Colorado (*Pouteria sapota* Jacq.) al uso del BIOBRAS-16. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 1, p. 37-39.
19. Suárez, L. Efecto que ejercen las aspersiones foliares de una mezcla de oligogalacturónidos (Pectimorf) y la formulación a base de un análogo de brasinoesteroides (Biobras-16) en dos especies de orquídeas (*Cattleya leuddemanni* y *Guarianthe skinneri*). *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 4, p. 87-91.
20. Kandelinskaya, O. L.; Topunov, A. F. y Grishchenko, E. R. Biochemical aspects of growth-stimulating effects of steroid phytohormones on lupine plants. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2007, vol. 43, no. 3, p. 324-331.
21. Müssig, C. Brassinosteroid-promoted growth. *Plant Biology*, 2005, vol. 7, p. 110-117.
22. Mazorra, L. M.; Núñez, M.; Nápoles, M. C.; Yoshida, S.; Robaina, C.; Coll, F. y Asami, T. Effects of structural analogs of brassinosteroids on the recovery of growth inhibition by a specific brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *Plant Growth Regul.*, 2004, vol. 44, p. 183-185.
23. Núñez, M. Aplicaciones prácticas de los brasinoesteroides y sus análogos en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 3, p. 63-72.
24. Morejón, R.; Díaz, S. y Núñez, M. Efecto del análogo de brasinoesteroides BIOBRAS-6 en el rendimiento y otros caracteres en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 1, p. 55-59.
25. Corbera, J. y Núñez, M. Evaluación agronómica del análogo de brasinoesteroides BB-6 en soya, inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* y HMA, cultivada en invierno en un suelo ferralsol. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 3, p. 9-13.
26. Almenares, J. C.; Cuñarro, R.; Ravelo, R.; Fitó, E.; Moreno, I. y Núñez, M. Influencia de diferentes dosis y momentos de aplicación del BIOBRAS-16 en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 3, p. 77-81.
27. Díaz, S.; Morejón, R. y Núñez, M. Effects of BIOBRAS-16 on rice (*Oryza sativa* L.) yield and other characters. *Cultivos Tropicales*, 2003, vol. 24, no. 2, p. 35-40.
28. Morejón, R.; Díaz, S. y Núñez, M. Uso del BIOBRAS-16 en áreas de pequeños productores de la provincia de Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28 no. 2, p. 91-93.
29. Terry, E.; Núñez, M.; Pino, M. y Medina, N. Efectividad de la combinación biofertilizantes-análogo de brasinoesteroides en la nutrición del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 22, no. 2, p. 59-65.
30. Costales, D.; Nápoles, M. C.; Falcón, A. y Núñez, M. Influencia de un análogo de brasinoesteroide sobre la nodulación de plántulas de soya (*Glycine max* (L.) Merrill). *Cultivos Tropicales*, 2008, vol. 29, no. 2, p. 65-69.
31. Gomes, M.; Campostrini, E.; Rocha, N.; Pio, A.; Massi, T.; Siqueira, L.; Carriello, R.; Torres, A.; Núñez, M. y Zullo, M. A. T. Brassinosteroid analogue effects on the yield of yellow passion fruit plants (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Sci. Hort.*, 2006, vol. 110, p. 235-240.
32. Rosabal Ayan, L.; Martínez González, L.; Reyes Guerrero, Y. y Núñez Vázquez, M. Resultados preliminares del efecto de la aplicación de BIOBRAS-16 en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 3, p. 71-75.

33. Vargas, M. L. P. e Irizar, M. B. G. Efecto del brasinoesteroide y densidad de población en la acumulación de biomasa y rendimiento de ayacote (*Phaseolus coccineus* L.). *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 2005, vol. 11, p. 269-272.
34. Salgado, R.; Cortés, M. A. y del Río, R. E. Uso de brasinoesteroides y sus análogos en la agricultura. *Biológicas Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 2008, no. 10, p. 18-27.
35. Rodríguez, T.; Núñez, M. y Vento, H. Influencia de un análogo de brasinoesteroides en la fase de multiplicación *in vitro* del banano (*Musa spp.*) variedad Gran Enano. *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no. 2, p. 19-22.
36. Héctor, E.; Torres, A.; Algae, S.; Cabañas, M. y López, A. Propagación *in vitro* del plátano macho clon Sobrino con los bioestimulantes cubanos BB-6 y Biostan como sustitutos de los reguladores del crecimiento. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 1, p. 13-18.
37. Izquierdo, H.; González, M. C.; Núñez, M.; Proenza, R. y Álvarez, I. Efectos de la aplicación de un análogo espiroestánico de brasinoesteroides en vitroplantas de banano (*Musa spp.*) durante la fase de aclimatización. *Cultivos Tropicales*, 2012, vol. 33, no. 1, p. 71-76.
38. Hernández, M. M.; Moré, O. y Núñez, M. Empleo de análogos de brasinoesteroides en el cultivo *in vitro* de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 4, p. 41-44.
39. Agramonte, D.; Jiménez, F. A.; Pérez, M.; Gutiérrez, O.; Ramírez, D. y Núñez, M. Empleo de sustancias bioestimuladoras (Biobras-6 y Biobras-16) en la fase de adaptación de vitroplantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). Programa y Resúmenes X Seminario Científico. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana: INCA. 1996. p. 162.
40. Montes, S.; Mesa, O.; Hernández, M. M.; Santana, N.; Núñez, M. y Varela, M. Uso del análogo de brasinoesteroide BB-6 en la micropropagación del clavel. *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 2, p. 51-55.
41. Capote, I.; Escalona, M.; Daquinta, M.; Pina, D.; González, J. y Aragón, C. Efecto del análogo de brasinoesteroide (MH5) en la aclimatización de brotes de *Vriesea* propagados en sistema de inmersión temporal. *Ciencia y Tecnología*, 2009, no. 3, p. 29-33.
42. Plana, D.; Alvarez, M.; Florido, M.; Lara, R. M. y Núñez, M. Efecto del Biobras-6 en la morfogénesis *in vitro* del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) var. Amalia. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 2, p. 21-25.
43. González, M. C.; Merrys, A. K. y Núñez, M. Utilización del brasinoesteroide como posible sustituto de citoquininas *in vitro*. *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 3, p. 78.
44. Hernández, M. M. Empleo de brasinoesteroides para la diferenciación en callos de papa (*Solanum tuberosum* Lin.). *Cultivos Tropicales*, 1994, vol. 15, no. 3, p. 78.
45. García, D.; Marrero, M. T.; Cuba, M. y Núñez, M. Efecto cualitativo de análogos de brasinoesteroides como sustitutos hormonales en la callogénesis de café (*Coffea canephora* variedad Robusta). *Cultivos Tropicales*, 1997, vol. 18, no. 2, p. 44-46.
46. García, D.; Torres, W.; Cuba, M. y Núñez, M. Análisis del crecimiento de callos de *Coffea canephora* var. Robusta en presencia del análogo de brasinoesteroides MH-5. *Cultivos Tropicales*, 1998, vol. 19, no. 3, p. 55-60.
47. Moré, O.; Hernández, M. M.; Núñez, M.; Estévez, A. y González, M. E. Empleo de dos análogos de brasinoesteroides en la formación de callos embriogénicos en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 2001, vol. 22, no. 4, p. 29-35.
48. González, O.; Núñez, M.; Hernández, M. M.; Silva, J. J. y Espinosa, A. Efecto de dos análogos de brasinoesteroides en la inducción y regeneración de callos de *Ipomoea batatas*. *Biotechnología Vegetal*, 2003, vol. 3, no. 2, p. 173-175.
49. Gómez, R.; Gilliard, T.; Barranco, L. y Reyes, M. Embriogénesis somática en medios líquidos. Maduración y aumento de la germinación en el cultivar híbrido FHIA-18 (AAAB). *InfoMusa*, 2000, vol. 9, no. 1, p. 12-16.
50. Ashraf, M.; Akram, N.A.; Arteca, R. N.; Foolad, M. R. The physiological, biochemical and molecular roles of brassinosteroids and salicylic acid in plant processes and salt tolerance. *Critical Reviews in Plant Sci.*, 2010, vol. 29, no. 3, p. 162-190.
51. Hu, Y.; Bao, F. y Li, J. Y. Promotive effects of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD3-induction pathway in Arabidopsis. *Plant. J.*, 2000, vol. 24, p. 693-701.
52. Park, C. H.; Kim, T. W.; Son, S. H.; Hwang, J. Y.; Lee, S. C.; Chang, S. C.; Kim, S.-H.; Kim, S. W. y Kim, S.-K. Brassinosteroids control AtEXPA5 gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Phytochem.*, 2010, vol. 71, no. 4, p. 380-387.
53. Choudhary, S. P.; Yu, J.-Q.; Yamaguchi-Shinozaki, K.; Shinozaki, K. y Phan Tran, L. S. Benefits of brassinosteroid crosstalk. *Trends Plant Sci.*, 2012, vol. 17, no. 10, p. 594-604.

Recibido: 2 de noviembre de 2012

Aceptado: 30 de septiembre de 2013

#### ¿Cómo citar?

Núñez Vázquez, Miriam; Reyes Guerrero, Yanelis; Rosabal Ayán, Lissy y Martínez González, Lisbel. Análogos espiroestánicos de brasinoesteroides y sus potencialidades de uso en la agricultura. *Cultivos Tropicales*, 2014, vol. 35, no. 2, p. 34-42.