



## EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE CAMBIOS MORFO-FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN PLANTAS MICROPROPAGADAS DE PIÑA ‘MD-2’ EN LA ETAPA FINAL DE ACLIMATIZACIÓN

**Water effect deficit on morpho-physiological and biochemical changes in ‘MD-2’ micro-propagated pineapple plants at the end of acclimatization stage**

**René C. Rodríguez-Escriba<sup>1✉</sup>, Ibraín D. Rodríguez-Cartaya<sup>2</sup>, Gustavo Y. Lorente<sup>1</sup>, Dariel López<sup>1</sup>, Roberto E. Izquierdo<sup>1</sup>, Lucía S. Borroto<sup>1</sup>, Camilo Bonet<sup>3</sup>, Yolanda Garza-García<sup>4</sup>, Carlos E. Aragón<sup>1</sup>, Florencio E. Podestá<sup>5</sup>, Romelio Rodríguez<sup>1</sup> y Justo L. González-Olmedo<sup>1</sup>**

**ABSTRACT.** Current technology of pineapple micro-propagation has problems with the plants transition to field, these problems are associated to drastic changes of environmental conditions linked to poor hardening plant for such transit. A possibility of preparation is the induction of defense mechanisms to drought stress and get modulating CAM, so that the object of this paper was study plants grown for 30 days in two water status (well-watered plants and non-watered plants) after 30 days both groups were full-watered during 15 days. Measurements were made on D-leaf, in which were determinates the gas exchange, water-efficiency use (WEU), night CO<sub>2</sub> uptake percentage, chlorophyll content, organic acids levels, succulence index (IS) and superoxide dismutase activity (SOD) (EC 1.15.1.1). After 15 days of drought, plants had the best response to field transfer, with increase in CAM expression, supported by the decline in total chlorophyll content and increases in the night CO<sub>2</sub> uptake percentage, WEU, SI, and SOD activity. After 30 days of drought plants had a CAM strong response, with 100 % of CO<sub>2</sub> uptake during night, but its rapid recovery with the establishment of irrigation to saturation of the substrate, showing high drought tolerance and great metabolic plasticity.

**RESUMEN.** La tecnología actual de micropropagación de piña presenta problemas con la transición de las plantas al campo, dichos problemas se asocian al drástico cambio de las condiciones ambientales unido al pobre endurecimiento de las plantas para su tránsito. Una posibilidad de su preparación es la inducción de mecanismos defensivos mediante el déficit hídrico y consigo la modulación de CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas, siglas en inglés) por lo que en este trabajo se estudiaron plantas crecidas durante 30 días en dos regímenes hídricos (plantas con riego y sin riego), después de este momento ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato durante 15 días. Las determinaciones se realizaron en la hoja “D” con frecuencia quincenal. Se determinó el intercambio gaseoso, eficiencia en el uso del agua (EUA), porcentaje de captación de CO<sub>2</sub> en la noche, contenido de clorofilas, niveles de ácidos orgánicos, índice de succulencia (IS) y actividad de superóxido dismutasa (SOD) (EC 1.15.1.1). A los 15 días las plantas sin riego tuvieron la mejor respuesta para su traslado a campo, con el aumento de la expresión de CAM, sustentado por la disminución del contenido de clorofilas totales y por el incremento del porcentaje de asimilación de CO<sub>2</sub> durante la noche, EUA, IS y actividad SOD. A los 30 días las plantas sin riego tuvieron una respuesta CAM de mayor intensidad, con el 100 % de captación de CO<sub>2</sub> durante la noche, pero su rápida recuperación con el establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato, lo cual demostró alta tolerancia a la sequía y elevada plasticidad metabólica.

**Key words:** CAM cycle, photosynthesis, vitroplants

**Palabras clave:** ciclo CAM, fotosíntesis, vitroplantas

<sup>1</sup> Centro de Bioplantas. Universidad de Ciego de Ávila. Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>2</sup> Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.

<sup>3</sup> Instituto de investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Coahuila, México.

<sup>5</sup> Centro de Estudios Fotosintéticos y Bioquímicos. Fac. de Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina.

✉ [reencarlos@bioplantas.cu](mailto:reencarlos@bioplantas.cu)

## INTRODUCCIÓN

El híbrido 'MD-2' posee caracteres de elevada importancia agronómica con altos rendimientos productivos y calidad de fruta comparada con el resto de los cultivares de piña (1).

La necesidad de introducir 'MD-2' en las plantaciones cubanas, requiere de grandes producciones de material de propagación en el menor tiempo posible, lo cual es posible con la utilización de las técnicas de cultivo *in vitro* como herramientas de la micropropagación, tecnología que permite obtener gran número de plantas en poco tiempo y con mejor calidad; sin embargo, los laboratorios de micropropagación tienen limitaciones, dicho proceso tecnológico induce en las plantas un estado fisiológico desventajoso para la transición a condiciones *ex vitro* y, como consecuencia, la obtención de bajas tasas de crecimiento e insuficientes porcentajes de supervivencia durante la aclimatación (2).

Se han realizado investigaciones para determinar el mejor medio químico o físico de cultivo *in vitro* para obtener plantas capaces de aclimatarse a las condiciones *ex vitro* (3, 4) y en la fase de aclimatación (5, 6). Sin embargo, el protocolo utilizado para la aclimatación presenta problemas con la transición de las plantas al campo, una vez que son plantadas muestran quemaduras en las hojas y senescencia en algunos tejidos con una consecuente baja supervivencia.

Estos problemas están asociados al estrés provocado por el drástico cambio entre las condiciones ambientales de la fase final de aclimatación y el campo (7), por lo que es necesario desarrollar investigaciones encaminadas a disminuir el efecto negativo que ejerce el ambiente en las plantas de piña 'MD-2' en la transición hacia el campo.

*Ananas comosus* presenta metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM). Las plantas con CAM pueden operar de diferentes modos: "CAM constitutiva" o "CAM obligada", con alta acumulación de ácidos ( $\Delta H^+$ ) y captación de  $CO_2$  durante la noche; "CAM inducible" o "CAM facultativa", conocidas también como "C3-CAM" con una forma C3 de fijación de  $CO_2$  y variación nula de  $\Delta H^+$  en el estado no inducido; pero en el estado inducido presenta pequeñas fijaciones de  $CO_2$  en el día y altos niveles de  $\Delta H^+$  durante la noche; "CAM cíclica" con fijación de  $CO_2$  durante el día y  $\Delta H^+$  pero no presenta apertura estomática durante la noche; CAM "Idling" o "CAM fútil", con cierre estomático y pequeñas variaciones de  $\Delta H^+$  durante todo el día y la noche en plantas severamente estresadas (8).

Estos comportamientos pueden exhibir diferente fisiotipos dentro del propio metabolismo, como en el caso de las plantas "CAM constitutivas", las cuales pueden ser fuertes o débiles, de acuerdo a la magnitud de expresión de la ruta C4. La piña en su hábitat o en condiciones de producción en el campo responde

como una "CAM constitutiva fuerte" (9), pero se ha demostrado que las plantas micropropagadas pueden exhibir un fisiotipo diferente, estas pueden ser C3 o CAM de acuerdo a las condiciones de crecimiento *in vitro* (3, 4, 10, 11); además, estudios previos demostraron que un incremento de la intensidad lumínica aumenta la magnitud de expresión CAM en la etapa de aclimatación y que las plantas tratadas adquirieron un estado morfo-fisiológico y bioquímico ventajoso para la transición al campo (1).

Teniendo en cuenta que CAM se expresa y modula con cambios en las variables ambientales como intensidad lumínica, humedad, nutrición y temperatura (12), desde el punto de vista práctico y con una perspectiva económica se pueden realizar manejos con frecuencia e intensidad de riego para inducir una mejor respuesta morfo-fisiológica y bioquímica de las plantas en la etapa final de aclimatación favoreciendo el tránsito aclimatación-campo y por ende el incremento de la supervivencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó entre los meses septiembre y noviembre del 2014 en el área de aclimatación del Centro de Bioplasmas. Se utilizaron plantas de piña *Ananas comosus* (L.) Merr. 'MD-2' micropropagadas, según el protocolo establecido en el centro de Bioplasmas. Se seleccionaron plantas de más de 4,0 cm de longitud, con 7,0 a 8,0 g de masa fresca y cinco y seis hojas funcionales y se sumergieron durante cinco minutos en una solución de Previcur Energy® (Bayer CropScience) [ $3,0 \text{ mL L}^{-1}$ ] (13). Seguidamente se plantaron en envases plásticos con un volumen de sustrato de  $256,26 \text{ cm}^3$  con relación 1:1 (v/v) entre suelo ferralítico rojo y cachaza (derivado de la caña de azúcar) (6).

Las plantas se aclimatizaron en una casa de cultivo con condiciones promedios de  $80 \pm 3$  % de humedad relativa,  $25,5 \pm 2$  °C de temperatura (determinados con un termo-higrómetro digital "TECPEL® modelo DTM- 303"), luz y fotoperiodo natural con un Flujo de Fotones Fotosintéticos (FFF) de  $400 \pm 25 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  y condiciones atmosféricas de concentración de  $CO_2$  entre 330 y  $375 \mu\text{mol mol}^{-1}$  (determinados con un sistema portátil de fotosíntesis "PP Systems CIRAS-2 Portable Photosynthesis System"). El riego se realizó por aspersión durante 10 minutos a las 9:00 y 14:00 h diariamente. Se aplicó fertilización foliar con una mochila de fumigación cada 15 días con NPK cristalino [ $1,0 \text{ g L}^{-1}$ ] y Multimicro Combi (Haifa Chemicals Ltd., Haifa Bay 26120, Israel) [ $62,5 \text{ mg L}^{-1}$ ].

Después de cinco meses en aclimatación se seleccionaron 400 plantas de 34-36 g de masa fresca con 11-12 hojas y 12-13 raíces funcionales y se trasladaron al exterior de la casa de cultivo con una intensidad lumínica de  $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Los grupos se sometieron a diferentes condiciones de riego según Tabla I.

**Tabla I. Condiciones de riego durante el crecimiento de las plantas de piña micropropagadas *Ananas Comosus* (L.) Merr. 'MD-2' en la etapa final de aclimatización**

Tratamientos	Intervalos de tiempo		
	Hasta 0 días	De 0-30 días	De 30-45 días
Plantas con riego (CR)	120 mL planta <sup>(1)</sup>	120 mL planta	Saturación sustrato <sup>(3)</sup>
Plantas sin riego (SR)	120 mL planta	0 mL planta <sup>(2)</sup>	Saturación sustrato

<sup>(1)</sup> Riego realizado cada 48 h<sup>(2)</sup> Sin riego<sup>(3)</sup> Riego diario a las 9:00 h hasta la saturación del sustrato

Se aplicó fertilización foliar a las 9:00 h en el momento inicial del experimento (N-P-K cristalino [1,0 g L<sup>-1</sup>] y Multimicro Combi (Haifa Chemicals Ltd., Haifa Bay 26120, Israel) [62,5 mg L<sup>-1</sup>]). El día 31 del experimento se aplicó fertilización foliar a las 9:00 h (N-P-K cristalino [1,0 g L<sup>-1</sup>] y Multimicro Combi (Haifa Chemicals Ltd., Haifa Bay 26120, Israel) [62,5 mg L<sup>-1</sup>]). El riego se realizó con una regadera manual, distribuyendo de manera homogénea 100 L de agua sobre la superficie foliar de las plantas cada 24 h.

**Determinaciones morfológicas:** se tomaron 30 plantas para la determinación del número de hojas y longitud y ancho de la hoja D. Además se determinó la masa fresca y seca de 10 discos de hojas de 0,785 cm<sup>2</sup> en cuatro hojas D colectadas a las 15:00 h y se calculó el contenido de agua.

**Cuantificación del intercambio gaseoso en las hojas:** se cuantificó el intercambio gaseoso cada tres horas hasta completar un día. Se utilizó un analizador infrarrojo de gases (IRGA) como parte de un sistema de fotosíntesis portátil (PP Systems CIRAS-2 Portable Photosynthesis System). Se tomaron tres hojas D y se realizaron 30 mediciones para cada momento y tratamiento. Las determinaciones se realizaron en condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales, con un FFF de 600 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (14). Para el análisis de los resultados se tomó el promedio entre las 21:00 y las 9:00 h. Se calculó la eficiencia en el uso del agua con la división de la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y la tasa transpiratoria. Además se determinó el porcentaje que representó la asimilación de CO<sub>2</sub> entre dichas horas respecto al día completo.

**Cuantificación del contenido de clorofilas:** se colectaron tres hojas D a las 15:00 h y se conservaron en nitrógeno líquido (NL) hasta el momento de las determinaciones. Se tomó 0,1 g de hojas y se maceraron en un mortero con NL hasta obtener un polvo fino. Se adicionaron 500 μL de acetona al 80 % con 2,5 mM de Fosfato de sodio pH 7,8, posteriormente se centrifugó a 12 000 g durante 15 minutos a 4 °C con una centrifuga refrigerada al vacío Beckman (JB-21). Se colectó el sobrenadante y se midió la absorbancia a 664 nm y 647 nm. Se calcularon las concentraciones de clorofilas a, b y totales (15). Se utilizó un espectrofotómetro "Pharmacia Bio-Spectrophotometer". Los resultados se expresaron en función de la masa fresca y se convirtieron de μg Cfls g<sup>-1</sup> MF a μg Cfls cm<sup>-2</sup> como es descrito (3).

**Cálculo del índice de succulencia:** el Índice de Succulencia (IS) se calculó utilizando los valores del contenido de clorofilas totales [Cfls (a+b)] y el contenido de agua (CA) de los discos de hojas "D". Se utilizó la ecuación IS= CA [Cfls (a+b)]<sup>-1</sup> (16).

**Determinación de los niveles de ácidos orgánicos:** se tomó 1g de hojas, se adicionaron 10 mL de Etanol 50 % y se incubaron en un baño a 90 °C durante 20 minutos. Se separó la fase líquida y se realizó una valoración ácido-base, con NaOH [20 mM] y fenoltaleína [1 mg L<sup>-1</sup>] como indicador (17). Los resultados se expresaron en μmol H<sup>+</sup> h<sup>-1</sup>g<sup>-1</sup> MF.

**Cuantificación de proteínas y actividad de la enzima Superóxido Dismutasa:** se pesaron 0,5 g de material vegetal y se maceraron con NL hasta obtener un polvo fino, se añadieron 2 mL de buffer fosfato de potasio 50 mM pH 7,8 con 1 mM EDTA; 0,1 % Triton X-100 (v/v); 1 % PVP; 1 mM DTT y 1 mM PMSF), luego se centrifugó a 15 000 g durante 20 minutos a 4 °C con una centrifuga refrigerada al vacío Beckman (JB-21) (16). Se colectó el sobrenadante y se cuantificó el contenido de proteínas (18), utilizando una curva patrón con "Bovine Sero Albumin" (BSA) como proteína estándar. El contenido de proteínas se expresó en mg Prot. g<sup>-1</sup> MS. La actividad de la enzima Superóxido dismutasa (SOD) (EC 1.15.1.1) se determinó por el método de oxidorreducción del citocromo C como es descrito (16). La actividad enzimática se expresó como U mg<sup>-1</sup> MS. Una unidad de actividad SOD se definió como la cantidad de enzima capaz de inhibir el 50 % de velocidad de reducción del citocromo C.

**Análisis estadístico:** todas las determinaciones fisiológicas y bioquímicas se replicaron tres veces en tres muestras biológicas diferentes para cada momento de evaluación y tratamiento. Se utilizó el software Statgraphics Centurion XV (19). Los resultados se procesaron con "ANOVA factorial" seguido por "Tukey's Multiple Range test" para rangos múltiples, o "Kruskal-Wallis" seguido por "Student-Newman-Keuls" en los casos necesarios. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas con un nivel de significación de un 5 %.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto del déficit hídrico en indicadores morfológicos

Después de 15 días en las plantas sometidas al déficit hídrico (SR) se observó un cese de la elongación de la hoja D (Figura 1A; sin embargo, a partir de los 30 días, cuando ambos grupos fueron regados hasta la saturación del sustrato se observó un aumento de la longitud de dicha hoja en este mismo tratamiento. Por otra parte, durante el periodo de déficit hídrico (hasta 30 días) no se observó emisión de hojas en las plantas SR (Figura 1C), pero sí con el restablecimiento del riego.

El déficit hídrico afectó tanto la elongación de las plantas SR como la emisión de hojas, lo cual está relacionado con una mejor aclimatación a condiciones ambientales adversas. La tasa de crecimiento y por ende la productividad de biomasa de plantas CAM terrestres son muy bajas comparadas con plantas C3 y C4 bajo condiciones poco estresantes; sin embargo, dentro de una misma especie CAM la productividad de biomasa está favorecida por condiciones ambientales favorables (12, 20, 21) y viceversa.

En contraste se observó un incremento continuo del ancho de la hoja D durante el periodo de déficit hídrico (Figura 1B), seguido por un cese de su incremento después del establecimiento del riego (a los 45 días). Las plantas de piña micropropagadas en condiciones de aclimatización presentan una relación directa entre el aumento del ancho de dicha hoja y la expresión (3) y modulación (16) de CAM bajo condiciones estresantes.

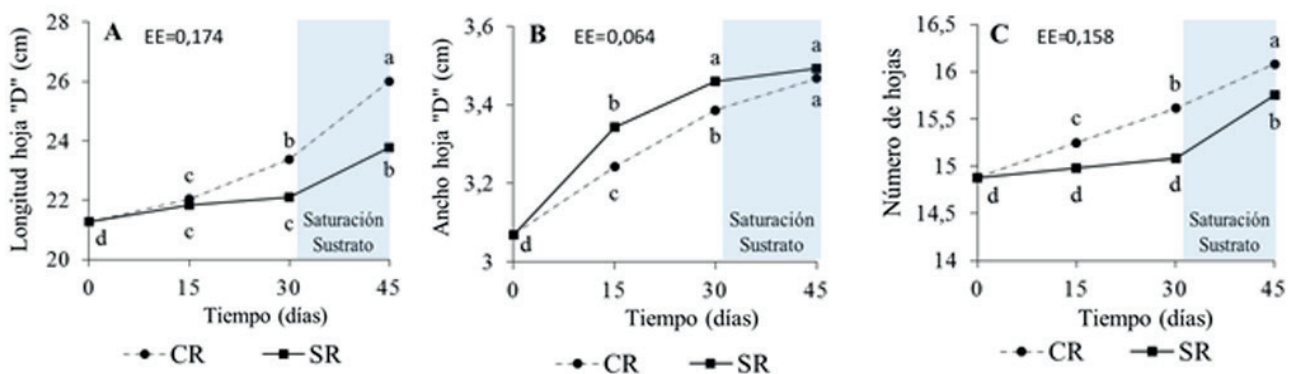
Es importante señalar que también se observó un incremento continuo aunque en menor grado en las plantas CR, esto pudo estar asociado al traslado de las plantas al exterior de la casa de cultivo, unido al incremento de la edad fisiológica de las plantas.

Ambos grupos se expusieron a la luz solar directa durante 30 días antes de iniciar el experimento, de esta forma el incremento del ancho de la hoja "D" en las plantas CR pudo estar relacionado con un aumento gradual de la expresión CAM, como una respuesta a la alta intensidad lumínica y al incremento de la edad fisiológica de las plantas. Además, la tasa evapotranspiratoria en el exterior de la casa de cultivo debió ser superior que en el interior de esta, considerando que en el exterior existió una menor humedad relativa, mayor velocidad del viento y altos niveles de irradiación, lo cual favorece la difusión del agua al aire tanto del suelo como de la superficie foliar, de modo que el riego establecido en el interior de la casa de cultivo pudo ser insuficiente en el exterior, y por ende las plantas CR pudieron quedar expuestas a un déficit hídrico ligero que provocaría el incremento gradual de la magnitud de expresión CAM, y como respuesta el incremento del ancho de la hoja "D" durante el periodo experimental.

### Efecto del déficit hídrico en el contenido de agua, clorofilas totales e índice de succulencia

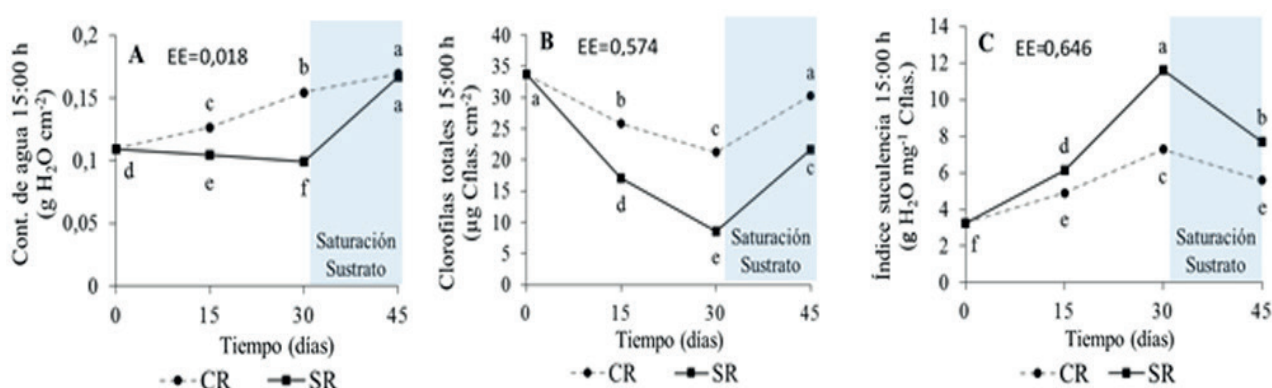
El contenido de agua de las hojas en las plantas SR disminuyó durante el periodo de déficit hídrico en cada momento de evaluación hasta los 30 días (Figura 2A); sin embargo, cuando ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato se observó un incremento considerable del contenido de agua de las hojas en las plantas SR (45 días), en este momento el contenido de agua de las hojas de las plantas SR alcanzó valores similares a las plantas CR.

Esto pudo estar asociado a la síntesis de tejidos acuíferos en las plantas SR durante el periodo de déficit hídrico, o a un incremento del potencial osmótico de las células asociado al influjo de carbohidratos y ácido málico hacia el interior del tonoplasto.



A: longitud de la hoja "D" B: ancho de la hoja "D" C: número de hojas  
 'MD-2' de 6 meses de edad, crecidas durante 30 días bajo dos condiciones de riego: plantas con riego (CR, 120 mL planta) y sin riego (SR, 0 mL planta). A partir de los 30 días ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato. Medias con letras diferentes indican significación (ANOVA factorial Tukey  $p < 0,05$ ). Cada dato representa la media para  $n=6$

**Figura 1. Efecto del déficit hídrico en plantas de piña micropropagadas (*Ananas comosus* (L.) Merr.)**



A: contenido de agua B: contenido de clorofilas totales C: índice de succulencia mesofílica (ISM) 'MD-2' de 6 meses de edad, crecidas durante 30 días bajo dos condiciones de riego: plantas con riego (CR, 120 mL planta) y sin riego (SR, 0 mL planta). A partir de los 30 días ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato. Medias con letras diferentes indican significación (ANOVA factorial, Tukey  $p \leq 0,05$ ). Cada dato representa la media para  $n=6$

### Figura 2. Efecto del déficit hídrico en discos de hojas "D" de plantas de piña micropropagadas (*Ananas comosus* (L.) Merr.)

Por otra parte en el contenido de clorofilas totales se observó una tendencia similar en ambos grupos (Figura 2B), con una disminución continua hasta los 30 días, seguido de un incremento con el establecimiento del riego diario hasta la saturación del sustrato (45 días). Sin embargo, las plantas CR presentaron valores superiores a las plantas SR en todos los momentos de evaluación.

En el caso del índice de succulencia mesofílica ambos grupos presentaron una tendencia similar durante todo el experimento pero un mayor grado en las plantas SR (Figura 2C), con un aumento de la succulencia de las hojas durante los primeros 30 días y una disminución con el establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato.

El índice de succulencia mesofílica representa la relación entre los tejidos acuíferos y los tejidos fotosintéticos.

En este experimento se observó una disminución del contenido de agua en las hojas de las plantas SR provocado por el déficit hídrico severo; sin embargo, también se observó una disminución de los contenidos de clorofilas totales, esto indica que el déficit hídrico provocó una disminución del contenido de clorofilas totales en mayor grado que la disminución del contenido de agua de las hojas, lo cual confiere mayor succulencia y magnitud de expresión CAM a las plantas SR.

Una planta es considerada CAM cuando este índice es superior a la unidad (8), y a mayor succulencia de tallos y hojas mayor magnitud de expresión CAM y mejor aclimatación a condiciones ambientales adversas (22, 23); sin embargo, el IS también se incrementó en las plantas CR durante el periodo de déficit hídrico, lo cual sustenta la conjetura de que en este grupo existió un aumento gradual de la magnitud de expresión CAM, como una respuesta al aumento de la edad fisiológica y el traslado de las plantas al exterior de la casa de cultivo.

### Efecto del déficit hídrico en el intercambio gaseoso

Las plantas SR tuvieron una disminución de la asimilación de  $\text{CO}_2$  a los 15 y 30 días de déficit hídrico respecto a las plantas CR y al momento inicial del experimento (Figura 3A). El establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato favoreció la captación durante la noche en este mismo grupo.

Se observó una disminución continua de la transpiración en las plantas SR durante todos los momentos de evaluaciones en el periodo de déficit hídrico, con diferencias significativas entre ellos y entre tratamientos. En el establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato se observó un incremento considerable de la transpiración en este mismo grupo de plantas, alcanzando valores cercanos a las plantas CR aunque estadísticamente diferentes. Las plantas SR tuvieron un incremento de la eficiencia del uso del agua durante el periodo de déficit hídrico, con diferencias significativas respecto a las plantas CR en todos los momentos evaluados; sin embargo con el restablecimiento del riego se observó una disminución significativa de este indicador en ambos grupos pero con valores superiores en las plantas SR.

El aumento de la magnitud de expresión CAM está relacionado con el aumento del porcentaje de captación de  $\text{CO}_2$  durante la noche (24), para las plantas CAM constituye un beneficio captar mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  en momentos donde las condiciones ambientales son menos drásticas, y de esta forma evitar una pérdida excesiva de agua (12, 25, 26).

El déficit hídrico provocó una disminución de la captación de  $\text{CO}_2$  de las plantas SR; sin embargo, el porcentaje de asimilación de  $\text{CO}_2$  entre las 21:00 y 9:00 h se incrementó continuamente en las plantas SR (0-30 días) durante el periodo de déficit hídrico (Tabla II).

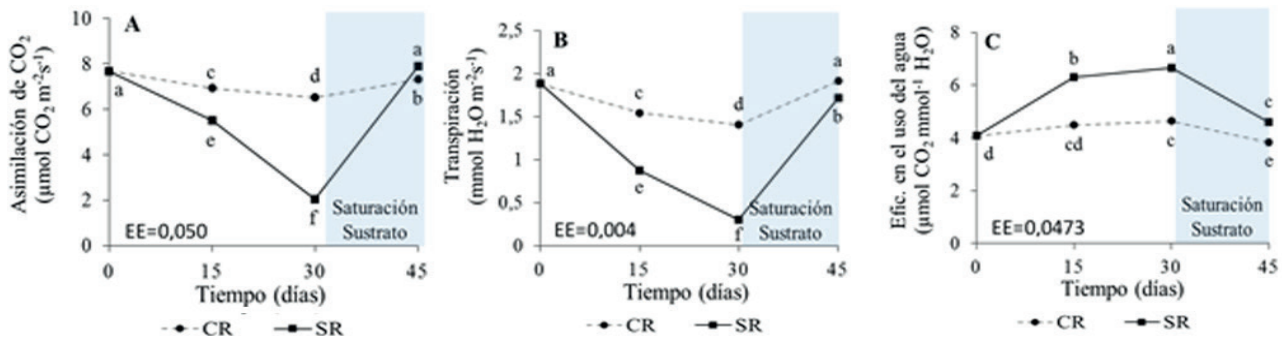
Cuando las plantas CAM se exponen a déficit hídrico presentan una disminución de la captación de CO<sub>2</sub> durante el día, sobre todo en horas cercanas al amanecer y anochecer, pero cuando el déficit hídrico es prolongado o severo cesan la captación de CO<sub>2</sub> durante todo o la mayor parte del ciclo diario (17, 27, 28, 29), en este estado las plantas CAM para su supervivencia captan y por ende reciclan todo o gran parte del CO<sub>2</sub> liberado durante la respiración (30, 31), y esta respuesta ante condiciones desfavorables se denomina “CAM Idling” o “CAM fútil” (8).

Se ha demostrado que en condiciones favorables de crecimiento, el CO<sub>2</sub> captado por la piña durante la noche (fase I) representa más del 75 % del CO<sub>2</sub> asimilado durante el día completo; sin embargo, ante el déficit hídrico prolongado y altas temperaturas durante el día pueden incrementar dicho porcentaje, lo cual le confiere elevada tolerancia a la sequía (32). Esto explica el incremento del porcentaje de asimilación de CO<sub>2</sub> durante la noche en las plantas SR (Tabla II) ante el déficit hídrico por 30 días, donde dicho porcentaje representó aproximadamente el 100 % de la captación durante todo el día, lo cual demuestra que las plantas SR tuvieron una respuesta similar a “CAM Idling” ante el déficit hídrico severo, con cierre estomático durante

casi todo el día y apertura de los mismos solo cuando el gradiente para la transpiración fue mínimo.

Las plantas de piña micropropagadas ante déficit hídrico severo también respondieron de manera similar a plantas “CAM Idling”, en lugar de “CAM facultativas” (3, 4, 10, 11), o “CAM constitutivas” (1) como se ha demostrado para plantas de piña provenientes del cultivo *in vitro*. A pesar del déficit hídrico durante 30 días, 15 días después del restablecimiento del riego hasta la saturación del sustrato las plantas SR presentaron una rápida recuperación, demostrando una elevada plasticidad metabólica. Además, en este mismo momento también se observó un aumento en la longitud de la hoja “D” (Figura 1A) y número de hojas (Figura 1C) lo cual permite conjeturar que con la rehidratación de los tejidos de las plantas SR (Figura 2A) la partición de carbohidratos debió favorecer el crecimiento en mayor proporción.

En el caso de la transpiración las plantas SR presentaron una disminución de la transpiración con el aumento del déficit hídrico hasta 30 días (Figura 3B), a partir de este momento se observó un aumento considerable en la transpiración con el establecimiento del riego.



A: asimilación de CO<sub>2</sub> B: transpiración C: eficiencia en el uso del agua

‘MD-2’ de 6 meses de edad, crecidas durante 30 días bajo dos condiciones de riego: plantas con riego (CR, 120 mL planta) y sin riego (SR, 0 mL planta). A partir de los 30 días ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato. Medias con letras diferentes indican significación (ANOVA factorial, Tukey p≤0,05). Cada dato representa la media para n=90

**Figura 3. Efecto del déficit hídrico en hojas “D” de plantas de piña micropropagadas (*Ananas comosus* (L.) Merr.)**

**Tabla II. Porcentaje de asimilación de CO<sub>2</sub> entre las 21:00 y 9:00 h respecto a la asimilación total de las plantas durante el día completo**

Momentos de evaluación	Porcentaje de asimilación de las Plantas CR (%)	Porcentaje de asimilación de las Plantas SR (%)
0	74,47 c	74,47 c
15	77,58 b	78,93 b
30	78,35 b	99,95 a
45	73,14 d	74,03 cd

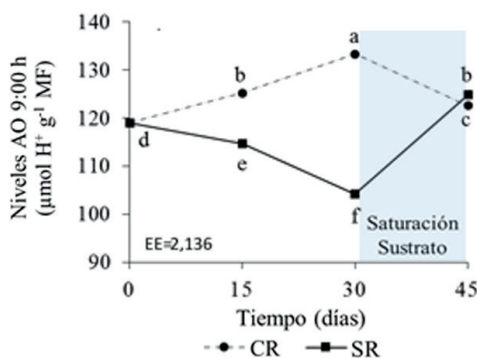
CR- plantas con riego; SR- plantas sin riego. Después de 30 días ambos grupos se regaron diariamente hasta la saturación del sustrato. Los datos se transformaron según  $X' = 2 \arcsen[\frac{x}{100}]^{0.5}$ . Medias con letras diferentes indican significación (ANOVA de clasificación doble, prueba Tukey p≤0,05). Cada dato representa la media para n=90

La disminución significativa de la transpiración en las plantas SR a los 15 y 30 días sustenta la hipótesis del incremento de la magnitud de CAM; sin embargo, la disminución considerable a los 30 días está relacionada además con la disminución de la asimilación de CO<sub>2</sub> (Figura 3A) y del contenido de agua de las hojas (Figura 2A), ambos indicadores en estrecha relación con el déficit hídrico implicando cierre estomático, lo que permite conjeturar de que a los 30 días las plantas SR respondieron de forma similar a "CAM Idling". Además el déficit hídrico incrementó la eficiencia en el uso del agua durante la noche en las plantas SR a los 15 días (Figura 3C).

Un incremento en la eficiencia hídrica en las plantas CAM está relacionado con un incremento de la magnitud de expresión en plantas CAM terrestres (12). Respecto al tamaño de los órganos de las plantas CAM, los estomas aparecen en bajas densidades y presentan bajas conductividades al vapor de agua, reflejando una alta capacidad de almacenaje de agua en las hojas y tallos, disminución de la relación área-volumen de las hojas y por ende elevada eficiencia hídrica (12). Esto explica el incremento del contenido de agua de las hojas en las plantas SR a los 45 días (Figura 2A), y el aumento de la eficiencia hídrica de las plantas SR a los 15 y 45 días de evaluación, además sustenta la conjetura de que el incremento considerable del contenido de agua en las plantas SR a los 45 días pudo estar relacionado con la síntesis de tejidos de reserva de agua (Figura 2A) unido al incremento del potencial osmótico de las células.

#### Efecto del déficit hídrico en los niveles de ácidos orgánicos

Se observó en la Figura 4 una tendencia contraria en los niveles de ácidos orgánicos de ambos grupos. El déficit hídrico provocó una disminución de los niveles de ácidos orgánicos (AO) en las plantas SR hasta los



'MD-2' de 6 meses de edad, crecidas durante 30 días bajo dos condiciones de riego: plantas con riego (CR, 120 mL planta) y sin riego (SR, 0 mL planta). A partir de los 30 días ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato. Medias con letras diferentes indican significación (Kruskal-Wallis, Student-Newman-Keuls  $p \leq 0,05$ ). Cada dato representa la media para  $n=6$

**Figura 4. Efecto del déficit hídrico sobre los niveles de ácidos orgánicos (AO) en hojas "D" de plantas de piña micropropagadas (*Ananas comosus* (L.) Merr.)**

30 días de sequía, en contraste los niveles de AO en las plantas CR aumentó durante el periodo de déficit hídrico y luego disminuyó a los 45 con el establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato.

En las plantas CAM el CO<sub>2</sub> asimilado durante la noche es fijado por la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC) en fosfoenolpiruvato (PEP) el cual es convertido a malato y transportado al interior de la vacuola donde se almacena en forma de ácido málico (33); además, los cambios de los niveles de AO se corresponden fundamentalmente con los niveles de ácidos málico, cítrico e isocítrico; sin embargo, en *Ananas comosus* los cambios en los niveles de AO se corresponden fundamentalmente con los niveles de ácido málico, permaneciendo constantes los niveles de ácido cítrico y despreciables los de isocítrico (16), además la relación entre los niveles de AO y málico responde a una estequiometría 2:1 (24).

De esta forma para la piña se puede establecer una relación directa entre los niveles de AO y los niveles de ácido málico producto de la asimilación nocturna, y por ende se puede decir que la cantidad de malato acumulado durante el periodo de déficit hídrico en las plantas SR fue inferior a los niveles de las plantas CR, lo cual sustenta la disminución de la asimilación nocturna de CO<sub>2</sub> (Figura 3A), la disminución de la rapidez de elongación de la hoja D y la cesación de la emisión de hojas durante el periodo de déficit hídrico.

El incremento de los niveles de ácidos orgánicos a los 45 días alcanzó valores similares en ambos grupos a los 15 días de estudio, esto implica una recuperación de las plantas SR del estrés hídrico prolongado.

El incremento gradual y continuo de las plantas CR pudo estar relacionado al incremento de la edad fisiológica, unido al efecto del traslado de las plantas al exterior de la casa de cultivo, este último relacionado con la exposición durante tiempo prolongado a condiciones de alta intensidad lumínica y a un déficit hídrico moderado, lo cual está asociado a la disminución de los niveles de ácidos orgánicos a los 45 días en este mismo grupo.

Las plantas CAM terrestres presentan un aumento del contenido de agua de tallos y hojas en respuesta a condiciones limitantes de humedad, este incremento se relaciona con la síntesis de tejidos de reserva de agua y con el aumento del potencial osmótico de las células, este último provocado por el influjo de ácido málico y carbohidratos que se almacenan en el interior de las grandes y dominantes vacuolas (12).

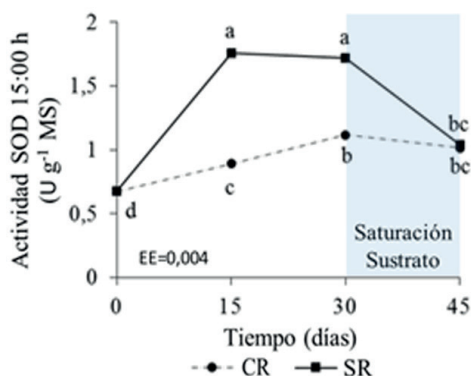
El incremento del potencial osmótico explica la disminución del contenido de agua en las plantas SR durante el periodo de déficit hídrico (Figura 2A), el incremento significativo de las plantas SR con el restablecimiento del riego y el aumento gradual de las plantas CR durante el experimento, lo cual está relacionado con un decremento o incremento de los niveles de ácidos orgánicos y por ende de ácido

máximo según el caso; aunque esta conjetura no es consistente con la disminución de los niveles de AO en las plantas CR a los 45 días, de modo que con el establecimiento del riego hasta la saturación del sustrato dicha disminución pudo estar asociada a una menor magnitud de expresión CAM.

#### Efecto del déficit hídrico en la actividad de Superóxido dismutasa

En la Figura 5 se observa un aumento de la actividad de SOD en las plantas SR a los 15 días de evaluación sin diferencias significativas entre ellas a los 30 días, a partir de este momento mostraron una disminución en la actividad de SOD. El déficit hídrico aplicado a las plantas SR provocó un aumento de la actividad SOD, esto indica que durante los momentos de déficit hídrico (15 y 30 días) las plantas SR debieron incrementar el grado de expresión ya que se ha demostrado que la expresión de CAM está relacionado con rutas de estrés oxidativo (4).

Con el restablecimiento del riego hasta condiciones de saturación del sustrato se observó una disminución significativa de la actividad de SOD en las plantas SR, esto implica una disminución de la magnitud de expresión CAM en este grupo. Las plantas CR no alcanzaron los valores de actividad SOD de las plantas SR en ninguno de los momentos de déficit hídrico, lo cual implica que las plantas SR presentaron una mayor capacidad para la eliminación del radical superóxido comparadas con las plantas CR, además indica que a los 15 días las plantas SR presentaron mejor preparación para atenuar el efecto negativo de las drásticas condiciones ambientales de campo comparado con las condiciones ambientales de aclimatización.



'MD-2' de 6 meses de edad, crecidas durante 30 días en dos condiciones de riego: plantas con riego (CR, 120 mL planta) y sin riego (SR, 0 mL planta). A partir de los 30 días ambos grupos se regaron hasta la saturación del sustrato. Medias con letras diferentes indican significación (Kruskal-Wallis, Student-Newman-Keuls  $p \leq 0,05$ ). Cada dato representa la media para  $n=3$

**Figura 5.** Efecto del déficit hídrico en la actividad enzimática de Superóxido dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1) (A), en hojas "D" de plantas de piña micropropagadas (*Ananas comosus* (L.) Merr.)

## CONCLUSIONES

- ♦ Durante el periodo de déficit hídrico las plantas SR mostraron mayor magnitud de expresión CAM que las plantas CR, con mejor respuesta a los 15 días de experimento.
- ♦ A los 30 días se observó en este mismo grupo un comportamiento similar a "CAM Idling", lo cual demuestra estrés hídrico severo en las plantas SR.
- ♦ Se observó que las variables estudiadas demostraron una disminución de la expresión de CAM con el restablecimiento del riego hasta la saturación del sustrato, de modo que las plantas de piña micropropagadas en la etapa final de aclimatización mostraron una elevada plasticidad metabólica, primeramente porque en solo 15 días de déficit hídrico tuvieron una respuesta ante dicho estrés para mantener la homeostasis celular, y como consecuencia el aumento de la magnitud de expresión de CAM e incremento de la calidad morfo-fisiológica, 15 días después del restablecimiento del riego hasta saturación del sustrato se observó un incremento en los indicadores morfológicos relacionados con el crecimiento, por lo que se puede decir que a los 15 días de déficit hídrico las plantas SR presentaron una mejor preparación para la transición a condiciones de campo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez, E. R.; López, D.; Aragón, C.; Becquer, R.; Pino, Y.; Garza, Y.; Podestá, F. E.; González, O. J. L. y Rodríguez, R. "CAM Metabolic Changes of 'MD-2' Pineapple Grown Under High and Low Light". *Pineapple News*, vol. 21, 2014, pp. 27-34.
2. González-Olmedo, J. L.; Fundora, Z.; Molina, L. A.; Abdulnour, J.; Desjardins, Y. y Escalona, M. "New contributions to propagation of pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) in temporary immersion bioreactors". *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, vol. 41, no. 1, enero de 2005, pp. 87-90, ISSN 1054-5476, 1475-2689, DOI 10.1079/IVP2004603.
3. Aragón, C.; Carvalho, L.; González, J.; Escalona, M. y Amancio, S. "The physiology of *ex vitro* pineapple (*Ananas comosus* L. Merr. var MD-2) as CAM or C3 is regulated by the environmental conditions". *Plant Cell Reports*, vol. 31, no. 4, 2 de diciembre de 2011, pp. 757-769, ISSN 0721-7714, 1432-203X, DOI 10.1007/s00299-011-1195-7.
4. Aragón, C.; Pascual, P.; González, J.; Escalona, M.; Carvalho, L. y Amancio, S. "The physiology of *ex vitro* pineapple (*Ananas comosus* L. Merr. var MD-2) as CAM or C3 is regulated by the environmental conditions: proteomic and transcriptomic profiles". *Plant Cell Reports*, vol. 32, no. 11, 20 de agosto de 2013, pp. 1807-1818, ISSN 0721-7714, 1432-203X, DOI 10.1007/s00299-013-1493-3.
5. Yanes, P. E.; González, O. J. y Sánchez, R. R. "A technology of acclimatization of pineapple vitroplants". *Pineapple News*, vol. 15, 2000, pp. 24-35.



6. Villalobos, A.; González, J.; Santos, R. y Rodríguez, R. "Changes in pineapple plantlets (*Ananas comosus* (L.) Merr.) during acclimatization". *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 36, no. 6, 2012, pp. 624-630, ISSN 1981-1829.
7. Rodríguez, R.; Becquer, R.; Pino, Y.; Rodríguez-Escriba, R. C. y López, D. "Introduction of pineapple vitroplantas to field conditions in collaboration with farmers. Preliminary results". *Pineapple News*, vol. 20, 2013, pp. 51-56.
8. Herrera, A. "Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for?". *Annals of Botany*, vol. 103, no. 4, 2 de enero de 2009, pp. 645-653, ISSN 0305-7364, 1095-8290, DOI 10.1093/aob/mcn145, PMID: 18708641.
9. Prigge, M. y Guriérrez-Soto, M. V. "Pineapple photosynthesis and leaf sap pH as a surrogate of CAM performance in the field. A reseach advance". *Pineapple News*, vol. 21, 2014, pp. 18-23.
10. Nievola, C. C.; Kraus, J. E.; Freschi, L.; Souza, B. M. y Mercier, H. "Temperature determines the occurrence of CAM or C3 photosynthesis in pineapple plantlets grown in vitro". *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, vol. 41, no. 6, noviembre de 2005, pp. 832-837, ISSN 1054-5476, 1475-2689, DOI 10.1079/IVP2005694.
11. Freschi, L.; Rodrigues, M. A.; Domingues, D. S.; Purgatto, E.; Sluys, M.-A. V.; Magalhaes, J. R.; Kaiser, W. M. y Mercier, H. "Nitric Oxide Mediates the Hormonal Control of Crassulacean Acid Metabolism Expression in Young Pineapple Plants". *Plant Physiology*, vol. 152, no. 4, 1 de abril de 2010, pp. 1971-1985, ISSN 1532-2548, DOI 10.1104/pp.109.151613, PMID: 20147491.
12. Lüttge, U. "Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM)". *Annals of Botany*, vol. 93, no. 6, 6 de enero de 2004, pp. 629-652, ISSN 0305-7364, 1095-8290, DOI 10.1093/aob/mch087, PMID: 15150072.
13. Escalona, M.; Lorenzo, J. C.; González, B.; Daquinta, M.; González, J. L.; Desjardins, Y. y Borroto, C. G. "Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr) micropropagation in temporary immersion systems". *Plant Cell Reports*, vol. 18, no. 9, mayo de 1999, pp. 743-748, ISSN 0721-7714, 1432-203X, DOI 10.1007/s002990050653.
14. Villalobo, A.; González, J.; Santos, R. y Rodríguez, R. "Morpho-physiological changes in pineapple plantlets (*Ananas comosus* (L.) merr.) during acclimatization". *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 36, no. 6, diciembre de 2012, pp. 624-630, ISSN 1413-7054, DOI 10.1590/S1413-70542012000600004.
15. Porra, R. J. "The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b" [en línea]. En: eds. Govindjee, Beatty J. T., Gest H., y Allen J. F., *Discoveries in Photosynthesis*, (ser. Advances in Photosynthesis and Respiration, no. ser. 20), edit. Springer Netherlands, 2005, pp. 633-640, ISBN 978-1-4020-3323-0, DOI: 10.1007/1-4020-3324-9\_56, [Consultado: 25 de enero de 2016], Disponible en: <[http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3324-9\\_56](http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-3324-9_56)>.
16. Rodríguez, E. R. C.; Rodríguez, R.; López, D.; Lorente, G. Y.; Pino, Y.; Aragón, C. E.; Garza, Y.; Podestá, F. E. y González-Olmedo, J. L. "High Light Intensity Increases the CAM Expression in «MD-2» Micro-Propagated Pineapple Plants at the End of the Acclimatization Stage". *American Journal of Plant Sciences*, vol. 06, no. 19, 2 de diciembre de 2015, p. 3109, ISSN 2158-2750, DOI 10.4236/ajps.2015.619303.
17. Ceusters, J.; Borland, A. M.; Taybi, T.; Frans, M.; Godts, C. y Proft, M. P. D. "Light quality modulates metabolic synchronization over the diel phases of crassulacean acid metabolism". *Journal of Experimental Botany*, vol. 65, no. 13, 7 de enero de 2014, pp. 3705-3714, ISSN 0022-0957, 1460-2431, DOI 10.1093/jxb/eru185, PMID: 24803500.
18. Bradford, M. M. "A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding". *Analytical Biochemistry*, vol. 72, no. 1, 7 de mayo de 1976, pp. 248-254, ISSN 0003-2697, DOI 10.1016/0003-2697(76)90527-3.
19. StatPoint Technologies. *Statgraphics Centurion* [en línea]. (ser. Centurion), versión 16.1 (XV), [Windows], 21 de mayo de 2010, Disponible en: <<http://statgraphics-centurion.software.informer.com/download/>>.
20. Borland, A. M. y Yang, X. "Informing the improvement and biodesign of crassulacean acid metabolism via system dynamics modelling". *New Phytologist*, vol. 200, no. 4, 1 de diciembre de 2013, pp. 946-949, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/nph.12529.
21. Borland, A. M.; Wullschlegler, S. D.; Weston, D. J.; Hartwell, J.; Tuskan, G. A.; Yang, X. y Cushman, J. C. "Climate-resilient agroforestry: physiological responses to climate change and engineering of crassulacean acid metabolism (CAM) as a mitigation strategy". *Plant, Cell & Environment*, vol. 38, no. 9, 1 de septiembre de 2015, pp. 1833-1849, ISSN 1365-3040, DOI 10.1111/pce.12479.
22. Borland, A. M.; Barrera Zambrano, V. A.; Ceusters, J. y Shorrocks, K. "The photosynthetic plasticity of crassulacean acid metabolism: an evolutionary innovation for sustainable productivity in a changing world". *New Phytologist*, vol. 191, no. 3, 1 de agosto de 2011, pp. 619-633, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.2011.03781.x.
23. Garcia, T. M.; Heyduk, K.; Kuzmick, E. y Mayer, J. A. "Crassulacean acid metabolism biology". *New Phytologist*, vol. 204, no. 4, 1 de diciembre de 2014, pp. 738-740, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/nph.13127.
24. Nelson, E. A. y Sage, R. F. "Functional constraints of CAM leaf anatomy: tight cell packing is associated with increased CAM function across a gradient of CAM expression". *Journal of Experimental Botany*, vol. 59, no. 7, 1 de mayo de 2008, pp. 1841-1850, ISSN 0022-0957, 1460-2431, DOI 10.1093/jxb/erm346, PMID: 18256047.
25. Edwards, E. J. y Ogburn, R. M. "Angiosperm Responses to a Low-CO<sub>2</sub> World: CAM and C<sub>4</sub> Photosynthesis as Parallel Evolutionary Trajectories". *International Journal of Plant Sciences*, vol. 173, no. 6, 2012, pp. 724-733, ISSN 1058-5893, DOI 10.1086/666098.

26. Herrera, A. "Crassulacean acid metabolism-cycling in *Euphorbia milii*". *AoB Plants*, vol. 5, 1 de enero de 2013, p. plt014, ISSN 2041-2851, DOI 10.1093/aobpla/plt014, PMID: 23596548.
27. Quezada, I. M. y Gianoli, E. "Crassulacean acid metabolism photosynthesis in Bromeliaceae: an evolutionary key innovation". *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 104, no. 2, 2011, pp. 480-486, ISSN 1095-8312.
28. Reyes, G. C.; Mejia, C. M. y Griffiths, H. "High but not dry: diverse epiphytic bromeliad adaptations to exposure within a seasonally dry tropical forest community". *New Phytologist*, vol. 193, no. 3, 1 de febrero de 2012, pp. 745-754, ISSN 1469-8137, DOI 10.1111/j.1469-8137.2011.03946.x.
29. Matsuo, T.; Totoki, Y.; Suemitsu, H.; Matsuo, T.; Totoki, Y. y Suemitsu, H. "Adaptive Estimation of Biological Rhythm in Crassulacean Acid Metabolism with Critical Manifold, Adaptive Estimation of Biological Rhythm in Crassulacean Acid Metabolism with Critical Manifold". *ISRN Applied Mathematics*, vol. 2013, 18 de junio de 2013, p. 9, ISSN 2090-5564, DOI 10.1155/2013/856404.
30. Niewiadomska, E.; Bilger, W.; Gruca, M.; Mulisch, M.; Miszalski, Z. y Krupinska, K. "CAM-related changes in chloroplastic metabolism of *Mesembryanthemum crystallinum* L.". *Planta*, vol. 233, no. 2, 3 de noviembre de 2010, pp. 275-285, ISSN 0032-0935, 1432-2048, DOI 10.1007/s00425-010-1302-y.
31. Davies, B. N. y Griffiths, H. "Competing carboxylases: circadian and metabolic regulation of Rubisco in C3 and CAM *Mesembryanthemum crystallinum* L.". *Plant, Cell & Environment*, vol. 35, no. 7, 1 de julio de 2012, pp. 1211-1220, ISSN 1365-3040, DOI 10.1111/j.1365-3040.2012.02483.x.
32. Bartholomew, D. P.; Paull, R. E. y Rohrbach, K. G. *The Pineapple: Botany, Production, and Uses*. edit. CABI, 20 de noviembre de 2002, 336 p., ISBN 978-0-85199-979-1.
33. Borland, A. M.; Hartwell, J.; Weston, D. J.; Schlauch, K. A.; Tschaplinski, T. J.; Tuskan, G. A.; Yang, X. y Cushman, J. C. "Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency". *Trends in Plant Science*, vol. 19, no. 5, 1 de mayo de 2014, pp. 327-338, ISSN 1360-1385, DOI 10.1016/j.tplants.2014.01.006, PMID: 24559590.

Recibido: 15 de mayo de 2015

Aceptado: 18 de enero de 2016

## NÚMERO ESPECIAL

*Este número de la revista está dedicado  
al X Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal (BioVeg2015)*

---

### Nota:

Durante el proceso de edición no se pudo acceder al trabajo de retoque y mejoramiento de imágenes, por lo que estas han sido insertadas con la misma calidad con la que enviaron sus autores.

La Editorial

# TUTORIAL

## NÚMERO ESPECIAL

*Este número de la revista está dedicado  
al X Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal (BioVeg2015)*

*El Centro de Bioplantitas es una institución de investigaciones científicas, adscrita a la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” del Ministerio de Educación Superior de Cuba. El mismo surge en 1987 como un laboratorio de investigaciones y micropropagación de plantas frutales. Desde 1992, tiene como misión desarrollar, aplicar y ofrecer tecnologías, productos, asistencia técnica y servicios académicos de excelencia en el marco de la Biotecnología Vegetal.*

*El grupo de investigadores, técnicos de laboratorio y otro personal auxiliar altamente calificados, han sido galardonados con premios relevantes de la Academia de las Ciencias de Cuba y con reconocimientos por la labor que realizan en la transferencia de resultados científicos y tecnológicos, la producción de vitroplantitas para el comercio internacional, y la educación postgraduada. Para el trabajo científico cuenta con seis laboratorios: Cultivo de Células y Tejidos Vegetales, Agrobiología, Interacción Planta-Patógeno, Ingeniería Metabólica, Mejoramiento Genético de Plantas y Computación Aplicada. Todos con las mejores facilidades y un equipamiento de alta calidad para asegurar resultados relevantes.*

*El Centro de Bioplantitas desde 1997 y, como bienal, desarrolla su Congreso Internacional de Biotecnología Vegetal (BioVeg), el cual constituye un marco excepcional para el intercambio de conocimientos y experiencias entre científicos, docentes y productores. En este se debaten en forma de Conferencia Magistrales, Talleres y Mesas Redondas durante sesiones de trabajo, los resultados más relevantes y los problemas más acuciantes que enfrenta la biotecnología vegetal cubana y mundial.*

*Por todo lo anterior, el Comité Organizador de BioVeg2015 en su décima edición se complace en presentarles una muestra representativa de 19 trabajos científicos completos recibidos y siente profunda satisfacción en invitarlos para el próximo BioVeg2017 que se desarrollará en la fecha 22-26 del mes de mayo.*

---

### Nota:

Durante el proceso de edición no se pudo acceder al trabajo de retoque y mejoramiento de imágenes, por lo que estas han sido insertadas con la misma calidad con la que enviaron sus autores.

La Editorial