



ARTÍCULO ORIGINAL

## El análogo de brasinoesteroides DI-31 varía la arquitectura de la raíz en los cultivares de interés comercial INCA LP-5 y Perla de Cuba de *Oryza sativa* L. (Poaceae)

*The brassinosteroid analog DI-31 modify the root architecture of commercial cultivars INCA LP-5 and Perla de Cuba of Oryza sativa L. (Poaceae)*

Alenna Vázquez-Glaria<sup>1</sup>, Amanda Duvergel-Terry<sup>1</sup>, Patricia Ortega-Rodés<sup>1</sup>, Eduardo Ortega<sup>1</sup>, Yamilet Coll<sup>2</sup>, Loiret F.G.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Centro de Estudio de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad de La Habana, Cuba

\* Autor para correspondencia:  
loiret@fq.uh.cu

### RESUMEN

El estudio de la arquitectura de la raíz permite describir la forma y estructura del sistema radical en las plantas. Las variaciones en la misma están condicionadas por factores ambientales, así como hormonales. Los brasinoesteroides y sus análogos promueven el desarrollo del sistema radical, aunque no existen muchos estudios que demuestren su efecto en la arquitectura de la raíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del análogo de brasinoesteroide DI-31 en la arquitectura de la raíz de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) cv. INCA LP-5 y Perla de Cuba. Se emplearon semillas de ambos cultivares y el análogo de brasinoesteroide DI-31. El peso de las semillas durante la toma de agua tuvo un incremento rápido durante las primeras 15 horas manteniéndose estable posteriormente hasta las 30 horas, momento en que comienza la Fase III de la germinación. No existen diferencias significativas entre los valores de porcentaje de germinación entre los tratamientos empleados en los cultivares estudiados. Las mediciones de los parámetros de la arquitectura de la raíz fueron realizadas con el programa SmartRoot de Image J. La longitud de la radícula fue significativamente mayor para el cultivar INCA LP-5 en los tratamientos con DI-31 no siendo así para el cultivar Perla de Cuba. Se observó diferencias significativas para las variables longitud de la radícula, raíces laterales y densidad de raíces laterales con DI-31 para el cultivar INCA LP-5.

**Palabras clave:** arroz, raíces laterales, germinación, imbibición

**Recibido:** 2019-07-11

**Aceptado:** 2019-10-01

## ABSTRACT

The study of the root architecture allows to describe the shape and structure of the root system in plants, variations are conditioned by environmental as well as hormonal factors. The brassinosteroids and their analogues promote the development of the root system but there are not many studies about its effect on the root architecture. The aim of this work was to evaluate the effect of brassinosteroid analog DI-31 on the root architecture of two rice cultivars (*Oryza sativa* L.) cv. INCA LP-5 and Perla de Cuba. The water uptake of the seeds had a rapid increase during the first 15 hours, remaining stable until 30 hours, when the third phase of the germination started. There are no significant differences between the germination percentage values between the treatments used in the cultivars studied. The measurements of the root were made with the Image J SmartRoot program. The radicle length was significantly greater for the cultivar INCA LP-5 in the treatments with DI-31, but not for the cultivar Perla de Cuba. Significant differences were observed for root length, lateral root variables and lateral root density with DI-31 for INCA LP-5 cultivar.

**Keywords:** rice, lateral roots, germination, imbibition

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo del sistema radical necesita de una coordinada regulación de elementos endógenos, así como de señales ambientales. Numerosos estudios han demostrado que este desarrollo está estrechamente ligado con las fitohormonas (Pacifi et al., 2015). Los brasinoesteroides (BRs) son hormonas esteroidales que juegan un papel esencial en muchos aspectos del crecimiento y desarrollo de las plantas como la elongación celular, la división celular, la senescencia, la diferenciación celular, diferenciación vascular, reproducción y la respuesta a diferentes estreses (Clouse y Sasse, 1998, Divi y Krishna, 2009). Se ha demostrado que bajas concentraciones de BR promueven el crecimiento de la raíz principal (Mazorra et al., 2004, Hacham et al., 2011, Nuñez et al., 2016) y el desarrollo de las raíces laterales (Bao et al., 2004; Gupta et al., 2015).

El estudio de la arquitectura de la raíz (AR) va más allá del crecimiento de la raíz principal y las raíces laterales; la misma comprende todo un sistema de aspectos como son la anatomía y morfología, así como su topología y distribución de la misma (Jung y McCouch, 2013). El estudio de la AR permite describir la forma y estructura del sistema radical en las plantas (de Dorlodot et al., 2007), el cual es esencial en la toma de agua y nutrientes del suelo. Debido a esto resulta importante el estudio de las variaciones de la AR en condiciones ambientales como el estrés hídrico, salino o la deficiencia de nutrientes en el suelo. Además, el estudio de la respuesta del sistema radical a la aplicación de fitohormonas de origen sintético, como

los análogos de brasinoesteroides, pudiera resultar en soluciones para el manejo de los cultivos. Sin embargo, son pocos los estudios en los que se analizan el efecto de brasinoesteroides y sus análogos en la variación de la arquitectura de la raíz más allá del desarrollo de la raíz principal en plantas y particularmente en arroz. Debido a esto el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del análogo de brasinoesteroide DI-31 en la arquitectura de la raíz de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) cv. INCA LP-5 y Perla de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se emplearon semillas biológicas de dos cultivares de *Oryza sativa*: INCA LP-5 del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (Pérez y Castro, 2000) y Perla de Cuba producida por el Instituto de Investigaciones de Granos. Se empleó el brasinoesteroide sintético DI-31, producto activo de la formulación Biobras 16, producido en el Centro de Estudios de Productos Naturales de la Facultad de Química de la Universidad de La Habana.

### Toma de agua

Para obtener la curva de toma de agua del material biológico se prepararon 5 grupos de 5 semillas de cada cultivar estudiado; las semillas se pesaron y luego se colocaron en agua destilada o en una solución de DI-31 a una concentración de 1 ppm durante 30 horas. La medición de la toma de agua se realizó cada 30 minutos eliminando el exceso de solución con papel de filtro.

## Germinación

Las semillas se desinfectaron externamente con hipoclorito de sodio al 1 % y se enjuagaron con agua destilada estéril hasta eliminar el olor a cloro. Estas se embebieron en soluciones del brasinoesteroide DI-31 (1 ppm; 0,1 ppm y 0,01 ppm) durante 30 minutos en agitación (100 rpm). Se utilizaron como control semillas en agua destilada estéril. Las semillas germinaron en una cámara húmeda con papel de germinación humedecido con agua destilada estéril a 30 °C durante 48 horas en la oscuridad. Se emplearon 4 placas por cada tratamiento con 25 semillas, se determinó el porcentaje de germinación.

## Arquitectura de la raíz

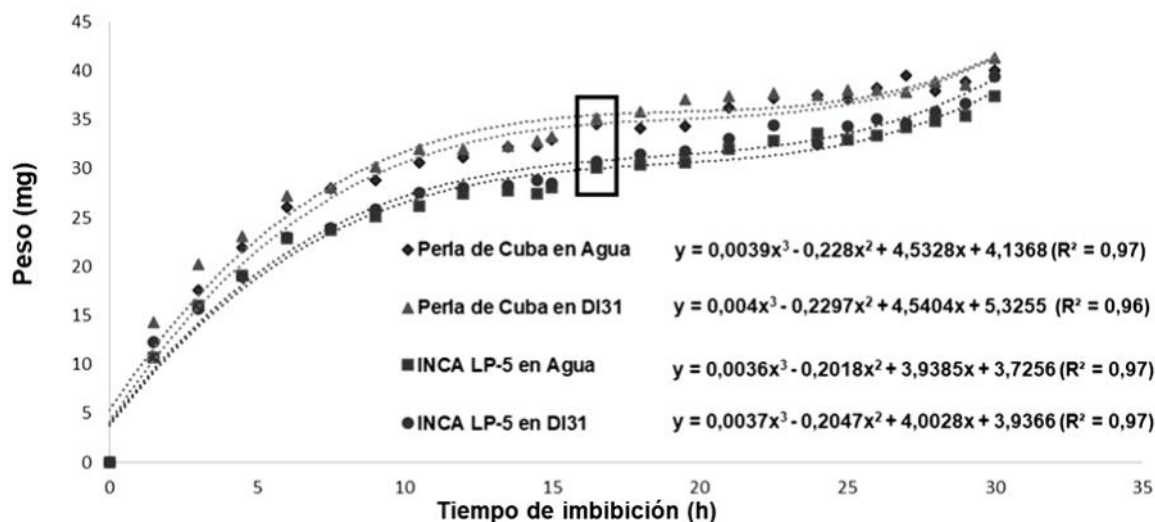
Para evaluar la arquitectura de la raíz, las semillas se desinfectaron y se trataron como se describió en el acápite anterior. Veinticinco semillas de cada cultivar se incubaron a 30°C en la oscuridad durante 7 días, en papel Germitest® húmedo, enrollado y colocado de forma vertical dentro de una bolsa plástica cerrada herméticamente, siguiendo un diseño completamente aleatorizado. Al papel de germinación se le agregó agua destilada tres veces su peso, garantizando que estuviera completamente húmedo y quedara exceso de agua. Se tomaron fotos de las raíces y se procesaron en el programa SmartRoot de ImageJ. Las variables medidas fueron: longitud de la radícula (LR), número de raíces laterales (RL) y densidad de raíces laterales (DRL).

A los datos se les realizó un Análisis de varianza paramétrico de clasificación doble para determinar el efecto de los factores y la interacción entre ellos, previa comprobación de las premisas y luego se realizó una prueba Tukey para determinar las diferencias entre los tratamientos. Se utilizó un nivel de significación de 0,05.

## RESULTADOS

### Curva de toma de agua

El peso de las semillas de los cultivares INCA LP-5 y Perla de Cuba durante la toma de agua se caracterizó por un incremento rápido en las primeras 15 horas. La comparación mediante ANOVA bifactorial mostró que no existe efecto del brasinoesteroide en la absorción de agua a las 18 horas, momento en el cual ha concluido la Fase I de la germinación. Sin embargo, sí fue significativo el efecto del cultivar (Fig. 1); el análisis no reveló interacción entre los factores variedad x brasinoesteroide. Posteriormente este incremento de peso fue más lento manteniéndose estable hasta las 30 horas donde ya se observa un mayor aumento del peso de las semillas, como resultado del comienzo de la Fase III de la germinación (Fig. 1).



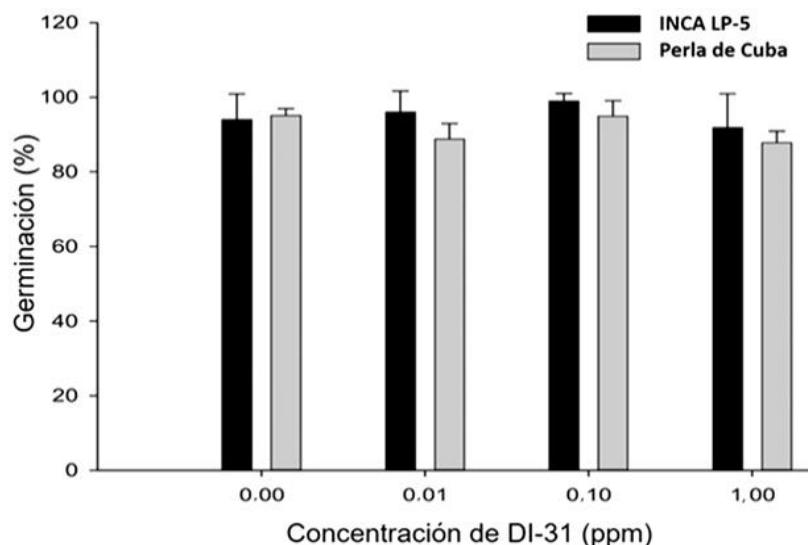
**Figura 1.** Curva de toma de agua de los cultivares Perla de Cuba e INCA LP-5 (*Oryza sativa*) durante 30 horas de imbibición en agua destilada y en una solución de DI-31 (1 ppm). Las variables se ajustan a una curva polinómica de tercer grado. Existen diferencias significativas en la toma de agua entre los cultivares INCA LP-5 y Perla de Cuba a las 18 horas (recuadro), se empleó un ANOVA bifactorial (factores: brasinoesteroide y cultivar),  $p < 0,05$ ,  $n = 5$ .

**Figure 1.** Water uptake curve of the Perla de Cuba and INCA LP-5 (*Oryza sativa*) cultivars for 30 hours of imbibition in distilled water and in a solution of DI-31 (1 ppm). The variables fit a third degree polynomial curve. There are significant differences in the water uptake between the INCA LP-5 and Perla de Cuba cultivars at 18 hours (box), a bifactorial ANOVA was used (factors: brassinosteroid and cultivar),  $p < 0.05$ ,  $n = 5$ .

### Germinación

El ANOVA bifactorial indicó que existen diferencias en la germinación entre los cultivares, INCA LP-5 presenta un porcentaje de germinación mayor (95 %) que Perla de Cuba (91 %). El análisis estadístico mostró

que la germinación de los cultivares no varía por efecto de la concentración de brasinoesteroide, y no existe interacción entre el factor variedad y concentración del análogo de brasinoesteroide (Fig. 2).



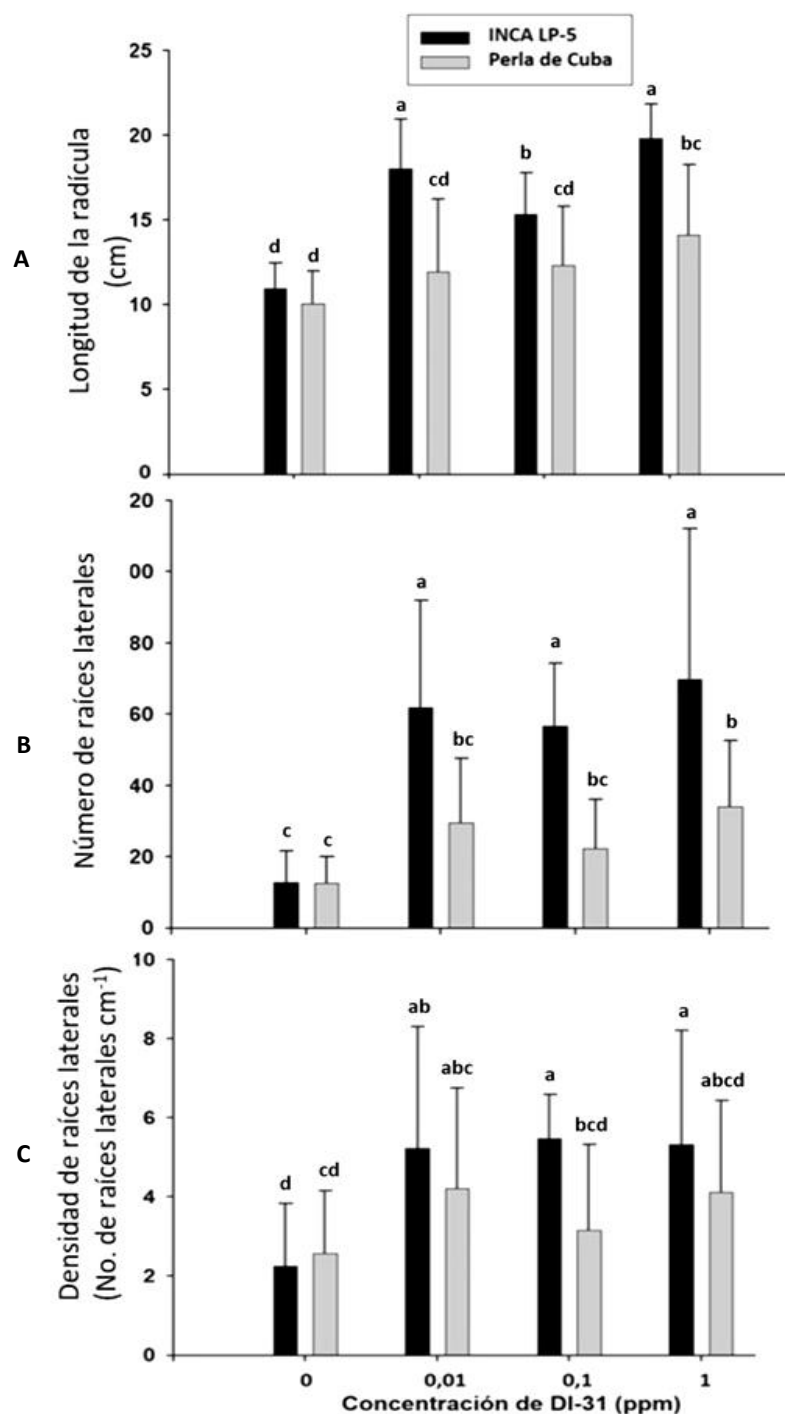
**Figura 2.** Porcentaje de germinación de los cultivares de arroz (*Oryza sativa*) INCA LP-5 y Perla de Cuba tratados con tres concentraciones de DI-31 y un control con agua destilada. No existen diferencias en el porcentaje de germinación entre los tratamientos. Los datos que se muestran son la media  $\pm$  DE. Análisis ANOVA bifactorial (concentración de brasinoesteroide y cultivar). Tukey  $p < 0.05$ ,  $n = 4$ .

**Figure 2.** Germination percentage of rice cultivars (*Oryza sativa*) INCA LP-5 and Perla de Cuba treated with three concentrations of DI-31 and a control with distilled water. There are no differences in the percentage of germination between treatments. The data shown are the mean  $\pm$  SD. Bifactorial ANOVA analysis (concentration of brassinosteroid and cultivar). Tukey  $p < 0.05$ ,  $n = 4$ .

### Arquitectura de la raíz

La longitud de la radícula (LR) y el número de raíces laterales (RL) del cultivar INCA LP-5 fueron mayores en las concentraciones de DI-31 de 0,01; 0,1 y 1 ppm (Fig. 3), estos valores difieren significativamente del control y del resto de los tratamientos empleados evidenciando un efecto del brasinoesteroide DI-31 a dichas concentraciones. En el cultivar Perla de Cuba solo se encontraron diferencias entre los tratamientos y el control con 1 ppm de DI-31. Ambos cultivares mostraron respuestas diferentes en las variables LR y RL producto de la aplicación de DI-31.

Con la densidad de raíces laterales ocurre similar a las variables antes analizadas (LR y RL); es el cultivar INCA LP-5 el que mayores valores de DRL presenta cuando se aplica la hormona (Fig. 3). En este caso son las concentraciones de 0,1 y 1 ppm de DI-31 las que presentan los valores máximos de DRL para esta variedad. En el cultivar Perla de Cuba no hubo diferencias significativas en los valores de DRL entre los tratamientos y el control.



**Figura 3.** Efecto de la concentración del análogo de brasinoesteroide DI-31 sobre la longitud de la radícula (A), el número de raíces laterales (B) y la densidad de raíces laterales (C) de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa*), INCA LP-5 y Perla de Cuba a los 7 días. Los datos que se muestran son la media  $\pm$  DE ( $n = 25$ ), letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según ANOVA bifactorial (variedad  $\times$  concentración), Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Figure 3.** Effect of the concentration of the brassinosteroid analog DI-31 on the radicle length (A), the number of lateral roots (B) and the lateral root density (C) of two rice cultivars (*Oryza sativa*), INCA LP-5 and Perla de Cuba at 7 days. The data shown are the mean  $\pm$  SD ( $n = 25$ ), different letters indicate significant differences between treatments according to bifactorial ANOVA (variety  $\times$  concentration), Tukey ( $p < 0, 05$ ).

## DISCUSIÓN

### Germinación

La germinación de las semillas es un paso importante en el ciclo de las plantas e incluye procesos fisiológicos que comienzan con la toma de agua hasta la emergencia de la radícula (Bewley, 1997). La curva de toma de agua muestra claramente las dos primeras fases descritas por Bewley (1997), para el aumento del contenido de agua en las semillas durante la germinación. La primera fase de la germinación de los cultivares de arroz INCA LP-5 y Perla de Cuba tiene una duración de 15 horas a diferencia de lo obtenido por Yang *et al.* (2007) quienes reportaron que la Fase I de toma de agua en *Oryza sativa indica* cv. 9311 tuvo una duración de 20 horas. La Fase II de toma de agua de los cultivares cubanos ocurre hasta las 30 horas; tiempo a partir del cual ya se puede observar el inicio de la Fase III. Este resultado también difiere de lo informado por Yang *et al.* (2007) quienes indican que la Fase II se mantuvo hasta las 50 horas. La diferencia en la duración de las dos primeras fases puede estar relacionado con las características intrínsecas de las variedades. También pudiera haber un efecto de la temperatura, ya que nuestro experimento se realizó a 30 °C y los experimentos de Yang *et al.* (2007) fueron a 26 °C.

Las diferencias en la duración de las fases y en la cantidad de agua absorbida por las variedades debe estar relacionado con la composición del grano de arroz. El proceso de germinación es complejo y depende en gran medida de la degradación de los gránulos de almidón mediante la acción enzimática de  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa y  $\beta$ -glucosidasa (Dunn, 1974). El contenido de amilosa y amilopectina en semillas de arroz determina diferencias en el contenido de azúcares reductores y oligosacáridos durante la germinación (Saman *et al.*, 2008), lo que podría influir en la toma de agua. Las diferencias entre cultivares de arroz en la toma de agua también ha sido informada por Shittu *et al.* (2012), que plantean que se deben a diferencias en el grosor y porosidad de la testa y en la esfericidad, densidad y porcentaje de humedad del grano. Las semillas usadas de INCA LP-5 y Perla de Cuba no tenían diferencias en la humedad, además ha sido informado que los granos de estas variedades no son muy diferentes en cuanto a su forma; sin embargo, el contenido de amilosa sí es diferente (INCA LP-5, 16,7 % y Perla de Cuba 18,7 % base seca) (Toro *et al.*, 2007). Consideramos que esto último puede ser la causa de las diferencias en la absorción de agua entre los dos cultivares.

Los BRs tienen un potente rol en la geminación de las semillas (Sano *et al.*, 2017), sin embargo, no encontramos diferencias significativas en los porcentajes de germinación de las semillas tratadas con DI-31 y el control. Se conoce que los BRs aumentan la germinación de semillas envejecidas o sometidas a estrés hídrico (Mahesh *et al.*, 2013) o salino (Özdemir *et al.*, 2004), pero en nuestro caso las semillas usadas eran frescas con un porcentaje de germinación alto (>90 %) por lo que aumentar el porcentaje de germinación podría estar determinado por factores intrínsecos de las semillas (Mitchel *et al.*, 2016) y no por la adición de la hormona.

El porcentaje de germinación de las variedades no disminuyó con 1 ppm de DI-31, concentración que puede considerarse alta. Tong *et al.* (2014) demostraron que altas concentraciones de BRs resultaron inhibitorias en la elongación celular debido a una sobre-expresión del gen *GA2ox-3* responsable de la inactivación de giberelina en arroz. Sin embargo, concentraciones bajas de BR estimulan la expresión de genes relacionados con la biosíntesis de giberelinas, las que tienen un papel importante en la elongación celular durante la germinación de cereales. La compleja interacción entre estas dos hormonas es crucial durante la germinación. En nuestro estudio no se obtuvo un incremento en el porcentaje de germinación ya que las semillas estaban en óptimas condiciones y tenían su máximo potencial de germinación. Sin embargo, tampoco se obtuvo una inhibición, lo que puede estar determinado por la forma en que se añadió el BR pues las semillas estuvieron en contacto con la hormona durante 1 hora y no formando parte del medio donde germinaron.

### Arquitectura de la raíz

La longitud de la radícula es un componente importante de la arquitectura de la raíz y es esencial para la supervivencia en condiciones complejas del suelo (Meng *et al.*, 2019). El efecto estimulador del DI-31 sobre la longitud de la radícula obtenido en nuestro trabajo para la variedad INCA LP-5 está en concordancia con resultados obtenidos en otras especies de plantas como el aumento de la raíz principal obtenido en *Arabidopsis* utilizando brasinólida (Müssig *et al.*, 2003, González-García *et al.*, 2011, Lv *et al.*, 2018) o en caña de azúcar utilizando análogos de BR (Ortega-Rodés *et al.*, 2003). Otros cultivares cubanos de arroz como INCA LP-7 también han respondido con un aumento en la longitud de la raíz utilizando los análogos cubanos Biobras-16 y Biobras-25 (Nuñez *et al.*, 2016).

Algunos estudios muestran la acción de los brasinoesteroides o sus análogos a muy bajas concentraciones. Ortega-Rodés *et al.* (2003) encontraron que la concentración de  $10^{-6}$  ppm estimuló el crecimiento de las raíces de caña de azúcar, concentración que es un millón de veces más diluida que a la que nosotros encontramos efecto sobre el crecimiento de la radícula. Por otro lado, Müssig, *et al.* (2003) informaron que concentraciones de epibrasinólida similares a 1 ppm inhibieron el crecimiento de la raíz en *Arabidopsis*. Sin embargo, Duran *et al.* (2017) encontraron la mayor actividad biológica de análogos de BR a concentraciones similares a las nuestras (1 ppm). Esto confirma que los efectos de las hormonas están relacionados con muchos factores, proceso fisiológico sobre el que actúan, concentración de la hormona, tejido, fase del desarrollo, órgano o la forma de aplicación.

En la mayoría de los estudios los brasinoesteroides son aplicados al medio, por lo que la hormona se encuentra más tiempo en contacto con la planta. En este trabajo se empleó el DI-31 como pretratamiento a las semillas una hora antes de colocarse para germinar. Analizando la curva de toma de agua (Fig. 1) se observa que la cantidad de agua que absorben las semillas a una hora de imbibición es aproximadamente la cuarta parte (26 %) del agua absorbida al final de la Fase I de la germinación (18 horas). Este hecho, unido al poco tiempo de contacto entre las semillas y el BR puede explicar la no inhibición de la germinación y el crecimiento de la radícula en el tratamiento de 1 ppm.

En el presente trabajo se pudo observar un efecto positivo en el número y densidad de raíces laterales con los tratamientos de DI-31 empleados. Estas dos variables representan aspectos de la morfología de la raíz (Jung y McCouch, 2013) y no está ampliamente estudiado el efecto de los brasinoesteroides en estos aspectos de la arquitectura de la raíz ya que la mayoría se centran en el desarrollo de la raíz principal. Se ha demostrado que plántulas de *Arabidopsis* crecidas en medio suplementado con brasinólida (1-100 nmol L<sup>-1</sup>) mostraron un incremento en el número de raíces laterales (Bao *et al.*, 2004). Gupta *et al.* (2015) explica que el aumento de las raíces laterales puede estar relacionado con el transporte de auxina, mediado por BR, lo cual promueve la emergencia de estas.

El brasinoesteroide sintético DI-31 no mostró efecto negativo en la germinación ni variaciones en la toma de agua de las semillas de arroz de los cultivares INCA

LP-5 y Perla de Cuba cuando es aplicado a las semillas durante un corto periodo de tiempo previo a la germinación. Además, mostró un efecto estimulador en las variables de la arquitectura de la raíz para el cultivar INCA LP-5, siendo la concentración de 1 ppm la que mostró efecto positivo para las variables LR y RL en ambos cultivares. Experimentos futuros se enfocarán al estudio del desarrollo de los primordios de raíces laterales, y la zona meristemática de la raíz.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo de Frank Becerra Miranda, productor de semillas de la Finca "La perseverante", Aguada de Pasajeros, Cienfuegos, por facilitarnos las semillas de arroz usadas en el estudio.

## LITERATURA CITADA

- Bao, F., J. Shen, S.R. Brady, G.K. Muday, *et al.* (2004). Brassinosteroids interact with auxin to promote lateral root development in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.*, 134: 1624-1631.
- Bewley, J.D. (1997). Seed germination and dormancy. *Plant Cell.*, 9:1055-1066.
- Clouse, S.D. y J.M. Sasse (1998). Brassinosteroids: Essential regulators of plant growth and development. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.*, 49: 427-451.
- de Dorlodot, S., B. Forster, A. Price, R. Tuberosa, *et al.* (2007). Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *Trends Plant Sci.*, 10: 474-481.
- Divi, K. y P. Krishna (2009). Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. *New Biotechnol.*, 26:131-136.
- Dunn G. (1974). A model for starch breakdown in higher plants. *Phytochemistry*, 13:1341-1346.
- Duran, M.I., C. González, A. Acosta, A.F. Olea, *et al.* (2017). Synthesis of five known brassinosteroid analogs from hydroxycholeic acid and their activities as plant-growth regulators. *Int. J. Mol. Sci.*, 18: 516.
- González-García, M.P., J. Vilarrasa-Blasi, M. Zhiponova, F. Divol, *et al.* (2011). Brassinosteroids control meristem size by promoting cell cycle progression in *Arabidopsis* roots. *Development*, 138: 849-859.
- Gupta, A., M. Singh y A. Laxmi (2015). Interaction between glucose and brassinosteroid during the regulation of lateral root development in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.*, 168(1): 307-320.

- Hacham, Y., N. Holland, C. Butterfield, S. Ubeda-Tomas, *et al.* (2011). Brassinosteroid perception in the epidermis controls root meristem size. *Development*, 138(5): 839-848.
- Jung, J. y S. McCouch (2013). Getting to the roots of it: Genetic and hormonal control of root architecture. *Front. Plant Sci.*, 4: 186.
- Lv, B., H. Tian, F. Zhang, J. Liu, *et al.* (2018). Brassinosteroids regulate root growth by controlling reactive oxygen species homeostasis and dual effect on ethylene synthesis in *Arabidopsis*. *PLoS Genet.*, 14(1): e1007144.
- Mahesh, K., P. Balaraju, B. Ramakrishna y S.S. Rao (2013). Effect of brassinosteroids on germination and seedling growth of radish (*Raphanus sativus* L.) under PEG-6000 induced water stress. *Am. J. Plant Sci.*, 4: 2305-2313.
- Mazorra, L. M., M. Núñez, M.C. Nápoles, *et al.* (2004). Effects of structural analogs of brassinosteroids on the recovery of growth inhibition by a specific brassinosteroid biosynthesis inhibitor. *Plant Growth Regul.*, 44: 183-185.
- Meng, F., X. Dan, Z. Jianshu, L. Yong, *et al.* (2019). Molecular mechanisms of root development in rice. *Rice*, 12: 1-10.
- Mitchell, J., I.J. Johnston y G.W. Bassel (2016). Variability in seeds: biological, ecological, and agricultural implications. *J. Exp. Bot.*, 68: 809-817.
- Müssig, C., G.H. Shin y Th Altmann (2003). Brassinosteroids promote root growth in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.*, 133: 1261-1271.
- Núñez, M., G. Pérez, L. Martínez, Y. Reyes, *et al.* (2016). Espirostánicos de brasinoesteroides estimulan el crecimiento de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) Cv. INCA LP-7 sometidas a estrés por NaCl. *Cultivos Tropicales*. 4:152-159.
- Ortega-Rodés, P., R. Rodés, E. Ortega, L. Fernández, *et al.* (2003). Efecto de un brasinoesteroide sintético (DAA-6) sobre el crecimiento del vástago y las raíces de la caña de azúcar. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 34: 67-72.
- Özdemir, F., M. Bor, T. Demiral y I. Tuurkan (2004). Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regul.*, 42: 203-211.
- Pacifici, E., L. Polverari, S. Sabatini (2015). Plant hormone cross-talk: the pivot of root growth. *J. Exp. Bot.*, 4: 1113-1121.
- Pérez, N. y R.I. Castro (2000). Report of new varieties A new short cycle rice variety: INCA LP-5. *Cultivos Tropicales*. 21: 55.
- Sano, N., J. S. Kim, Y. Onda, T. Nomura *et al.* (2017). RNA-Seq using bulked recombinant inbred line populations uncovers the importance of brassinosteroid for seed longevity after priming treatments. *Sci. Rep.*, 7: 8095.
- Saman, P., J.A. Vázquez y S.S. Pandiella (2008). Controlled germination to enhance the functional properties. *Process Biochem.*, 43: 1377-1382.
- Shittu, T., A., M. B. Olaniyi, A.A. Oyekanmi, y K.A. Okeleye, (2012). Physical and Water Absorption Characteristics of Some Improved Rice Varieties. *Food Bioprocess Tech.*, 5:298-309.
- Tong, H., Y. Xiao, D. Liu, S. Gao, *et al.* (2014). Brassinosteroid regulates cell elongation by modulating gibberellin metabolism in rice. *Plant Cell*. 26: 4376-4393.
- Toro, D.C., A.A. Hernández, P. Martínez, V. Obregón, *et al.* (2007). Revisión de la utilidad del método simplificado de determinación de amilosa para el arroz blanco en los programas de mejoramiento varietal. *Revista Cubana del Arroz*. 9: 91-102.
- Yang, P., X. Li, X. Wang, H. Chen, *et al.* (2007). Proteomic analysis of rice (*Oryza sativa*) seeds during germination. *Proteomics*. 7: 3358-3368.