

Intensidad de la luz y sacarosa en la respuesta morfo-fisiológica *in vitro* de plántulas *Selenicereus megalanthus* (Haw.)

Light intensity and sucrose on the *in vitro* morpho-physiological response *Selenicereus megalanthus* (Haw.) Seedlings

Carlos Eduardo Millones Chanamé^{1*}, Ernestina Rosario Vásquez Castro²

Resumen

Mejorar la eficiencia en las condiciones de cultivo *in vitro* en protocolos de la micropropagación de pitahaya amarilla establecidos, permite evaluar la dependencia de la sacarosa en el medio de cultivo bajo condiciones fotoautotróficas con la finalidad de obtener plántulas de alta calidad en menor tiempo, que favorezca su aclimatación en la producción masiva de esta especie. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de intensidad de la luz y el empleo o no de la sacarosa en el medio de cultivo sobre la respuesta morfológica y fisiológica *in vitro* de plántulas de pitahaya amarilla (*S. megalanthus*). Secciones vegetativas de pitahaya amarilla fueron colocadas en medios de cultivo de crecimiento y desarrollo para la obtención de esquejes de aproximadamente seis centímetros de largo para la obtención de los explantes. Los recipientes fueron colocados a diferentes intensidades de la luz: 50, 100 y 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, utilizando lámparas fluorescentes compactas, cuyas intensidades fueron ajustadas empleando un luxómetro. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (Factor A: tres intensidades de luz y Factor B: presencia y ausencia de sacarosa en el medio de cultivo de crecimiento y desarrollo) y siete repeticiones por tratamiento. Las evaluaciones de la respuesta morfológica y fisiológica fueron realizadas a los 45 días de cultivo *in vitro*. Los rasgos relacionados con el contenido hídrico, peso seco y longitud de brote permiten explicar la respuesta fotoautotrófica de las plántulas de pitahaya amarilla cultivada *in vitro* empleando intensidades de luz de 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y en ausencia de sacarosa.

Palabras claves: Cactaceae, pitahaya amarilla, fotoautotrófico, contenido hídrico, micropropagación, intensidad de luz.

Abstract

Improving the efficiency *in vitro* culture conditions in established yellow pitahaya micropropagation protocols, allows evaluating the dependence of sucrose in the culture medium under photoautotrophic conditions to obtain high quality seedlings in less time, which favors their acclimatization in the mass production of this species. The objective of this research was to evaluate the levels of light intensity and the use or not of sucrose in the culture medium on the *in vitro* morphological and physiological response of yellow pitahaya (*S. megalanthus*) seedlings. Vegetative sections of yellow pitahaya were placed in growth and development culture media to obtain cuttings approximately six centimeters long to obtain the explants. The containers were placed at different light intensities: 50, 100 and 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, using compact fluorescent lamps, whose intensities were adjusted using a luxometer. A completely randomized design with factorial arrangement (Factor A: three light intensities and Factor B: presence and absence of sucrose in the growth and development culture medium) and seven repetitions per treatment was used. The evaluations of the morphological and physiological response were made after 45 days of *in vitro* culture. The traits related to water content, dry weight and shoot length allow us to explain the photoautotrophic response of yellow pitahaya seedlings grown *in vitro* using light intensities of 50 and 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ and in the absence of sucrose.

Keyword: Cactaceae, yellow pitahaya, photoautotrophic, water content, micropropagation, light intensity.

Recibido: 12/02/2023

Aceptado: 07/08/2023

Publicado: 08/08/2023

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: carlos.millones@untrm.edu.pe

Introducción

La pitahaya amarilla (*S. megalanthus* Haw.) pertenece a la familia Cactaceae con aproximadamente 20 especies distribuidas en Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, que muestran un amplio rango de adaptación (Cruz et al., 2016). Actualmente la producción de frutos de pitahaya amarilla se ha incrementado por la aceptación de los mercados europeos y asiáticos, debido al fruto exótico que posee con un dulzor característico y refrescante, además, por la presencia de compuestos bioactivos con actividad antioxidante que podrían modular el estrés oxidativo en las células de importante valor remunerativo para los productores de pitahaya

en los países tropicales y sub-tropicales (Torres et al., 2017; Mejía et al., 2020; Mállap-Detquizán et al., 2022; Chongloi, et al., 2022).

¹Doctor en Genética y Mejoramiento de Plantas, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú. carlos.millones@untrm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7236-6341>

²Doctora en Ciencias para el Desarrollo Sustentable, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú. ernestina.vasquez@untrm.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2106-7840>

Como citar: Millones Chanamé, C. E., & Vásquez Castro, E. R. (2023). Intensidad de la luz y sacarosa en la respuesta morfo-fisiológica *in vitro* de plántulas *Selenicereus megalanthus* (Haw.). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 140–147. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.528>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

La propagación de la pitahaya se realiza sexualmente mediante la semilla botánica y asexualmente a través de los esquejes obtenidos a partir de los cladodios. La reproducción asexual es la más empleada por ser más económica y con buena respuesta productiva, pero este método es poco eficiente por ser lento y propiciar condiciones para el desarrollo de enfermedades por exceso de humedad (Hua et al., 2015). La propagación *in vitro* es una herramienta biotecnológica que permite mejorar la eficiencia de la multiplicación masiva y homogénea de material élite, libre de enfermedades (Suárez et al., 2014).

Los protocolos de propagación *in vitro* en pitahaya amarilla (*S. megalanthus*) emplean segmentos nodales colocados en medio basal MS y adición de BAP 0,5 y 1 mg/L en la inducción y crecimiento de brotes (Zambrano-Forero et al., 2015); meristemos axilares (aréolas) colocados en medio basal MS, y adición de Thidiazuron (TDZ) 300 μM , en la regeneración vía organogénesis indirecta (Caetano, et al., 2014); hojas cotiledonales y fragmentos de cladodios en medio MS y adición de 6-furfurilaminopurina (KIN) 2 mg/L y bencilaminopurina (BAP) 2mg/L en la obtención de brotes y raíces adventicias (Suárez et al., 2014); secciones vegetativas colocadas en medio basal MS y adición de BAP 2 mg/L y KIN 1 mg/L en la inducción de brotes y raíces adventicias (Millones y Vásquez, 2010).

Protocolos de propagación *in vitro* en especies de cactáceas, comprende las condiciones ambientales de crecimiento con baja intensidad de la luz y escaso intercambio de gases en los contenedores de cultivo *in vitro*, siendo empleada la sacarosa como la principal fuente de carbono. En *Hylocereus purpusii* intensidad de la luz de 38 y 47,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y sacarosa 30 g/L (De Feria et al., 2012), *Hylocereus monacanthus* intensidad de la luz de 28 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y sacarosa 30 g/L (Montiel-Frausto et al., 2016), *Selenicereus megalanthus* intensidad de la luz de 37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y sacarosa de 30 g/L (Suárez et al., 2014). La propagación *in vitro* bajo diferentes intensidades de la luz también ha sido evaluado en especies como *Pouteria gardneriana* registrando que la regeneración de plántulas es dependiente de la sacarosa en el medio de cultivo y que las intensidades de la luz mínimamente influenciaron en las características fenotípicas (Leite et al., 2017). *Momordica grosvenori* cultivada bajo condiciones fotoautotróficas registraron mejor desarrollo del sistema radicular, desarrollo de brotes alto contenido de clorofila, mayor capacidad fotosintética y alta supervivencia *ex vitro* (Zhang et al., 2009). Las condiciones fotoautotróficas son adecuadas porque permiten en varias especies mejorar las condiciones de aclimatación de los explantes, obteniendo altas tasas de sobrevivencia en la etapa *ex vitro* (Hoang et al., 2020; Nguyen et al., 2016).

Mejorar la eficiencia en las condiciones de cultivo *in vitro* en protocolos de la propagación *in vitro* de pitahaya amarilla establecidos, permite evaluar la dependencia de la sacarosa en el medio de cultivo bajo condiciones fotoautotróficas con la finalidad de obtener plántulas de alta calidad en menor tiempo, que favorezca su aclimatación en la producción masiva de esta especie, razón por la cual, la presente investigación evaluó diferentes intensidades de la luz y el empleo o no de la sacarosa en el medio de cultivo sobre la respuesta morfológica y fisiológica *in vitro* de plántulas de pitahaya amarilla (*S. megalanthus*), con la finalidad de desarrollar una metodología para la micropropagación fotoautotrófica de plántulas de pitahaya amarilla, en la producción masiva de semilla asexual de calidad.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el Laboratorio de Biología de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú durante el año 2020. El material vegetativo de pitahaya amarilla (*S. megalanthus*) estuvo conformado por cladodios introducidos *in vitro* en el año 2009 colectado en el distrito de Churuja, provincia de Bongará, región Amazonas, Perú (latitud 06°01'01.2", longitud 77°57'16,8" WO y altura de 1392 msnm).

Para el crecimiento y desarrollo de secciones vegetativas de pitahaya amarilla *in vitro* se formuló el medio de cultivo de crecimiento y desarrollo constituido por las sales inorgánicas y vitaminas MS (Murashige y Skoog, 1962), ácido naftalenacético (ANA) 1 mg/L y BAP 2 mg/L, m-inositol 100 mg/L, sacarosa 30 g/L, carbón activado 3g/L y phytigel SIGMA 1,5 g/L. Las secciones vegetativas de pitahaya amarilla fueron colocadas en medios de cultivo de crecimiento y desarrollo, con la finalidad de obtener esquejes de aproximadamente seis centímetros de largo para la obtención de los explantes.

Los esquejes obtenidos en la etapa anterior fueron seccionados en aproximadamente cinco mm de longitud y colocadas 16 secciones vegetativas en medio de cultivo de crecimiento y desarrollo con 0 y 30 g/L de sacarosa, respectivamente. Los recipientes fueron colocados a diferentes intensidades de la luz: 50, 100 y 150 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}^{-1}$, utilizando lámparas fluorescentes compactas. Las intensidades de la luz fueron ajustadas empleando un luxómetro Control Company 3251. Todos los tratamientos fueron desarrollados a temperatura de 25 ± 2 °C.

Después de 45 días de cultivo *in vitro* de los explantes se recopilaron datos morfológicos: longitud de brote, número y longitud de raíces, diámetro de cladodio y datos fisiológicos: peso seco (colocados los explantes

en una estufa a 60 °C hasta peso constante) y contenido hídrico (CH (%)) = $[(\text{Peso fresco} - \text{Peso seco}) / \text{Peso fresco}] \times 100$ (Hoang et al., 2017).

Los experimentos empleados para evaluar los efectos de la intensidad de la luz y la presencia/ausencia de sacarosa en el medio de cultivo de crecimiento y desarrollo de esquejes de pitahaya amarilla *in vitro* fue bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial (Factor A: intensidades de la luz, Factor B: presencia/ausencia de sacarosa en el medio de cultivo de crecimiento y desarrollo), con siete repeticiones, cada una conformada por 16 explantes. Las diferencias significativas entre las medias fueron calculadas con la prueba Tukey a $P \leq 0.05$. El ANOVA de dos factores se realizó para analizar los efectos combinados de los factores. El MANOVA de dos factores fue realizado con las variables establecidas en el estudio. Las diferencias significativas fueron analizadas a $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$,

respectivamente. La relación entre los caracteres evaluados fue explorada con la técnica de análisis de los componentes principales. Los resultados de los componentes principales fueron visualizados con el Biplot construido entre los dos primeros componentes principales (PC1 y PC2). El análisis estadístico de los datos se realizó con el software R versión 4.1.0.

Resultados y discusión

El MANOVA de dos factores de las variables morfológicas y fisiológicas en el crecimiento vegetativo de plántulas de pitahaya amarilla mostraron que los parámetros individuales intensidad de la luz, presencia/ausencia de la sacarosa en el medio de cultivo e intensidad de la luz x presencia/ausencia sacarosa en el medio de cultivo fueron significativos ($P \leq 0.01$ y $P \leq 0.05$, respectivamente) (Tabla 1).

Tabla 1. MANOVA de dos factores de los efectos de diferentes intensidades de la luz y presencia o no de sacarosa en el medio de cultivo, y sus efectos combinados en las variables morfológicas y fisiológicas del crecimiento vegetativo en plántulas de pitahaya amarilla.

Parámetro	Wilk's Lambda	F	P
Intensidad de la luz	0.361	3.44	**
Presencia/ausencia de sacarosa	0.557	4.11	**
Intensidad de la luz x Presencia/ausencia sacarosa	0.484	2.26	*

**Diferencia significativa a $P \leq 0.01$. *Diferencia significativa a $P \leq 0.05$

Las plántulas de pitahaya amarilla respondieron de manera similar en los caracteres morfológicos como longitud de brote, número y longitud de raíces, diámetro de cladodio empleando intensidades de la luz 50, 100 y 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y 30 g/L de sacarosa, no registrando diferencias significativas. El efecto negativo marcado debido a la ausencia de sacarosa en el medio de cultivo registró diferencias significativas cuando se empleó 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ afectando la respuesta morfológica de los explantes, por el contrario, el empleo de intensidades de la luz de 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y en ausencia de sacarosa fueron registrados valores similares de respuesta morfológica al emplear 30 g/L de sacarosa en el medio de cultivo, siendo la prueba no significativa (Figura 1a-1d). El número y longitud de raíces en intensidades de la luz 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ en ausencia de sacarosa, la respuesta morfológica fue similar con aquellos medios de cultivo donde se empleó sacarosa, esta respuesta es importante cuando las plántulas desarrollan bajo condiciones fotoautotróficas, porque permite mejorar el estatus de agua del brote y por consiguiente una mejor absorción de los nutrientes a través de la raíz (Sasongko et al., 2016).

La longitud de brotes a los 45 días de cultivo *in vitro* registró valores de 1,71; 2,5 y 2,15 cm en intensidades de

la luz 50, 100 y 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ más sacarosa 30 g/L en el medio de cultivo, incluso similares longitudes de 2,11 y 2,56 cm fueron registradas en intensidad de la luz 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ sin el uso de sacarosa en el medio de cultivo (Figura 1). La intensidad de la luz de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ en ausencia de sacarosa en el medio de cultivo la longitud de brote disminuyó (1,0 cm) siendo la prueba significativa. Investigaciones en pitahaya amarilla empleando intensidad de la luz de 2000 lux (37 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$) más 30 g/L de sacarosa en el medio de multiplicación registraron longitudes de cladodios de 2,7 cm de largo, pero a los 60 días de cultivo *in vitro* (Suárez et al., 2014). Especies emparentadas con la pitahaya amarilla, el empleo de intensidad de la luz 38 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, 20 g/L de sacarosa y BAP 2 mg/L en *Hylocereus purpusii* registraron longitud de cladodio de 1,75 cm a los 45 días de cultivo *in vitro* en (De Fera et al., 2012); asimismo, el empleo de intensidad de la luz 28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$, 30 g/L de sacarosa y BAP 2 mg/L en *H. monacanthus* registraron longitud de cladodio de 2 cm a los 60 días de cultivo *in vitro* (Montiel-Frausto et al., 2016). Ambas especies, experimentaron menor longitud de cladodios en bajas intensidades de la luz comparados a los reportados en la presente investigación con intensidad de la luz de 150 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ (2,15 y 2,50 cm, respectivamente). En *Capsicum chinense* el empleo de alta intensidad

de la luz $225 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ más 30 g/L de sacarosa en el medio de cultivo afectó los parámetros de crecimiento como longitud de brote, número de hojas, área foliar comparado con la intensidad de luz intensidad de la luz $28 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ (Barrales-López, 2015). La respuesta fotoautotrófica en las plántulas de pitahaya amarilla fue

distinta a la reportada en *Pouteria gardneriana* que solo registraron regeneración de brotes cuando el medio de cultivo contenía como fuente de carbono la sacarosa, siendo indispensable la sacarosa en el medio de cultivo para el crecimiento y desarrollo *in vitro* de esta especie (Leite et al., 2017).

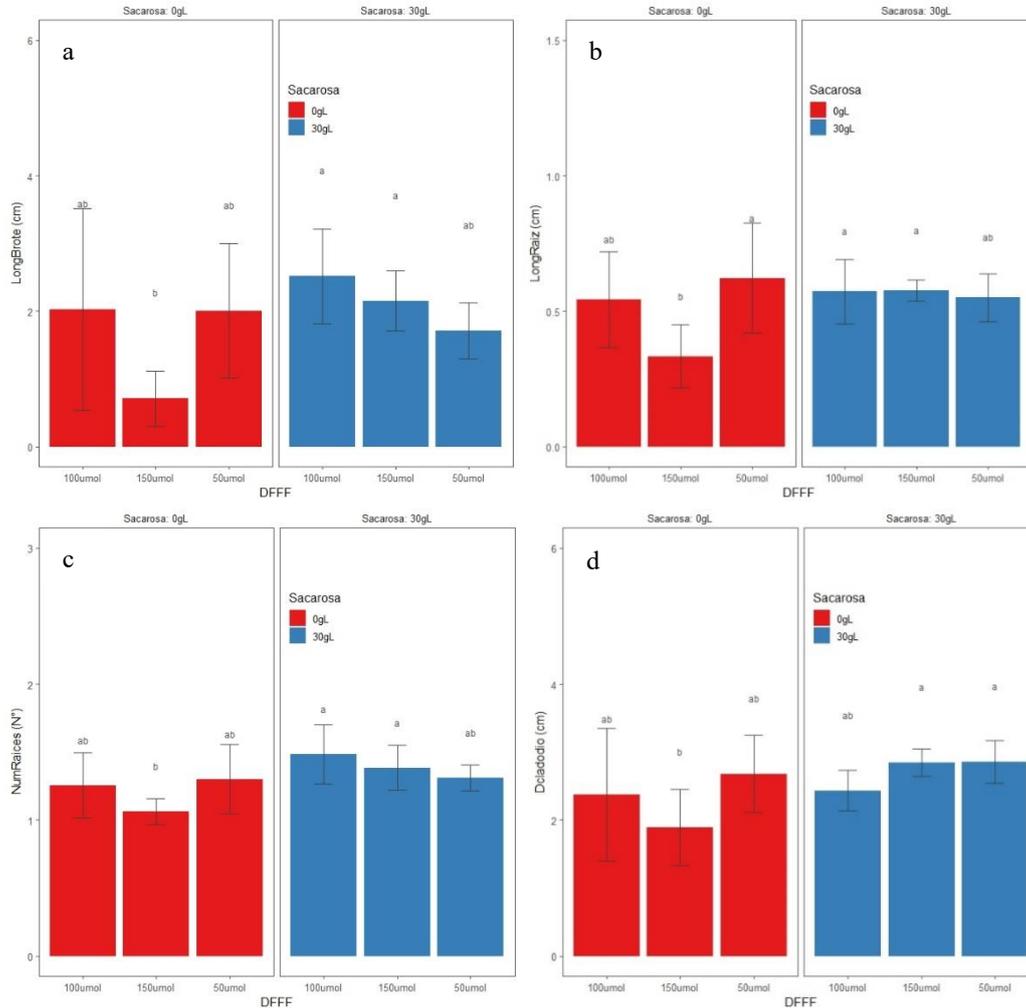


Figura 1. Respuesta morfológica de las plántulas de pitahaya amarilla sometidas a diferentes intensidades de luz y presencia/ausencia de sacarosa en el medio de cultivo. a) longitud de brote, b) longitud de raíz, c) número de raíces, d) diámetro de cladodio.

Datos presentados con medias \pm desviación standard, diferentes letras indican diferencias significativas en los parámetros para un $P \leq 0.05$ de acuerdo con la prueba Tukey.

Los caracteres fisiológicos mostraron diferencias significativas en la respuesta frente a la intensidad de la luz y presencia/ausencia de la sacarosa en el medio de cultivo. El peso seco mostró una respuesta similar a la registrada en los caracteres morfológicos cuando se empleó 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ en ausencia de sacarosa no mostraron diferencias significativas en el peso seco comparadas con aquellas cultivadas en medio de

cultivo con sacarosa 30% (Figura 2a). La ausencia de la sacarosa en el medio de cultivo no afectó la fotosíntesis, esta respuesta puede estar relacionada con la presencia de componentes en el medio de cultivo que permitieron el desarrollo fotoautotrófico en ausencia de la sacarosa, tomando los explantes una fuente alterna de carbono, o quizá podría estar relacionada con la fotosíntesis CAM de la pitahaya amarilla (Weiss et al., 2010).

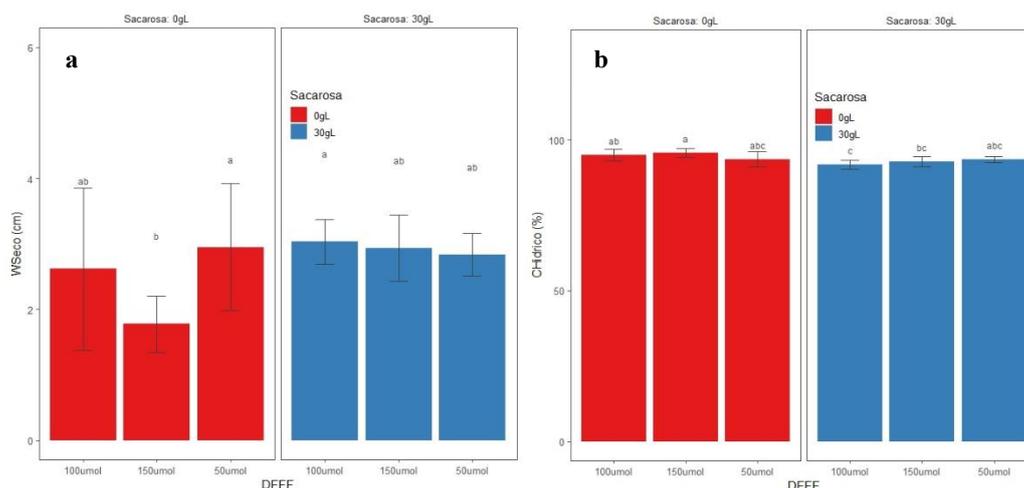


Figura 2. Respuesta fisiológica de plántulas de pitahaya amarilla sometidas a diferentes intensidades de luz y presencia/ausencia de sacarosa en el medio de cultivo. a) peso seco, b) contenido hídrico.

Datos presentados con medias \pm desviación standard, diferentes letras indican diferencias significativas en los parámetros para un $P \leq 0.05$ de acuerdo con la prueba Tukey.

El proceso de la fotosíntesis requiere mayor cantidad de agua en la plántula para llevar a cabo las reacciones catalizadas por el fotosistema II (Shen et al., 2015). Bajo condiciones fotoautotróficas es importante el estatus de agua en la plántula, porque mejora positivamente la eficiencia del fotosistema II y produce un escaso desorden anatómico en la propagación *in vitro* de *Aechmea blanchetiana* (Martins et al., 2020). El contenido hídrico en intensidades de la luz 100 y 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y ausencia de sacarosa en el medio de cultivo registró mayores porcentajes de contenido hídrico en comparación cuando se empleó la sacarosa en el medio de cultivo, siendo la prueba significativa. El empleo de 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ con presencia/ausencia de la sacarosa en el medio de cultivo registraron datos similares, siendo la prueba no significativa (Figura 2b). En condiciones fotoautotróficas el crecimiento y desarrollo de las plántulas de pitahaya amarilla mostraron mejor estatus hídrico de saturación que influyó en mayor crecimiento del brote, probablemente al obtener una mayor longitud de raíces que permitieron mayor eficiencia en la absorción de nutrientes del medio de cultivo. Sin embargo, la disminución del estatus hídrico en plántulas sometidas a mayor intensidad de luz (150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$) registraron disminución de la longitud del brote, probablemente por una disminución de la turgencia celular.

La intensidad de la luz debe ser incrementada a un nivel que estimule el comportamiento fotoautotrófico de las plántulas cultivadas *in vitro* cuando se utilizan medios con ausencia de sacarosa (Nguyen et al., 2016). Las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plántulas de pitahaya amarilla reportadas en el presente estudio son de importancia en el cultivo fotoautotrófico para establecer las condiciones de intensidad lumínica de las plántulas, porque al aumentar la intensidad de luz

a 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ requiere del uso de sacarosa. Cuando las intensidades de luz fueron de 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ las plántulas pueden ser cultivadas sin suministro de fuente de carbono en el medio de cultivo. El comportamiento fotoautotrófico ha sido reportado en *Mouriri elliptica* (Melastomataceae), en intensidades de luz de 100 y 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y medios de cultivo con y sin sacarosa (De Assis et al., 2016). En *Aechmea blanchetiana* (Bromeliaceae) en intensidades de 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ con diferentes niveles de sacarosa 0, 15, 30 y 45 g/L de sacarosa en el medio de cultivo (Martins et al., 2020). En *Castanea sativa* la alta intensidad de la luz 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ y empleo de bajas concentraciones de sacarosa (5 g/L) en el medio de cultivo favorece el crecimiento y la fotosíntesis en esta especie (Sáez et al., 2016).

Las variables evaluadas en el crecimiento y desarrollo de plántulas de pitahaya amarilla sometidas a diferentes intensidades de luz y cultivadas en medios de cultivo con presencia/ausencia de sacarosa a través del análisis de componentes principales (PC) las PC1 y PC2 explican el 96,2% de la varianza de los datos (Figura 3). Las puntuaciones positivas de la PC1 (representa el 80,4% de la varianza total) muestran que la proyección de la longitud de brote y el peso seco mostraron estar altamente correlacionados. El contenido hídrico registró puntuaciones negativas y mejor representadas en la PC1, no muestra una dependencia con la variable longitud de brote, en tanto, tiene una correlación fuerte pero inversa con el peso seco. Estos resultados muestran que a intensidad de la luz de 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ las variables fisiológicas y morfológicas como peso seco, contenido hídrico y longitud brote explican la respuesta fotoautotrófica de las plántulas de pitahaya amarilla a los 45 días de cultivo *in vitro*.

Intensidad de luz y presencia de sacarosa en explantes de pitahaya amarilla

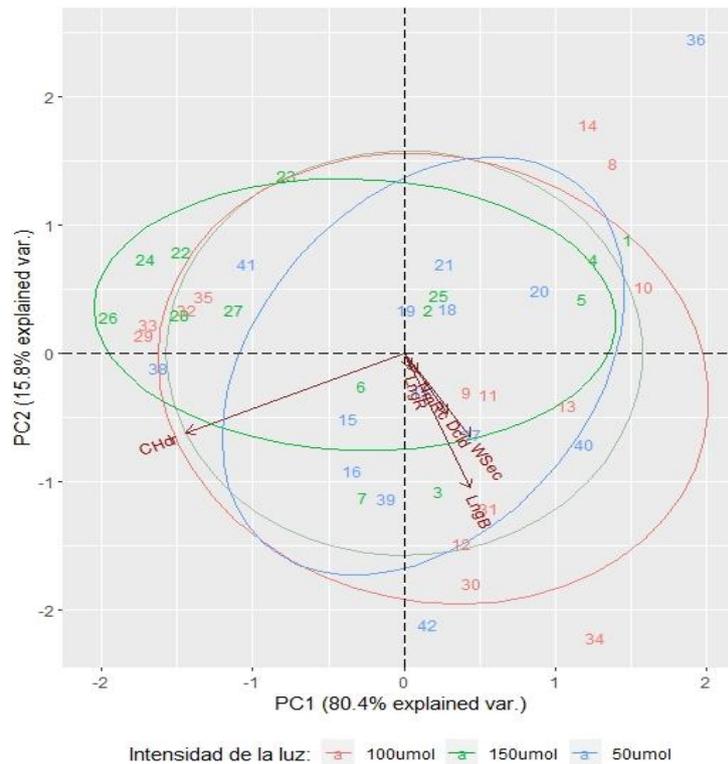


Figura 3. Componentes principales de las respuestas morfológicas y fisiológicas de plántulas de pitahaya amarilla sometidas a diferentes DFFF y presencia/ausencia de sacarosa en el medio de cultivo.

Longitud de brote (LngB), longitud de raíces (LngR), número de raíces (NmRc), diámetro de cladodio (Dcld), peso seco (WSec), contenido hídrico (CHdr).

Conclusiones

Los rasgos relacionados con el contenido hídrico, peso seco y longitud de brote permiten explicar la respuesta fotoautotrófica de las plántulas de pitahaya amarilla cultivada *in vitro* empleando intensidades de luz de 50 y 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ en ausencia de sacarosa.

El empleo de intensidad de la luz de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ en ausencia de sacarosa de cultivo, afectó las variables morfológicas y fisiológicas en plántulas de pitahaya amarilla.

Referencias

- Barrales-López, A., Robledo-Paz, A., Trejo, C., Espitia-Rangel, E. & Rodríguez, O.J.L. (2015). Improved *in vitro* rooting and acclimatization of *Capsicum chinense* Jacq. Platlets. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 51(3), 274-283. <https://doi.org/10.1007/s11627-015-9671-3>
- Caetano, D.G., Escobar, R., Caetano, C.M. & Vaca, J.C.V. (2014). Estandarización de un protocolo de regeneración en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran). *Acta Agronómica* 63(1), 31-41. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v63n1.36051>
- Chongloi, L., Gunnaiah, R., Hipparagi, K., Guranna, P., Prakasha, D.P., Chittapur, R., Kamble, A. & Vishweshwar, S. (2022). Economic analysis of micropropagation of dragon fruit (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose). *International Journal of Plant & Soil Science* 34(22), 1267-1275. <https://doi.org/10.9734/ijpss%2F2022%2Fv34i2231496>
- Cruz, A., Tovar, Y.P. & Morillo, Y. (2016). Caracterización morfológica de *Selenicereus megalanthus* (K. Schum. Ex Vaupel) Moran en la provincia de Lengupá. *Ciencia en Desarrollo* 7(2), 23-33. <http://www.scielo.org.co/pdf/cide/v7n2/v7n2a02.pdf>
- De Assis, E.S., Neto, A.R., De Lima, L.R., Silva, F.G., Rosa, M., Filho, S.C.V. & Leite, M.S. (2016). *In vitro* culture of *Mouriri elliptica* (Mart.) under conditions that stimulate photoautotrophic

- behavior. *Australian Journal of Crop Science* 10(2), 229-236.
- De Fera, M., Rojas, D., Reyna, M., Quiala, E., Solls, E. & Zurita, F. (2012). *In vitro* propagation of *Hylocereus purpusii* Britton & Rose, a mexican species in danger of extinction. *Bioteología Vegetal* 12(2), 77-83.
- Hua, Q., Chen, P., Liu, W., Ma, Y., Liang, R., Wang, L., Wang, Z., Hu, G. & Qin, Y. (2015). A protocol for rapid in vitro propagation of genetically diverse pitaya. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 120(2), 741-745. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0643-9>
- Hoang, N.N., Kitaya, Y., Shibuya, T. & Endo, R. (2020). Effects of supporting materials in *in vitro* acclimatization stage on *ex vitro* growth of wasabi plants. *Scientia Horticulturae* 261, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109042>
- Hoang, N.N., Kitaya, Y., Morishita, T., Endo, R. & Shibuya, T. (2017). A comparative study on growth and morphology of wasabi plantlets under the influence of the micro-environment in shoot and root zones during photoautotrophic and photomixotrophic micropropagation. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 130(2), 255-263. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1219-2>
- Leite, M.S, Silva, F.G., Assis, E.S., Neto, A. R., Mendes, G.C. & Rosa, M. (2017). Morphoanatomy and physiology of *Pouteria gradneriana* Radlk plantlets *in vitro* at varied photosynthetic photon flux densities. *Acta Scientiarum* 39(2), 217-224. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.32515>
- Malláp-Detquizán, G., Vilca-Valqui, N.C., Meléndez-Mori, J.B., Huaman-Huaman, E. & Oliva, M. (2022). Multiplicación *in vitro* de pitahaya amarilla (*Hylocereus megalanthus*) a partir de plántulas obtenidas *in vitro*. *Agronomía Mesoamericana* 33(1), 454-472. <https://doi.org/10.15517/am.v33i1.45472>
- Martins, J.P.R., Rodrigues, L.C.A., Santos, E.R., Gontijo, A.B.P.L. & Falqueto, A.R. (2020). Impacts of photoautotrophic, photomixotrophic, and heterotrophic conditions on the anatomy and photosystem II of *in vitro*-propagated *Aechmea blanchetiana* (Baker) L.B. Sm. (Bromeliaceae). *In Vitro Cellular & Development Biology – Plant* 56(3), 350-361. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-10034-2>
- Mejía, N.M., Castro, J.P., Ocampo, Y.C., Salas, R.D., Delporte, C.L. & Franco, L.A. (2020). Evaluation of antioxidant potential and total phenolic content of exotic fruits grown in Colombia. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 10(9), 50-58. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2020.10906>
- Millones, C.E. & Vásquez, E.R. (2010). Micropropagación de plantas derivadas de semillas botánicas de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Britton & Rose) provenientes de la provincia de Utcubamba, región Amazonas. *Investigaciones Amazonenses* 4(1), 34-38.
- Montiel-Fraustro, L.B., Del Valle, J.R. & Cisneros, A. (2016). Propagación *in vitro* de *Hylocereus monacanthus* (Lem.) Britton y Rose. *Bioteología Vegetal* 16(2), 113-123. <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/516>
- Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid grown and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum* 15(3), 473 – 497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Nguyen, Q.T., Xiao, Y. & Kozai, T. (2016). Photoautotrophic micropropagation. In: T. Kozai, G. Niu, M. Takagaki Eds. *Plant Factory*, Burlington: Academic Press, 271-283. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816691-8.00023-6>
- Sáez, P.L., Bravo, L.A., Sánchez-Olate, M., Bravo, P.B. & Rios, D.G. (2016). Effect of photon flux density and exogenous sucrose on the photosynthetic performance during *in vitro* culture of *Castanea sativa*. *American Journal of Plant Sciences* 7(14), 2087-2105. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.714187>
- Sasongko, A.B., Fatumi, A. & Indrianto, A. (2016). The growth improvement of *Grammatophyllum scriptum* (Lindl.) Bl. *in vitro* plantlet using photoautotrophic micropropagation system. *Indonesian Journal of Biotechnology* 21(2), 109-116. <https://doi.org/10.22146/ijbiotech.27167>
- Shen, J. R. (2015). The structure of photosystem II and the mechanism of water oxidation in photosynthesis. *Annual review of plant biology* 66(1), 23-48. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120129>
- Suárez, R.S., Caetano, C.M. & Ramírez, H. (2014). Multiplicación de *Selenicereus megalanthus* (pitahaya amarilla) e *Hylocereus polyrhizus* (pitahaya roja) vía organogénesis somática. *Acta Agronómica* 63(3), 272-281. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v63n3.40980>

- Torres, Y., Melo, D.V., Torres-Valenzuela, L.S., Serna-Jiménez, J.A. & Villarreal, A.S. (2017). Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 70(3), 8311-8318. <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.66330>
- Weiss, I., Mizrahi, Y., & Raveh, E. (2010). Effect of elevated CO₂ on vegetative and reproductive growth characteristics of the CAM plants *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus*. *Scientia horticultrae*, 123(4), 531-536. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.11.002>
- Zambrano-Forero, C.J., Ríos, J.A., Beltrán, D.M. & Mesa, N. (2015). Evaluación de reguladores de crecimiento en la propagación *in vitro* de *Hylocereus megalanthus* (pitahaya amarilla). *Revista Tumbaga* 1(10), 76-87. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/tumbaga/article/view/994>
- Zhang, M., Zhao, D., Ma, Z., Li, X. & Xiao, Y. (2009). Growth and photosynthetic capability of *Mormodica grosvenori* plantlets grown photoautotrophically in response to light intensity. *HortScience* 44(3), 757-763. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.3.757>