

Propagación in vitro de *Caladium bicolor* con diferentes dosis de reguladores de crecimiento

In vitro propagation of *Caladium bicolor* with different doses of growth regulators

Ixchel Abby Ortiz-Sánchez*, Jorge Armando Chávez-Simental**✉,
Cecilia Pulido-Díaz**, Erika Cecilia Gamero-Posada*, Sonia Valdez-
Ortega*, Guillermo González-Cervantes***

Ortiz-Sánchez, I. A., Chávez-Simental, J. A., Pulido-Díaz, C., Gamero-Posada, E. C., Valdez-Ortega, S., & González-Cervantes, G. (2021). Propagación in vitro de *Caladium bicolor* con diferentes dosis de reguladores de crecimiento. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 29(83), e3749, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021833749>

RESUMEN

El *Caladium bicolor* es un cultivo ornamental utilizado en el embellecimiento del paisaje urbano, plazas y jardines y es exportado a otros países. El objetivo fue desarrollar un sistema de propagación in vitro de *Caladium bicolor* por organogénesis. Se agregaron los reguladores de crecimiento 6-bencilaminopurina (BAP) y ácido naftaleneacético (ANA) al medio basal MS con cuatro dosis cada uno: 1.0:0.10, 1.5:0.15, 2.0:0.20 y 2.5:0.25 mg l⁻¹ de BAP:ANA para la etapa de producción de brotes y 0.10:1.0, 0.15:1.5, 0.20:2.0 y 0.25:2.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA para la etapa de enraizamiento. La dosis de 1.5:0.15 mg l⁻¹ de BAP:ANA mostró mejor respuesta en la producción de brotes y hojas, y en la etapa de enraizamiento la dosis con 0.15:1.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA presentó plantas con mayor número y longitud de raíces. Estas dosis presentaron plantas con componentes vegetativos más balanceados, permitiendo obtener plantas fortalecidas para la etapa de aclimatación.

Palabras clave: cultivo de tejidos vegetales; organogénesis; plantas bulbosas; auxinas; citocininas; plantas de ornato.

Recibido: 21 de julio de 2020 Aceptado: 7 de abril de 2021

*Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. Carretera Durango-México Km 22.5, Villa Montemorelos, C. P. 34371, Durango, Durango, México. Correo electrónico: ixchel.os@vguadiana.tecnm.mx; erika.gp@vguadiana.tecnm.mx; sonia.vo@vguadiana.tecnm.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0542-9482>; <https://orcid.org/0000-0001-9244-9283>; <https://orcid.org/0000-0001-8671-7384>

**Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Blvd. Guadiana #501, Ciudad Universitaria, C. P. 34120, Durango, Durango, México. Correo electrónico: jorge.chavez@ujed.mx; ceccy_ndd@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2666-8829>; <https://orcid.org/0000-0002-4604-2383>

***Centro Nacional de Investigación Disciplinaria y en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Km. 6.5 Margen derecha canal de Sacramento, C. P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México. Correo electrónico: gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3682-8814>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

Caladium bicolor is an ornamental crop used to beautify the urban landscape, squares and gardens and is exported to other countries. The objective was to develop an in vitro propagation system for *Caladium bicolor* by organogenesis. The growth regulators 6-benzylaminopurine (BAP) and naphthaleneacetic acid (ANA) were added to the basal MS medium with four doses each: 1.0:0.10, 1.5:0.15, 2.0:0.20 and 2.5:0.25 mg l⁻¹ of BAP:ANA for the shoot production stage and 0.10:1.0, 0.15:1.5, 0.20:2.0 and 0.25:2.5 mg l⁻¹ of BAP:ANA for the rooting stage. The dose of 1.5:0.15 mg l⁻¹ of BAP:ANA showed a better response in the production of shoots and leaves, and in the rooting stage the dose with 0.15:1.5 mg l⁻¹ of BAP:ANA presented plants with a higher number and root length. These doses presented plants with more balanced vegetative components, allowing to obtain strengthened plants for the acclimatization stage.

Keywords: plant tissue culture; organogenesis; bulbous plants; auxins; cytokinins; ornamental plants.

INTRODUCCIÓN

Caladium bicolor es un cultivo ornamental originario de Brasil y la República Cooperativa de Guyana, así como de las regiones vecinas de América Central y del Sur. El género *Caladium* incluye 12 especies (Mayo, Bogner, & Boyce, 1997), de las cuales la mayoría se propaga de forma asexual a partir de segmentos nodales de tubérculos plantados en suelo. A través de la producción de forma tradicional a partir de siembra de semilla en suelo o sustrato es posible lograr la propagación de esta especie, pero implica un riesgo elevado debido a que la semilla es pequeña, lo que hace que su manejo sea muy complicado (Ali, Munawar, & Naz, 2007). Aunado a lo anterior, mediante este sistema es difícil mantener la calidad genética y plantas libres de patógenos (Siddiqui, Naz, & Iqbal, 1993). El cultivo in vitro es una herramienta alternativa de la biotecnología que permite producir plantas en menor tiempo y espacio que coadyuva en la conservación genética y ecológica de diversas especies (Guerrero, Mroginski, Krivenky, & Domínguez, 2010).

Las plantas bulbosas mediante la propagación in vitro pueden generar hasta 1,000 tubérculos que descienden de uno solo en un promedio de 1.6 años, lo que llevaría alrededor de 16 años en condiciones naturales (Rees & Hanks, 1979). Con la implementación de esta técnica se han logrado mejoras genéticas y el desarrollo de cultivares de *Caladium* a través de la hibridación sexual, pero persiste la necesidad de generar nuevas variaciones fenotípicas en la especie (Cai, Cao, Xu, & Deng, 2015). La técnica de cultivo in vitro se realiza mediante medios basales en función de las necesidades de cada especie; modificando su contenido nutricional, agregando, disminuyendo o no incluyendo elementos en su composición (Pierik, 1988).

Los reguladores de crecimiento vegetal son sustancias en bajas concentraciones que intervienen en el desarrollo de las plantas. Dentro de este grupo de moléculas se pueden diferenciar dos tipos: las que son producidas por la planta de forma natural y las de origen sintético. Las hormonas vegetales son las encargadas de regular una variedad de procesos fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunas

investigaciones han demostrado que establecer una distribución espacial y temporal adecuada de los reguladores de crecimiento es importante en el control del desarrollo vegetativo (Kyozyuka, 2007).

Paponov, Telae, Trebar, Blilou y Palme (2005) mencionan que la auxina es la hormona vegetal involucrada en aspectos fundamentales del desarrollo de la planta y la polaridad celular. Así mismo, la actividad de las citocininas es esencial para mantener células indiferenciadas en el meristemo apical del brote y promover la diferenciación celular en el meristemo de la raíz (Kyozyuka, 2007). Sin embargo, recientemente se han comenzado a comprender los mecanismos moleculares por los cuales estas dos hormonas interactúan para producir un desarrollo específico.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un sistema de propagación in vitro de *C. bicolor* por organogénesis a partir de segmentos nodales del tubérculo en medio de Murashige y Skoog (1962), enriquecido con dos reguladores de crecimiento a diferentes dosis en la etapa de producción de brotes y enraizamiento. Se parte de la hipótesis de que la concentración de auxinas y citocininas en el medio basal impacta significativamente en el desarrollo vegetativo de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el laboratorio de Genética y Producción de Planta del Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango, en la ciudad de Durango, México.

Material vegetal y condiciones asépticas

Se seleccionaron tubérculos de *C. bicolor* producidos en el vivero de la empresa Calato, S. A. de C. V., los cuales presentaban buen estado sanitario: sin heridas, tamaño uniforme (4-5 cm de diámetro aproximadamente), consistencia sólida y coloración café rojizo. Los tubérculos se desinfectaron con una solución de Captan a 20%® y con otra de hipoclorito de sodio a 5%. Cada solución se colocó en un vaso de precipitado de 1 l, ahí se introdujeron los tubérculos y se dejaron reposar durante 10 min en cada solución y se enjuagaron con agua destilada. Se extrajeron las yemas de los tubérculos en campana de flujo laminar y fueron desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio a 5% durante 5 min antes de colocar el material vegetal (yemas) en el medio de cultivo.

Establecimiento in vitro

Para la producción de brotes adventicios se utilizó el medio basal Murashige y Skoog (MS) como solución nutritiva; se evaluaron cuatro tratamientos a los que se les adicionó 6-bencilaminopurina (BAP) y ácido naftalacético (ANA) en una proporción de 10:1 (tabla 1).

Tabla 1
*Tratamientos evaluados en la etapa de producción de brotes
adventicios in vitro de C. bicolor*

| Tratamientos | Reguladores de crecimiento (mg l ⁻¹) | |
|--------------|--|------|
| | BAP | ANA |
| T1 | 1.0 | 0.10 |
| T2 | 1.5 | 0.15 |
| T3 | 2.0 | 0.20 |
| T4 | 2.5 | 0.25 |

Nota: Elaboración propia.

A la solución nutritiva se le adicionaron 30 g l⁻¹ de sacarosa, 2 g l⁻¹ de Phytigel para la solidificación y el pH se ajustó a 5.7 con un potenciómetro marca Hanna Instruments modelo HI2221-01®. Se vertieron 25 ml de medio basal por frasco y se esterilizaron en un autoclave vertical de 40 l eléctrico marca Felisa modelo FE-399® a 121 °C con 15 PSI de presión durante un período de 20 min. Una vez que el medio se enfrió y solidificó se realizó la siembra en una campana de flujo laminar, la yema se tomó con pinzas y se colocó de forma que el corte hiciera contacto directo con los nutrientes contenidos en el medio de cultivo.

Etapa de producción de brotes adventicios

Después de establecer el cultivo los recipientes se introdujeron en la cámara de crecimiento durante 50 días; la temperatura de la cámara se mantuvo a 25 °C ± 2 y un fotoperiodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad durante la duración del experimento. El número de brotes y hojas se monitoreó cada siete días.

Etapa de enraizamiento

Para promover la generación de raíces se utilizó el mismo medio de cultivo adicionado con reguladores de crecimiento; en esta etapa la dosis de auxina fue más alta que la citocinina, estableciendo cuatro tratamientos (tabla 2).

Tabla 2
*Tratamientos evaluados en la etapa de enraizamiento in vitro de
C. bicolor*

| Tratamientos | Reguladores de crecimiento (mg l ⁻¹) | |
|--------------|--|-----|
| | BAP | ANA |
| T1 | 0.10 | 1.0 |
| T2 | 0.15 | 1.5 |
| T3 | 0.20 | 2.0 |
| T4 | 0.25 | 2.5 |

Nota: Elaboración propia.

Para el cambio de etapa, cada brote generado en la etapa anterior se separó y colocó en el medio basal con el tratamiento de enraizamiento. El subcultivo se dejó en la cámara de crecimiento durante 60 días con las mismas condiciones ambientales de temperatura y fotoperiodo de la primera etapa. En la segunda etapa se registraron las variables número de raíz, longitud de raíz y altura de planta considerando solo la parte aérea (mm), entre los 50 y 110 días después de la siembra (dds) inicial.

Las variables longitud de raíz y altura de planta de la parte aérea (mm) se determinaron mediante análisis de imagen digital con base en la metodología descrita por González-Cervantes, Valenzuela-Núñez, Muñoz-Villalobos, González-Barrios y Chávez-Simental (2011).

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para cada etapa de evaluación fue completamente al azar con 10 repeticiones por tratamiento. Para la comparación de medias se usó la prueba Tukey ($p \leq 0.05$) con el software Infostat.

RESULTADOS

Producción de brotes adventicios

Los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la producción de brotes. El T2 (1.5:0.15 mg l⁻¹ de BAP:ANA) y T3 (2.0:0.20 mg l⁻¹ de BAP:ANA), mostraron mayor número de brotes seguidos del T1 (1.0:0.10 mg l⁻¹ de BAP:ANA) sin presentar diferencia estadística (tabla 3); los resultados mostraron que el uso de dosis medias de reguladores de crecimiento es un factor determinante para la generación de mayor número de brotes y hojas; a medida que la concentración de BAP y ANA aumenta o disminuye (T1 y T4) el efecto en las variables evaluadas se redujo (tabla 3 y figura 1).

Al disminuir la dosis de los reguladores de crecimiento la producción de brotes se redujo 24% respecto al T2; por su parte, cuando se incrementó la dosis la producción de brotes decreció a 40% respecto al T2. En la variable número de hojas, aunque no se detectaron diferencias significativas, la tendencia a disminuir o aumentar la dosis con respecto al mejor tratamiento (T2) fue decreciente, al igual que en la generación de brotes (tabla 3).

Tabla 3
Comparación de medias en la etapa de producción de brotes adventicios y número de hojas *in vitro* de *C. bicolor*

| Tratamientos | Reguladores de crecimiento (mg l ⁻¹) | | No. de Brotes | | No. de Hojas | |
|--------------|--|------|---------------|-----------------|--------------|---|
| | BAP | ANA | | | | |
| 1 | 1.0 | 0.10 | 2.3 | ab [†] | 19.1 | a |
| 2 | 1.5 | 0.15 | 3.0 | a | 22.7 | a |
| 3 | 2.0 | 0.20 | 2.7 | a | 19.4 | a |
| 4 | 2.5 | 0.25 | 1.2 | b | 19.6 | a |
| DMSH | --- | ---- | 1.52 | | 24.68 | |

Nota: [†] Letras iguales dentro de la misma columna indican igualdad estadística, Tukey ($p \leq 0.05$). DMSH= diferencia mínima significativa honesta.

Elaboración propia.

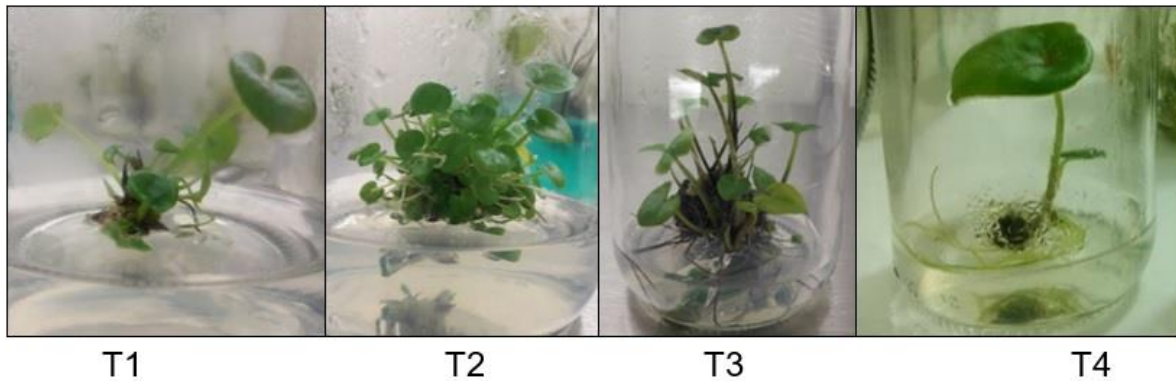


Figura 1. Efecto de diferentes dosis de BAP y ANA en la producción in vitro de brotes adventicios y hojas de *C. bicolor*.
Elaboración propia.

Con respecto al número de hojas, el análisis de varianza no presentó diferencia estadística entre tratamientos; sin embargo, se observó que a medida que se aumentaba la dosis de BAP la división celular se enfoca en la formación de follaje y no en brotes adventicios (figura 1 incisos T3 y T4).

Etapa de enraizamiento

El análisis de varianza de los datos obtenidos en las variables medidas en esta investigación mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. En la variable número de raíces, el T2 (0.15:1.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA) mostró el mayor valor a los 50 y 110 dds con 4.4 y 9.1 raíces por planta respectivamente; aunque no presentó diferencia estadística con el T1 (0.10:1.0 mg l⁻¹ de BAP:ANA) y T3 (0.20:2.0 mg l⁻¹ de BAP:ANA), pero notablemente obtuvo menor cantidad de raíces. Los tratamientos T1 y T4 mostraron una formación radical inferior al resto de los tratamientos, especialmente la dosis alta (figura 2).

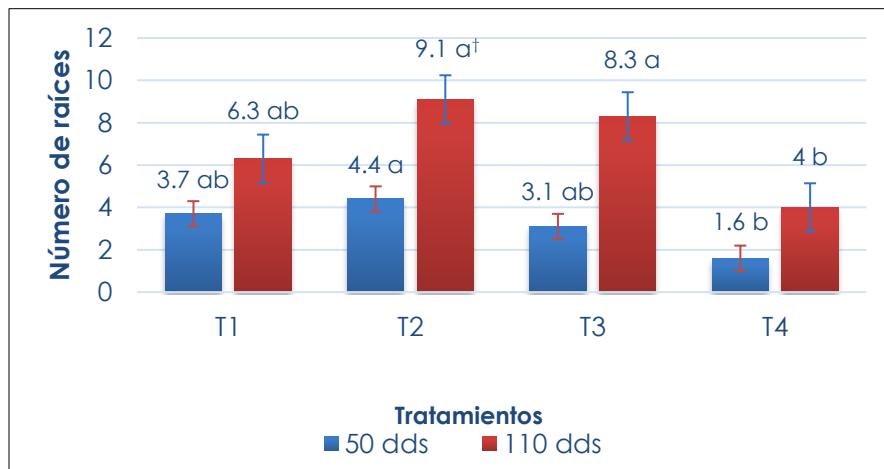


Figura 2. Comparación de medias de número de raíces en cada etapa de producción in vitro de *C. bicolor* (dds: días después de la siembra). †Letras iguales en barras del mismo color indican que no hay diferencias (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta)= 2.30 (50 dds) y 5.06 (110 dds). Líneas verticales sobre las barras representa el error estándar.
Elaboración propia.

Por otra parte, a los 50 dds el T3 (0.20:2.0 mg l⁻¹ de BAP:ANA) presentaba raíces más largas con 31.30 mm (figura 3), aun cuando las dosis de reguladores de crecimiento correspondían a la etapa de formación de brotes adventicios, lo que resultó en igualdad estadística con el T1 y T4.

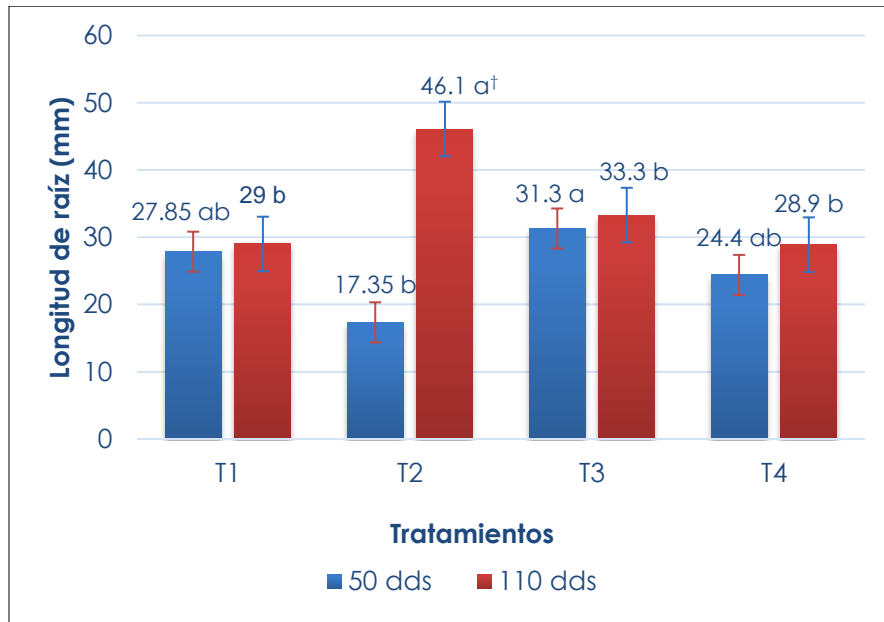


Figura 3. Comparación de medias de longitud de raíz de *C. bicolor* registradas al final de cada etapa de producción in vitro (dds: días después de la siembra). [†]Letras iguales en barras de mismo color indican que no hay diferencias (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta) = 11.72 (50 dds) y 12.73 (110 dds). Líneas verticales sobre las barras representa el error estándar. Elaboración propia.

El incremento en longitud de raíz entre los 50 y 110 dds fue de 4, 6 y 18% para el T1, T3 y T4, respectivamente, con un incremento considerable en las dosis del T2 al alcanzar un incremento de 165% al pasar de 17.35 a 46.1 mm.

Tamaño total de planta

Durante los primeros 50 días las concentraciones del T2 y T3 causaron mayor altura en las plantas, mostrando que no son diferentes estadísticamente. Sin embargo, a los 110 dds, aunque estos tratamientos también fueron los que presentaron la mayor altura, el T3 mostró un aumento de 3% de altura respecto al T2, pero no es una diferencia significativa entre ambos tratamientos (figura 4).

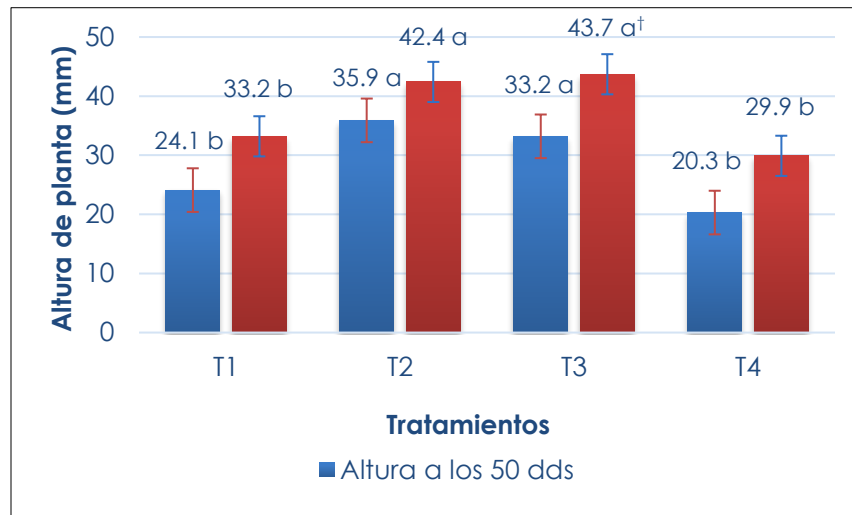


Figura 4. Comparación de medias de altura de planta de *C. bicolor* registradas al final de cada etapa de producción in vitro (dds: días después de la siembra). †Letras iguales en barras del mismo color indican que no hay diferencias (Tukey, $p \leq 0.05$). DMSH (diferencia mínima significativa honesta)= 6.84 (50 dds) y 10.73 (110 dds). Líneas verticales sobre las barras representa el error estándar. Elaboración propia.

El tamaño total de la planta mostró un incremento de 19.7, 66.2, 19.4 y 34.5 % en los cuatro tratamientos, respectivamente, entre los 50 y 110 dds (figura 5).

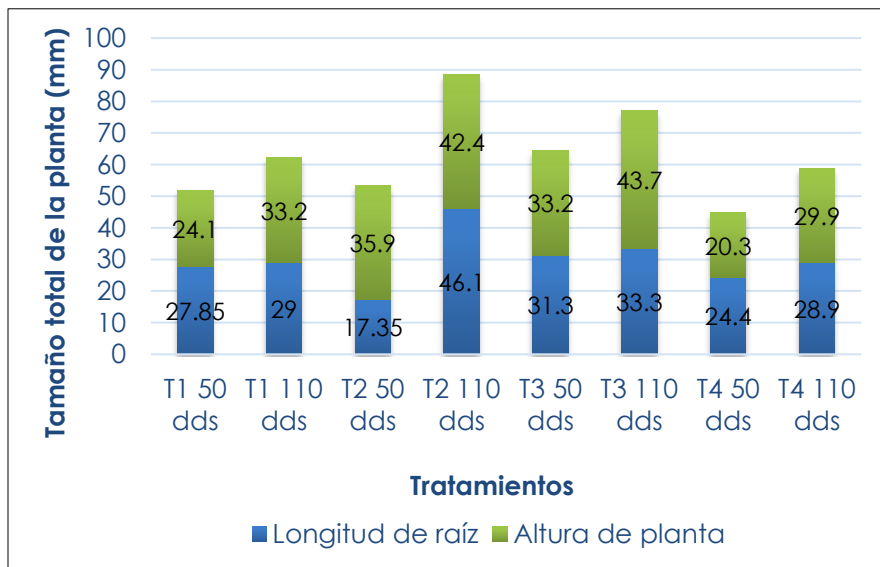


Figura 5. Tamaño total de la planta (parte aérea + longitud de raíz) de *C. bicolor* producida in vitro a 50 y 110 dds. Elaboración propia.

El T2 mostró menos desarrollo en la altura de la parte aérea en los últimos 60 días; sin embargo, la longitud de raíz alcanzada en la segunda etapa fue lo que permitió obtener mejor balance entre sus componentes vegetativos. Este efecto asume que a partir del cambio de medio de cultivo a la etapa de enraizamiento con las dosis de auxinas propuestas se favoreció el desarrollo radical al mostrar una respuesta exponencial en el desarrollo de raíces. La poca diferencia en altura de la parte aérea del T2 se atribuye a que desde la primera etapa se tenía una planta con altura sobresaliente en comparación con el resto de los tratamientos (figura 4).

DISCUSIÓN

Etapas de producción de brotes adventicios

Los resultados obtenidos en la etapa de producción de brotes de esta investigación presentaron cierta similitud a lo reportado por Ali et al. (2007), quienes encontraron que la dosis óptima para el desarrollo de brotes en el cultivar de *C. bicolor* fue de 1.0:0.25 mg l⁻¹ de BAP:ANA. De igual manera, los resultados reportados por Seydi, Negahdar, Taghizadeh, Ansari y Kaviani (2016) indican que el mayor número de brotes se logró con 1.0:0.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA a 55 dds. En ambas investigaciones se concluye que cuando se usan citocininas (BAP en este caso), y sin auxinas en el medio de cultivo, no se obtienen resultados satisfactorios en la generación y multiplicación de brotes adventicios de esta especie.

No obstante, esta reacción a la presencia de reguladores de crecimiento no es exclusiva de especies herbáceas, dado que en la investigación de Delgadillo-Díaz de León, Morales-Domínguez, Santos-Díaz y Pérez-Molphe-Balch (2013) se agregó 1 mg l⁻¹ de BAP al medio de cultivo para la producción de brotes de una especie leñosa (*Quercus rugosa*) y obtuvieron un promedio de 3.6 brotes y 37 mm de altura; estos valores disminuyeron a concentraciones más altas de BAP y cuando aplicaron 2 y 3 mg l⁻¹, los resultados fueron 2.1 y 1.9 brotes con tamaños de 32 y 30 mm, respectivamente.

Ahmed, Hayashi y Yazawa (2004) afirman que hay mejor respuesta en la producción de brotes con medio MS cuando se usa la combinación de hormonas BAP y ANA. En el estudio de la interacción de las auxinas-citocininas para el desarrollo de meristemas realizado por Su, Liu y Zhang (2011) se argumenta que la presencia de ambos reguladores de crecimiento es esencial, dado que con la interacción entre ellos se logran resultados satisfactorios en la generación de nuevos órganos como brotes y raíces, dependiendo de la concentración utilizada para cada etapa vegetativa. Por otro lado, estudios de transcriptoma han demostrado que las citocininas y las auxinas regulan mutuamente sus factores de señalización y/o su metabolismo (Goda et al., 2004; Rashotte, Carson, To, & Kieber, 2003).

El resultado obtenido en el número de hojas coincide con lo reportado por Seydi et al. (2016), quienes encontraron mayor cantidad de hojas pero con menos brotes cuando usaron la dosis de 4.0:0.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA. Dado que el objetivo de la propagación in vitro es generar la mayor cantidad de brotes adventicios para obtener más plantas a partir de ellos, se determinó el T2 como el óptimo para este propósito, generando en promedio tres brotes con un follaje equilibrado de 22.7 hojas por unidad experimental (tabla 3).

Etapa de enraizamiento

Bernd, Trivilin, Camargo y Czermainski (2007) mencionan que las dosis bajas de ANA son más adecuadas para promover el enraizamiento, cuando se observó que al aumentar la dosis de auxinas se detiene el desarrollo de la raíz en cultivares in vitro; asimismo, los resultados obtenidos por Seydi et al. (2016) concuerdan con lo anterior, dado que estos autores lograron obtener 5.56 raíces por planta con una dosis de 3.0:0.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA. En el presente estudio los resultados mostraron que se obtiene mayor cantidad de raíces con dosis entre 1.5 y 2.0 mg l⁻¹ de ANA para esta especie, lo que se contrapone con lo antes citado, pero esto es posible que se deba a la respuesta de las auxinas y citocininas en cada especie.

De acuerdo con Dello et al. (2008) las interacciones antagónicas de auxina-citoquinina han demostrado ser fundamentales en el control del desarrollo de la raíz; mientras que el meristemo de la raíz sustenta el crecimiento postembrionario de esta. Asimismo, se menciona que para el mantenimiento de este último y para permitir el crecimiento continuo de la raíz la tasa de diferenciación de las células debe ser igual a la velocidad de generación de nuevas células (Dello et al., 2007).

En la presente investigación el T2 (0.15:1.5 mg l⁻¹ de BAP:ANA) mostró un aumento significativo en longitud de raíz entre los 50 y 110 dds (165%). Lo anterior puede deberse al hecho de que al ser el tratamiento con mayor número de raíces existe mayor volumen de estas en contacto directo con el medio basal, además de que el cambio del medio basal donde se aumentó la dosis de auxinas y disminuyeron las citocininas mejoró el crecimiento y longitud de las raíces. Este efecto lo sustenta la investigación de Seydi et al. (2016), quienes encontraron que con la dosis de reguladores de crecimiento donde se generó la mayor cantidad de raíces, también se presentó mayor longitud de las mismas.

Lo anterior también coincide con lo informado por Ali et al. (2007), quienes encontraron que la respuesta de enraizamiento se obtuvo en medio MS que contenía 1.0 mg l⁻¹ de ANA. Un sistema radical en óptimas condiciones es indispensable para la aclimatación y la supervivencia de las plántulas provenientes de cultivo de tejidos vegetales, por lo que el enraizamiento restringido es una limitante significativa para la producción de un gran número de especies vegetales (Shani, Yanai, & Ori, 2006).

Tamaño total de planta

En su investigación Thongpukdee, Thepsithar y Chiensil (2010) en cultivo in vitro de *Caladium bicolor* a partir de brotes múltiples mediante la inducción de callos concluyeron que la mayoría de las plantas regeneradas de cultivo in vitro y cultivadas en condiciones de invernadero fueron más vigorosas que las plantas de donde se tomó el material vegetal a propagar. Lo anterior se atribuye a que durante el desarrollo in vitro de la parte vegetativa que se está propagando se esté fortaleciendo por acción de los reguladores de crecimiento, lo que deriva en un alto porcentaje de supervivencia en campo. Con características fisiológicas y morfológicas adecuadas es posible mejorar la supervivencia de la planta en la etapa previa a la aclimatación al tener mayor número y longitud de raíces, así como mayor altura del área foliar, esta última le proporciona a la planta mayor capacidad de fotosíntesis e intercambio de gases con la atmósfera (Francisco-Nava et al., 2011).

CONCLUSIONES

El T2 presentó plantas mejor balanceadas en sus componentes vegetales, lo que deriva en plantas más fortalecidas en la etapa de aclimatación, mitigando previamente la mortandad de plantas en campo. Las dosis bajas o altas de BAP y ANA tienden a inhibir su crecimiento y desarrollo. No obstante, es necesario continuar investigando para encontrar dosis que favorezcan el desarrollo de la planta, a fin de obtener una planta de mejor calidad que garantice la supervivencia en la etapa de aclimatación y posterior trasplante a campo.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Oscar Villarreal y a la empresa Calato, S. A. de C. V. por el apoyo financiero para la adquisición de material y los reactivos utilizados para desarrollar este trabajo de investigación. Esta técnica biotecnológica en *Caladium bicolor* ha sido adoptada por esta empresa para su propagación masiva a nivel comercial.

REFERENCIAS

- Ahmed, E. U., Hayashi, T., & Yazawa, S. (2004). Auxins increase the occurrence of leaf-colour variants in *Caladium* regenerated from leaf explants. *Scientia Horticulturae*, 100(1-4), 153-159. doi:10.1016/j.scienta.2003.08.012
- Ali, A., Munawar, A., & Naz, S. (2007). An *in vitro* study on micropropagation of *Caladium bicolor*. *International Journal of Agriculture & Biology*, 9(5), 731-735. doi: 1560-8530/2007
- Bernd, R. B., Trivilin, A. P., Camargo, U. A., & Czermainski, A. B. C. (2007). Micropropagation of hybrids of *Vitis labrusca* × *Vitis rotundifolia* rootstocks with resistance to perola-da-terra (*Eurhizococcus brasiliensis* Hempel, Hemiptera: Margarodidae). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(2), 350-354. doi: 10.1590/S0100-29452007000200031
- Cai, X., Cao, Z., Xu, S., & Deng, Z. (2015). Induction, regeneration and characterization of tetraploids and variants in 'Tapestry' *Caladium*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 120, 689-700. doi: 10.1007/s11240-014-0636-8
- Delgadillo-Díaz de León, J. S., Morales-Domínguez, J. F., Santos-Díaz, M. S., & Pérez-Molphe-Balch, E. (2013). *In vitro* propagation of Mexican oaks (*Quercus* spp.). *Polibotánica*, 35, 85-97. Recuperado de <https://www.polibotanica.mx/ojs/index.php/polibotanica/article/view/404/268>
- Dello, R., Nakamura, K., Moubayidin, L., Perilli, S., Taniguchi, M., Morita, M., ... Sabatini, S. (2008). A genetic framework for the control of cell division and differentiation in the root meristem. *Science*, 322(5906), 1380-1384. doi: 10.1126/science.1164147
- Dello, R., Scaglia, F., Scacchi, E., Casamitjana, E., Heidstra R., Constantino, P., & Sabatini, S. (2007). Cytokinins determine *Arabidopsis* root-meristem size by controlling cell differentiation. *Current Biology*, 17(8), 678-682. doi: 10.1016/j.cub.2007.02.047

- Francisco-Nava, J. J., Jiménez-Aparicio, A. R., De Jesús-Sánchez, A., Arenas-Ocampo, M. L., Ventura-Zapata, E., & Evangelista-Lozano, S. (2011). Estudio de la morfología y aclimatación de plantas de *Laelia eyermaniana* Rchb. f. generadas *in vitro*. *Polibotánica*, 32, 107-117. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000200006&lng=es&tlng=es
- Goda, H., Sawa, S., Asami, T., Fujioka, S., Shimada, Y., & Yoshida, S. (2004). Comprehensive comparison of auxin-regulated and brassinosteroid-regulated genes in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 134(4), 1555-1573. doi: 10.1104/pp.103.034736
- González-Cervantes, G., Valenzuela-Núñez, L. M., Muñoz-Villalobos, J. A., González-Barrios, J. L., & Chávez-Simental, J. A. (2011). Tecnología para cuantificar conductos anatómicos en frutales caducifolios. Caso de estudio Nogal Pecanero (*Carya illinoensis* Koch). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 10(2), 113-116. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4555/455545061002>
- Guerrero, D. R., Mroginski, L. A., Krivenky M. A., & Domínguez, M. C. (2010). Micropropagación de portainjertos de vid de interés para la provincia de Misiones. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(2), 143-159. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837647013>
- Kyojuka, J. (2007). Control of shoot and root meristem function by cytokinin. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(5), 442-446. doi: 10.1016/j.pbi.2007.08.010
- Mayo, S. J., Bogner, J., & Boyce, P. C. (1997). *The genera of Araceae*. United Kingdom: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497. doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
- Paponov, I. A., Telae, W. D., Trebar, M., Blilou, I., & Palme, K. (2005). The PIN auxin efflux facilitators: Evolutionary and functional perspectives. *Trends in Plant Science*, 10(4), 170-177. doi: 10.1016/j.tplants.2005.02.009
- Pierik, R. L. M. (1988). *Cultivos in vitro de las plantas superiores* (3ª. ed., 326 pp.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Rashotte, A. M., Carson, S. D. B., To, J. P. C., & Kieber, J. J. (2003). Expression profiling of cytokinin action in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 132(4), 1998-2011. doi: 10.1104/pp.103.021436
- Rees, A. R., & Hanks, G. R. (1979). Potential uses of plant growth regulators in bulb growing and forcing. *Acta Horticulturae*, 91(16), 153-159. doi: 10.17660/ActaHortic.1979.91.16
- Seydi, S., Negahdar, N., Taghizadeh, A. R., Ansari, M., & Kaviani, B. (2016). Effect of BAP and NAA on micropropagation of *Caladium bicolor* (Aiton) Vent., an

ornamental plant. *Journal of Ornamental Plants*, 6(1), 59-66. Recuperado de http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_520878.html

- Shani, E., Yanai, O., & Ori, N. (2006). The role of hormones in shoot apical meristem function. *Current Opinion in Plant Biology*, 9(5), 484-489. doi: 10.1016/j.pbi.2006.07.008
- Siddiqui, F. A., Naz, S., & Iqbal, J. (1993). In vitro propagation of carnation. In I. Ilahi (Ed.), *Advances in plant tissue culture* (pp. 43-47). Pakistan: University of Peshawar.
- Su, Y.-H., Liu, Y.-B., & Zhang, X.-S. (2011). Auxin-Cytokinin interaction regulates meristem development. *Molecular Plant*, 4(4), 615-625. doi: 10.1093/mp/ssr007
- Thongpukdee, A., Thepsithar, C., & Chiensil, P. (2010). Somaclonal variation of *Caladium bicolor* (Ait.) Vent. 'Jao Ying' after in vitro culture propagation. *Acta Horticulturae*, 855, 281-287. doi: 10.17660/ActaHortic.2010.855.42



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.