

Efecto del nitrato de plata (AgNO_3) en el crecimiento *in vitro* de brotes de *Anthurium magnificum* Linden

Effect of silver nitrate (AgNO_3) on the *in vitro* growth of *Anthurium magnificum* Linden shoots

Melisa M. Hernández-Pérez*, Laisyn Posada-Pérez**, Raúl Barbón***, Rafael Gómez-Kosky****, Yenny Padrón*****, Mariana La O*****

DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.110056

RESUMEN

Anthurium magnificum Linden es una importante planta ornamental perteneciente a la familia *Araceae*. Esta especie es muy demandada como planta de maceta para la decoración de interiores y jardines, así como follaje de corte. Los métodos de propagación tradicionales en esta especie presentan ciertas desventajas por lo que no permiten satisfacer la creciente demanda. Estas limitantes convierten al cultivo de tejidos vegetales en el método más eficiente para propagar plantas de *Anthurium magnificum* a un ritmo más rápido que los métodos de propagación convencionales. En el cultivo de tejidos vegetales el nitrato de plata adicionado a los medios de cultivo actúa como un inhibidor de la acción del etileno y desempeña un papel crucial en la regulación de procesos fisiológicos esenciales de las plantas. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes concentraciones de nitrato de plata en el crecimiento *in vitro* de brotes de *Anthurium magnificum*. Para ello, se cultivaron brotes *in vitro* de *Anthurium magnificum* en medios de cultivo enriquecidos con diferentes concentraciones de nitrato de plata. Los resultados mostraron que los mayores valores en las variables altura de la planta, número de raíces y longitud de las raíces se obtuvieron en un medio de cultivo con $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de nitrato de plata. En la variable área foliar de la planta los mayores valores se presentaron en los medios de cultivo que contenían nitrato de plata independientemente de la concentración empleada.

Palabras clave: *Araceae*, cultivo de tejidos, planta ornamental.

* MSc. en Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. Autora para correspondencia: melisa@ibp.co.cu, <https://orcid.org/0000-0002-2574-3754>

** PhD. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. laisyn@ibp.co.cu, <https://orcid.org/0000-0001-5154-5965>

*** PhD. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. raulb@ibp.co.cu, <https://orcid.org/0000-0002-4284-0281>

**** PhD. en Ciencias Agrícolas. Instituto Nacional de Investigaciones en la Caña de Azúcar. UEB Villa Clara (INICA VC). Autopista Nacional km 246. Ranchuelo. Villa Clara, Cuba, CP 53100. rafael.kosky@inicavc.azcuba.cu, <https://orcid.org/0000-0003-3656-9824>

***** Téc. Esp. en Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. ypadron@ibp.co.cu, <https://orcid.org/0000-0002-2413-7672>

***** Téc. Esp. en Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54 830. mariana@ibp.co.cu, <https://orcid.org/0000-0003-2300-2458>

ABSTRACT

Anthurium magnificum Linden is an important ornamental plant belonging to the Araceae family. This species is in great demand as a pot plant for interior and garden decoration, as well as cut foliage. The traditional propagation methods in this species have certain disadvantages, which is why they cannot satisfy the growing demand. These limitations make plant tissue culture the most efficient method to propagate *Anthurium magnificum* plants at a faster rate than conventional propagation methods. In the culture of plant tissues, silver nitrate added to the culture media acts as an inhibitor of the action of ethylene and plays a crucial role in the regulation of essential physiological processes in plants. The objective of this work was to determine the effect of different concentrations of silver nitrate on the *in vitro* growth of *Anthurium magnificum* shoots. For this, *in vitro* shoots of *Anthurium magnificum* were cultivated in culture media enriched with different concentrations of silver nitrate. The results showed that the highest values in the variables plant height, number of roots and length of the roots were obtained in a culture medium with 1.0 mg L⁻¹ of silver nitrate. In the variable leaf area of the plant, the highest values were presented in the culture media that contained silver nitrate, regardless of the concentration used.

Key words: Araceae, ornamental plant, tissue culture.

Recibido: julio 10 de 2023 **Aprobado:** noviembre 7 de 2023

INTRODUCCIÓN

Dentro de todos los géneros de la familia Araceae, el *Anthurium* constituye el más diverso (de Alcantara *et al.*, 2019). Su área de distribución comprende desde México y las Antillas Mayores hasta el norte de Argentina (do Nascimento *et al.*, 2019). Algunas especies incluidas en este género tienen importancia comercial por lo exótico de su follaje y la durabilidad de su inflorescencia (Muraleedharan *et al.*, 2020).

En el comercio de follajes de corte, las especies del género *Anthurium* han mostrado un gran potencial para el futuro crecimiento de las exportaciones, con una calidad, belleza y durabilidad notables, además de su empleo como planta en maceta (de Moraes *et al.*, 2017). Entre las especies más apreciadas por su vistoso follaje se encuentran *A. magnificum* Linden, *A. crystallinum* Linden & André, *A. forgetii* N. E. Brown, *A. regale* Linden y *A. warocqueanum* T. Moore, todas incluidas en la sección *Cardiolonchium* Schott de este género. En la especie *A. magnificum* el mayor atractivo está en sus limbos de color verde intenso notablemente aterciopelado en el cual resaltan sus venas de color blanco. Además, los tejidos vegetales descelularizados de limbos de esta planta han sido utilizados como andamios adaptables para el cultivo de células humanas (Fontana *et al.*, 2017).

Las especies de *Anthurium* pueden propagarse a través de semilla botánica, por esquejes y por división de los brotes que emergen del tallo. La propagación a partir de semilla botánica tiene ciertas desventajas debido a que estas solo son viables durante dos o tres días y su porcentaje de germinación es bajo, aproximadamente de 20 a 30% (Jahan *et al.*, 2009). La propagación vegetativa es lenta y propicia la pérdida de individuos por infección por *Xanthomonas campestris* pv. *dieffenbachiae*

(McCulloch & Pirone) Dye (Lee-Espinosa *et al.*, 2003). No obstante, esto se puede evitar si se seleccionan plantas sanas y se introduce el material de siembra en una solución de fungicida y bactericida previo a su establecimiento (Gayosso-Rodríguez *et al.*, 2013). Estas limitantes convierten al cultivo de tejidos vegetales en el método más eficiente para propagar plantas *Anthurium* con alta calidad genética y fitosanitaria a un ritmo más rápido que los métodos de propagación tradicionales (Gantait & Mandal, 2010).

El cultivo de tejidos vegetales puede definirse como un conjunto de técnicas que permiten el cultivo en condiciones asépticas de órganos, tejidos, células y protoplastos empleando medios nutritivos artificiales (Jiménez, 1998). Estas técnicas se sustentan en la teoría de la Totipotencia Celular, propuesta por Haberlandt (1902), la cual plantea que todas las células vegetales tienen la capacidad de expresar todo el potencial genético de la planta a la que pertenecen sin importar su función o posición en ella, y por lo tanto tienen la capacidad de regenerar una nueva planta completa, es decir, que tienen totipotencialidad. Las técnicas de cultivo *in vitro* son indispensables para la producción de plantas libres de patógenos, la propagación masiva, la conservación de germoplasma, la transformación del genoma vegetal, el mejoramiento genético mediante la inducción de mutaciones y la selección *in vitro* y la producción de metabolitos secundarios derivados de plantas de importante valor comercial (Twaij *et al.*, 2020). La organogénesis y la embriogénesis somática, son vías de regeneración de plantas bien conocidas basadas en la totipotencia de las células vegetales (Neves *et al.*, 2021).

Las especies del género *Anthurium* se han propagado principalmente a través de organogénesis directa (Kunisaki, 1980; Atta-Alla *et al.*, 1998; Martin *et al.*,

2003; Martínez-Estrada *et al.*, 2019; Tung *et al.*, 2022), organogénesis indirecta (Pierik *et al.*, 1974; Atak & Çelik, 2009; Thi *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2020; Hernández-Perez *et al.*, 2021) y embriogénesis somática (Kuehnle *et al.*, 1992; del Rivero *et al.*, 2008; Bezerra *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019; Bandyopadhyay *et al.*, 2022).

En el cultivo de células y tejidos vegetales el nitrato de plata (AgNO_3) actúa como un modulador de la morfogénesis y desempeña un papel crucial en la regulación de los procesos fisiológicos esenciales de las plantas (Isah *et al.*, 2022). Los iones de plata aplicados en forma de AgNO_3 en los medios de cultivo han sido ampliamente empleados en el cultivo de tejidos vegetales debido a su especificidad, solubilidad en agua y falta de fitotoxicidad en concentraciones efectivas (Kumar *et al.*, 2009); además de ser un inhibidor de la acción del etileno (Bashir *et al.*, 2022).

En la literatura científica son escasos los estudios que abordan el empleo del AgNO_3 en el cultivo *in vitro* de especies del género *Anthurium*. Cardoso (2019), en estudios realizados en la especie *A. andraeanum* cultivares 'Dakota' y 'Alabama' demostró por primera vez que los brotes *in vitro* de estos cultivares son susceptibles a la acumulación de etileno en los frascos de cultivo. Este mismo autor, observó que los síntomas causados por la acumulación de etileno como son brotes con tallos delgados, disminución del área foliar y formación de callos indeseables en la región basal de los brotes pudieron ser revertidos cuando se adicionó $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 en el medio de cultivo. En otras especies ornamentales como *Zinnia angustifolia* Kunth (*Asteraceae*), *Gardenia jasminoides* Ellis (*Rubiaceae*) y *Dianthus caryophyllus* L. (*Caryophyllaceae*), el AgNO_3 se ha empleado como un inhibidor de la acción del etileno (Anantasaran & Kanchanapoom, 2008; El-Ashry *et al.*, 2018; Maurya *et al.*, 2022).

En la especie *A. magnificum* no existen referencias en la literatura científica, o no se han publicado investigaciones relacionadas con el efecto de diferentes concentraciones de AgNO_3 en el crecimiento *in vitro* de brotes. Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de diferentes concentraciones de AgNO_3 en el crecimiento *in vitro* de brotes de *A. magnificum*.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP), de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas en Santa Clara, Cuba.

Procedimientos generales

Para el experimento se emplearon frascos de cultivo con una capacidad de 250 mL. El pH del medio de cultivo

fue ajustado a 5,8 con soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) ($0,1 \text{ N}$) y ácido clorhídrico (HCl) ($0,1 \text{ N}$) antes de su esterilización en autoclave, a $1,2 \text{ kg cm}^{-2}$ de presión y $121 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 20 minutos. Se añadieron 30 mL de medio de cultivo en cada frasco de cultivo.

Material vegetal

Como material vegetal se emplearon brotes *in vitro* de *A. magnificum* de 1,2 a 1,5 cm de longitud. Estos brotes se obtuvieron por organogénesis indirecta según la metodología descrita por Hernández-Perez *et al.* (2021). Los brotes fueron transferidos al medio de cultivo propuesto por Cardoso (2019) modificado para el crecimiento de brotes de *A. andraeanum*. El mismo estaba compuesto por las sales MS (Murashige & Skoog, 1962) (Duchefa Biochemie, Países Bajos) a la mitad de su concentración, vitaminas MS a la mitad de su concentración, $100,0 \text{ mg L}^{-1}$ de mio-inositol, 30 g L^{-1} de sacarosa y $2,5 \text{ g L}^{-1}$ de Gelrite® (Duchefa Biochemie, Países Bajos). Se estudiaron diferentes concentraciones de AgNO_3 ($1,0$; $2,0$ y $3,0 \text{ mg L}^{-1}$) y un tratamiento control sin AgNO_3 .

A los 60 días de cultivo se evaluaron las siguientes variables:

- Altura de la planta (cm): Se midió con una regla graduada desde la base de la planta hasta la yema apical.
- Número de hojas de la planta
- Número de raíces
- Longitud de raíces (cm): Se midió con una regla graduada.
- Área foliar de la planta (cm^2)

Para calcular el área foliar se utilizó el método del trazo sobre papel descrito por Ruck & Bolas (1955). Para ello se tomaron 20 plantas por tratamiento y se trazó sobre papel el contorno de todos los limbos de la planta. Posteriormente se recortaron los contornos de las figuras de los limbos dibujadas en papel y se pesaron en una balanza electrónica. A continuación, se recortó un pedazo de papel cuadrado de 100 cm^2 del mismo tipo utilizado para dibujar el contorno de los limbos de las plantas y se determinó el peso. El cálculo del área foliar total se realizó mediante la fórmula: $At = Ac \times Pf / Pc$

Donde:

At: Área foliar total de la planta.

Ac: Área de un cuadrado de papel de 100 cm^2 .

Pf: Peso de todas las figuras o siluetas de papel recortadas.

Pc: Peso del cuadrado de papel de 100 cm^2 .

Condiciones de cultivo *in vitro*

El material vegetal se colocó en una cámara de crecimiento con luz solar con una duración del período luminoso máximo y mínimo de 12 h, 34 min y 11 h, 36 min

Tabla 1. Efecto de la concentración de AgNO_3 en el medio de cultivo sobre el crecimiento de las plantas *in vitro* de *Anthurium magnificum* Linden a los 60 días de cultivo.

AgNO_3 (mg L^{-1})	Número de raíces/ planta		Longitud promedio de la raíz (cm)		Altura promedio de las plantas (cm)	
	Media	Rango medio	Media	Rango medio	Media	Rango medio
0,0	3,18	97,96 b	2,95	124,12 b	2,40	119,55 a
1,0	3,54	128,14 a	3,16	152,13 a	2,37	117,81 a
2,0	3,22	102,36 b	2,46	70,45 c	2,25	90,43 b
3,0	2,88	73,54 c	2,29	55,30 c	2,18	74,21 b

Rangos medios con letras no comunes dentro de la misma columna indican diferencias según las pruebas H de Kruskal Wallis y U de Mann-Whitney para $p \leq 0,05$

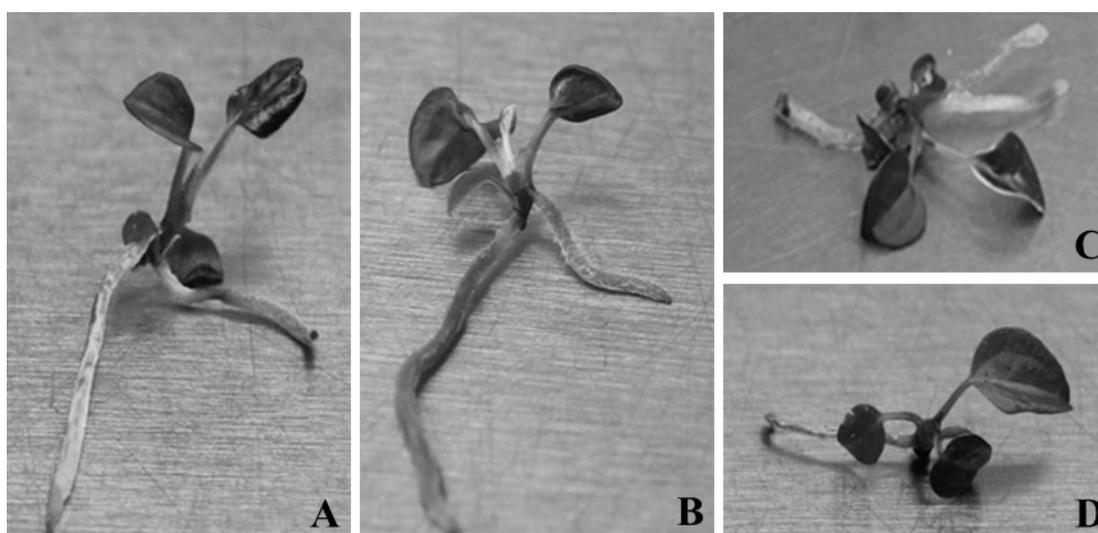


Figura 1. Plantas *in vitro* de *Anthurium magnificum* Linden obtenidas con diferentes concentraciones de AgNO_3 , a los 60 días. (A) medio de cultivo control, (B) $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 , (C) $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 , (D) con $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 .

y 27 ± 2 °C. El flujo de fotones fotosintéticos (FFF) osciló entre $38,0\text{-}45,7 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, medido con un Luxómetro Extech 401025 (Extech Instruments, EUA).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se colocaron cinco explantes en cada frasco de cultivo. Cada tratamiento estuvo compuesto por diez frascos de cultivo, para un total de 50 explantes. El experimento se repitió dos veces en el tiempo.

Para el análisis estadístico de los datos experimentales se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 26 para Windows, con un valor de significancia de $p \leq 0,05$. Los datos experimentales relacionados con altura de la planta, número de raíces y longitud de raíces, se procesaron estadísticamente me-

dante las pruebas no paramétricas H de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Para el análisis estadístico de los datos de la variable área foliar de la planta se aplicó un ANOVA de clasificación simple y para determinar el grado de significación entre las medias se empleó la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó que el AgNO_3 influyó en el crecimiento *in vitro* de brotes de *A. magnificum*. Los mejores resultados en la variable altura promedio de las plantas se obtuvo en el control y cuando se le adicionó al medio de cultivo $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 sin diferencias significativas entre estos, pero superiores al resto de los tratamientos. Con esta misma concentración se obtuvieron los mayo-

res valores en las variables número de raíces por planta y longitud promedio de la raíz que mostraron diferencias significativas con respecto al control y al resto de las concentraciones de AgNO_3 empleadas. También se determinó que cuando se empleó la concentración más alta de AgNO_3 en este estudio ($3,0 \text{ mg L}^{-1}$) se obtuvieron los menores valores en estas variables (Tabla 1 y Figura 1), al parecer por producirse un efecto inhibitorio bajo esta concentración.

En la literatura científica son pocos los estudios que abordan el efecto de la concentración de AgNO_3 en el crecimiento de plantas *in vitro* del género *Anthurium*. Los resultados obtenidos en esta investigación son similares a los obtenidos anteriormente por Cardoso (2019) en la especie *A. andraeanum* en los cultivares 'Dakota' y 'Alabama'. Este autor determinó que a medida que aumentó la concentración de AgNO_3 en el medio de cultivo disminuyó la altura de las plantas. Por otra parte, este autor determinó que la presencia de AgNO_3 en las concentraciones $1,0$ y $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ AgNO_3 estimuló el enraizamiento de los brotes, mientras que cuando se adicionó $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 lo inhibió.

En otras plantas monocotiledóneas, varios autores informaron incrementos en la altura y enraizamiento de las plantas al emplear concentraciones efectivas de AgNO_3 (Giridhar *et al.*, 2001; Al-Kaaby *et al.*, 2015; Manokari *et al.*, 2022). Por ejemplo Haque *et al.* (2015) en cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivares 'BARI-3' y 'BARI-6' perteneciente a la familia *Poaceae* obtuvieron el mayor número de raíces por planta cuando adicionaron $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 . No obstante cuando emplearon concentraciones superiores disminuyó gradualmente el número de raíces por planta en ambos cultivares. También, Tamini (2015) en *Musa acuminata* L. obtuvo el mayor número de raíces por planta (21,7) y longitud promedio de la raíz (12,68 cm) cuando adicionó al medio de cultivo $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 . Sin embargo, al incrementar la concentración de AgNO_3 a $25,0 \text{ mg L}^{-1}$ disminuyeron considerablemente ambas variables. Lo anterior demuestra que la respuesta del material vegetal es altamente dependiente del genotipo, debido a que las concentraciones de AgNO_3 que estimulan el crecimiento en determinadas especies pueden inhibirlo en otras.

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas para la variable número promedio de hojas por planta, la cual osciló entre 2,96 y 3,14. No obstante, si se obtuvieron diferencias en la variable área foliar de las plantas. En esta variable los mayores valores se presentaron en los medios de cultivo que contenían AgNO_3 , sin presentar diferencias entre ellos, pero significativamente superiores al control (Figura 2).

Las hojas son el sitio de procesos fisiológicos determinantes que ocurren en las plantas, incluyendo la fotosíntesis y la transpiración (Tadesse *et al.*, 2000). Además, el área foliar, el contenido de clorofila y nitrógeno son rasgos funcionales esenciales de la hoja, que están altamente correlacionados con la estrategia de utilización de recursos de la planta (Wang *et al.*, 2020).

En un experimento similar en la especie *A. andraeanum*, Cardoso (2019) informó que la adición de AgNO_3 al medio de cultivo independientemente de su concentración produjo un incremento en el área foliar de las plantas. Este mismo autor determinó en el cultivar 'Dakota' el mayor valor en esta variable se obtuvo cuando se adicionó $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 al medio de cultivo, mientras que en el cultivar 'Alabama' un aumento en la concentración de AgNO_3 de $1,0$ a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ incrementa gradualmente el área foliar de las plantas. Por otra parte, Tamini (2015) en *Musa acuminata* L. logró una mayor área foliar de las plantas ($5,92 \text{ cm}^2$) cuando adicionó $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 al medio de cultivo. El efecto beneficioso que ejerce el AgNO_3 en el área foliar también fue informado por otros autores como Al-Ramadan *et al.* (2021) y Samiei *et al.* (2021).

En este estudio, la promoción del crecimiento vegetal cuando se adicionó $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de AgNO_3 al medio de cultivo podría atribuirse al efecto inhibitorio que ejerce este compuesto sobre la acción del etileno (Tahoori *et al.*, 2018). Es conocido que el etileno acumulado en los frascos de cultivo provoca trastornos fisiológicos durante el cultivo *in vitro* (Ha *et al.*, 2020). En especies susceptibles, los principales efectos asociados a la acumulación de etileno incluyen la reducción del área foliar, tallos débiles, inhibición de la formación de brotes, senescencia y pobre enraizamiento (Kumar *et al.*, 1998). La biosíntesis de etileno comienza con el aminoácido metionina, que se convierte en etileno a través de tres reacciones enzimáticas. En la primera reacción, la metionina se convierte en S-adenosilmetionina (SAM) por la enzima SAM sintetasa (SAMS), luego la SAM se convierte en 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) por la enzima ACC sintasa (ACS), y finalmente la enzima ACC oxidasa (ACO) degrada el ACC, liberando etileno (Wang *et al.*, 2002).

Posteriormente el etileno es percibido por una familia de cinco receptores: ETR1, ETR2, ERS1, ERS2 y EIN4 localizados en la membrana celular y que son homólogos a las histidinas quinasa bacterianas involucradas en la detección de cambios ambientales (Sakai *et al.*, 1998). La unión del etileno a ETR1 ocurre en el grupo radical hidrofóbico ubicado en el extremo N-terminal de los receptores y requiere un metal de transición, el cobre,

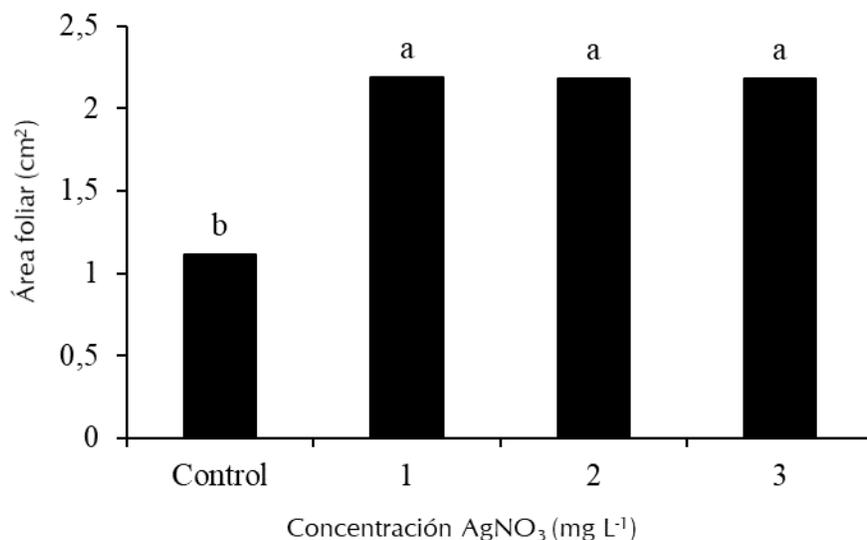


Figura 2. Efecto de la concentración de AgNO₃ sobre el área foliar de las plantas *in vitro* de *Anthurium magnificum* Linden a los 60 días de cultivo. Medias con letras desiguales difieren estadísticamente según la prueba de Tukey para $p \leq 0,05$. EE=0,63.

como cofactor (Schaller & Bleecker, 1995). A su vez la proteína RAN1 participa en la entrega de cobre al receptor de etileno ya que esta vía de entrega de cobre es necesaria para crear receptores de etileno funcionales en las plantas (Wang *et al.*, 2002). Este mecanismo de síntesis de etileno podría inhibirse al adicionar AgNO₃ en el medio de cultivo. Esto puede explicarse sobre la base de que los iones de plata pueden remplazar al cofactor cobre presente en el sitio de unión del etileno y el receptor ETR1, y bloquearlo para así suprimir la respuesta al etileno (McDaniel & Binder, 2012).

También la promoción del crecimiento vegetal por la acción indirecta del AgNO₃ podría atribuirse a la mejora de la biosíntesis de poliaminas en los explantes mediante la inhibición de la acción del etileno (Kumar *et al.*, 2016). La biosíntesis de poliaminas y la biosíntesis de etileno están interrelacionadas, ya que utilizan el mismo precursor SAM (S-adenilmetionina) para su síntesis (Moshkov *et al.*, 2008). La hipótesis más común es que las poliaminas y el etileno pueden regular la síntesis de cada uno, ya sea directamente o por competencia metabólica por SAM (Apelbaum *et al.*, 1985). Por lo tanto, al compartir el etileno y las poliaminas un precursor común la reducción en la producción de etileno conduce a una mayor formación de poliaminas (Asgher *et al.*, 2018). Las poliaminas están implicadas en varios procesos celulares importantes para las plantas como la división celular, la síntesis de proteínas, la replicación del ADN, regulación de las actividades enzimáticas, la per-

meabilidad de la membrana, la estabilización de los bucles en las moléculas de ARN y las respuestas de las plantas al estrés abiótico (Pal & Ravishankar, 2002).

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo demostraron que con una concentración de 1,0 mg L⁻¹ AgNO₃ se logró incrementar el número de raíces, longitud de las raíces y altura de las plantas. Además, la adición AgNO₃ en el medio de cultivo provocó un aumento en el área foliar de las plantas independientemente de la concentración empleada. Esta investigación constituye la primera referencia en la literatura científica sobre el efecto del AgNO₃ en el crecimiento *in vitro* de brotes de *A. magnificum*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Financiero de Ciencia e Innovación (FONCI) de la República de Cuba por el apoyo financiero brindado para el proyecto “Mejora genética y propagación *in vitro* de especies ornamentales de interés comercial” del Instituto de Biotecnología de las Plantas. Los financistas no tuvieron participación en el diseño del estudio, la colecta y análisis de los datos. La decisión de publicar o la preparación del manuscrito, es de la institución y el colectivo de autores del proyecto.

Conflicto de interés

Los autores no declaran conflictos de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Kaaby, H. K., Abdul-Qadir, L. H., & Kareem, M. A. (2015). Effect of silver nitrate on callus induction, somatic embryos formation and plantlets regeneration in two local wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Thi-Qar University Journal for Agricultural Researches*, 4(2), 51-60.
- Al-Ramadan, R., Karas, M., Ranušová, P., & Moravčíková, J. (2021). Effect of silver nitrate on *in vitro* regeneration and antioxidant responses of oilseed rape cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(6), e4494-e4494. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.4494>.
- Anantasaran, J., & Kanchanapoom, K. (2008). Influence of medium formula and silver nitrate on *in vitro* plant regeneration of *Zinnia* cultivars. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 30(1), 1-6.
- Apelbaum, A., Goldlust, A., & Icekson, I. (1985). Control by ethylene of arginine decarboxylase activity in pea seedlings and its implication for hormonal regulation of plant growth. *Plant Physiology*, 79(3), 635-640. <https://doi.org/10.1104/pp.79.3.635>.
- Asgher, M., Khan, M. I. R., Anjum, N. A., Verma, S., Vyas, D., Per, T. S., Masood, A., & Khan, N. A. (2018). Ethylene and polyamines in counteracting heavy metal phytotoxicity: a crosstalk perspective. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37, 1050-1065. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9823-x>.
- Atak, Ç., & Çelik, Ö. (2009). Micropropagation of *Anthurium andraeanum* from leaf explants. *Pakistan Journal of Botany*, 41(3), 1155-1161.
- Atta-Alla, H., McAiister, B. G., & van Staden, J. (1998). *In vitro* culture and establishment of *Anthurium parvispathum*. *S. Mr. J. Bot.*, 64(5), 296-298.
- Bandyopadhyay, T. K., Bhattacharya, C., Roy, S., Raha, P., Khatua, I., Saha, G., & Chakraborty, A. (2022). Somatic Embryogenesis of *Anthurium andraeanum* Linden., -A Tropical Florists Plant. En M. A. Ramírez-Mosqueda, Somatic Embryogenesis. *Methods in Molecular Biology* (vol. 2527, págs. 161-180). New York, NY: Humana. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2485-2_13.
- Bashir, M. A., Silvestri, C., Salimonti, A., Rugini, E., Cristofori, V., & Zelasco, S. (2022). Can Ethylene Inhibitors Enhance the Success of Olive Somatic Embryogenesis?. *Plants*, 11(168), 3-10. <https://doi.org/10.3390/plants11020168>.
- Bezerra, P., Portugal, A. C., Campos, C. H., Rodrigues, C., & Guimarães, A. (2019). Induction of somatic embryogenesis in two cultivars of *Anthurium* analysed by scanning electron microscopy. *Revista Agro@ambiente On-line*, 13(0), 1-13. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v13i0.5333>.
- Cardoso, J. C. (2019). Silver nitrate enhances *in vitro* development and quality of shoots of *Anthurium andraeanum*. *Scientia Horticulturae*, 253, 358-363. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.054>
- de Alcantara, A. L., do Tanque, P. R., dos Santos, A., & de Macêdo, A. C. (2019). Toxicological and anatomical study of vegetative organs of *Anthurium maricense* Nadruz and Mayo (Araceae). *Revista Agrogeoambiental*, 11(2), 87-106. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v11n220191289>.
- de Moraes, É. B., de Castro, A. C. R., de Souza Aragão, F. A., Silva, T. F., da Silva, J. P., & Soares, N. S. (2017). Evaluation of potential use of native *Anthurium* foliage. *Ornamental Horticulture*, 23(1), 7-14.
- del Rivero, N., Agramonte, D., Barbón, R., Camacho, W., Collado, R., Jiménez-Terry, F., Pérez, M., & Gutiérrez, O. (2008). Embriogénesis somática en *Anthurium andraeanum* Lind. variedad 'Lambada'. *Ra Ximhai*, 4(1), 135-149.
- do Nascimento, S., Nadruz, M. A., Cordeiro, J. M. P., & Felix, L. P. (2019). Chromosomal variability in Brazilian species of *Anthurium* Schott (Araceae): Heterochromatin, polyploidy, and B chromosomes. *Genetics and Molecular Biology*, 42(3), 635-642. <https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2018-0080>.
- El-Ashry, A. A. E., Gabr, A. M. M., Girgis, N. D., & El-Bahr, M. K. (2018). Influence of silver nitrate on enhancing *in vitro* rooting of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Journal of Environmental Science and Technology*, 11(5), 238-245.
- Fontana, G., Gershlak, J., Adamski, M., Lee, J. S., Matsu moto, S., Le, H. D., Binder, B., Wirth, J., Gaudette, G., & Murphy, W. D. (2017). Biofunctionalized Plants as Diverse Biomaterials for Human Cell Culture. *Advanced healthcare materials*, 6(8), 1601225. <http://doi.org/10.1002/adhm.201601225>.
- Gantait, S., & Mandal, N. (2010). Tissue culture of *Anthurium andraeanum*: a significant review and future prospective. *International Journal of Botany*, 6(3), 207-219.
- Gayosso-Rodríguez, S., Tetumo-García, J., Hernández-Hernández, L. U., & Estrada, M. A. (2013). El cultivo del anturio (*Anthurium andraeanum*). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Tabasco, México 36 p.
- Giridhar, P., Obul, B., & Ravishankar, G. A. (2001). Silver nitrate influences *in vitro* shoot multiplication and root formation in *Vanilla planifolia* Andr. *Current Science*, 81(9), 1166-1170.
- Ha, N. T. M., Manh Do, C., Hoang, T. T., Ngo, N. D., Van Bui, L., & Nhut, D. T. (2020). The effect of cobalt and silver nanoparticles on overcoming leaf abscission and enhanced growth of rose (*Rosa hybrida* L. 'Baby Love') plantlets cultured *in vitro*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 141, 393-405. <http://doi.org/10.1007/s11240-020-01796-4>.

- Haberlandt, G. (1902). Kulturversuche mit isolierten Pflanzenzellen. *Sitzungsber K Preuss Akad Wiss Wien, Math-Naturwiss*, 111(1), 69-92.
- Haque, M., Siddique, A. B., & Islam, S. S. (2015). Effect of silver nitrate and amino acids on high frequency plants regeneration in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 25(1), 37-50.
- Hernández-Perez, M. M., García, L. L., Padrón, Y., La O, M., Moreno-Bermúdez, L. J., & Rivero, L. (2021). Formación de callos en *Anthurium magnificum* Linden. *Biotecnología Vegetal*, 21(2), 103-112.
- Huang, Y. L., Yuan, S. C., & Chen, F. C. (2020). Establishment of an efficient micropropagation system in *Anthurium* hybrids through *in vitro* callogenesis and suspension culture. *The Horticulture Journal Preview*, 89(1), 54-60. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-112>.
- Isah, T., Qurratul., & Umar, S. (2022). Influence of silver nitrate and copper sulphate on somatic embryogenesis, shoot morphogenesis, multiplication and associated physiological biochemical changes in *Gladiolus hybridus* L. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 149, 563-587. <https://doi.org/10.1007/s11240-022-02309-1>.
- Jahan, M. T., Islam, M. R., Khan, R., Mamun, A. N. K., Ahmed, G., & Hakim, L. (2009). *In vitro* clonal propagation of *Anthurium* (*Anthurium andraeanum* L.) using callus culture. *Plant Tissue Culture and Biotechnology*, 19(1), 61-69.
- Jiménez, E. (1998). Generalidades del cultivo *in vitro*. En J. N. Pérez Ponce, Propagación y mejora genética de plantas por biotecnología (págs. 13-24). Santa Clara, Cuba: IBP.
- Kuehnle, A. R., Chen, F. C., & Sugii, N. (1992). Somatic embryogenesis and plant regeneration in *Anthurium andraeanum* hybrids. *Plant Cell Reports*, 11, 438-442.
- Kumar, P. P., Lakshmanan, P., & Thorpe, T. A. (1998). Regulation of morphogenesis in plant tissue culture by ethylene. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 34, 94-103. <https://doi.org/10.1007/BF02822771>.
- Kumar, V., Parvatam, G., & Aswathanarayana, G. (2009). AgNO₃- a potential regulator of ethylene activity and plant growth modulator. *Electronic Journal of Biotechnology*, 12(2), 1-15. <https://doi.org/10.2225/vol12-issue2-fulltext-1>.
- Kumar, G., Sivakumar, S., Siva, G., Vigneswaran, M., Senthil, T., & Jayabalan, N. (2016). Silver nitrate promotes high-frequency multiple shoot regeneration in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) by inhibiting ethylene production and phenolic secretion. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 52, 408-418. <https://doi.org/10.1007/s11627-016-9782-5>.
- Kunisaki, J. T. (1980). *In Vitro* Propagation of *Anthurium andraeanum* Lind. *HortScience*, 15(4), 508-509.
- Lee-Espinosa, H. E., Cruz-Castillo, J. G., & García-Rosas, B. (2003). Proliferación de brotes múltiples y aclimatización de Anturio (*Anthurium andraeanum* L.) 'Midori' y 'Kalapana' cultivados *in vitro*. *Fitotecnia Mexicana*, 26(4), 301-307.
- Manokari, M., Priyadharshini, S., Cokulraj, M., Dey, A., Faisal, M., Alatar, A. A., Alok, A., & Shekhawat, M. S. (2022). Exogenous implications of silver nitrate on direct and indirect somatic embryogenesis and germination of cold stored synseeds of *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *South African Journal of Botany*, 150, 129-138. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.07.019>.
- Martin, K. P., Joseph, D., Madassery, J., & Philip, V. J. (2003). Direct shoot regeneration from lamina explants of two commercial cut flower cultivars of *Anthurium andraeanum* Hort. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant*, 39, 500-504. <https://doi.org/10.1079/IVP2003460>.
- Martínez-Estrada, E., Islas-Luna, B., Pérez-Sato, J. A., & Bello-Bello, J. J. (2019). Temporary immersion improves *in vitro* multiplication and acclimatization of *Anthurium andraeanum* Lind. *Scientia Horticulturae*, 249, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.053>.
- Maurya, R. L., Kumar, M., Sirohi, U., Priya., Chaudhary, V., Sharma, V. R., Datta, S. K., & Yadav, M. K. (2022). An effective micropropagation protocol and determination of the clonal fidelity of *in vitro* developed microshoots of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) using SSR markers. *Nucleus*, 65, 49-55. <https://doi.org/10.1007/s13237-021-00362-3>.
- McDaniel, B. K., & Binder, B. M. (2012). Ethylene receptor 1 (ETR1) is sufficient and has the predominant role in mediating inhibition of ethylene responses by silver in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Biological Chemistry*, 287(31), 26094-26103. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112.383034>.
- Moshkov, I. E., Novikova, G. V., Hall, M. A., & George, E. F. (2008). Plant growth regulators III: gibberellins, ethylene, abscisic acid, their analogues and inhibitors; miscellaneous compounds. En E. F. George, M. A. Hall, & G. J. de Klerk, Plant propagation by tissue culture (Vol. 1, págs. 239-281). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Muraleedharan, A., Sha, K., Kumar, S., Sujin, G. S., Joshi, J. L., & Kumar, C. P. (2020). Influence of sea weed extract along with growth regulators on the growth, flowering and yield of *Anthurium* plants. *Plant Archives*, 20(2), 1196-1199.
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.

- Neves, M., Correia, S., Cavaleiro, C., & Canhoto, J. (2021). Modulation of Organogenesis and Somatic Embryogenesis by Ethylene: An Overview. *Plants*, *10*, 1208. <https://doi.org/10.3390/plants10061208>.
- Pal, B. H., & Ravishankar, G. A. (2002). Role of polyamines in the ontogeny of plants and their biotechnological applications. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *69*, 1-34. <https://doi.org/10.1023/A:1015064227278>.
- Pierik, R. L. M., Steegmans, H. H. M., & Van der Meys, J. A. J. (1974). Plantlet formation in callus tissues of *Anthurium andraeanum* Lind. *Scientia Horticulturae*, *2*, 193-198.
- Ruck, H. C., & Bolas, B. D. (1955). Studies in the comparative physiology of apple rootstocks. I. The effect of nitrogen on the growth and assimilation of Malling Apple Rootstocks. *Ann. Bot. N.S.*, *20*, 57-58.
- Sakai, H., Hua, J., Chen, Q. G., Chang, C., Medrano, L. J., Bleecker, A. B., & Meyerowitz, E. M. (1998). ETR2 is an ETR1-like gene involved in ethylene signaling in *Arabidopsis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(10), 5812-5817. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.10.5812>.
- Samiei, L., Davoudi, M., Tehranifar, A., & Karimian, Z. (2021). Organic and inorganic elicitors enhance *in vitro* regeneration of *Rosa canina*. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, *19*, 1-7.
- Schaller, G. E., & Bleecker, A. B. (1995). Ethylene-binding sites generated in yeast expressing the *Arabidopsis* ETR1 gene. *Science*, *270*(5243), 1809-1811. <https://doi.org/10.1126/science.270.5243.1809>.
- Tadesse, M., Lommen, W. J. M., & Struik, P. C. (2000). Effects of *in vitro* treatments on leaf area growth of potato transplants during acclimatization. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, *61*, 59-67. <https://doi.org/10.1023/A:1006442420153>.
- Tahoori, F., Majid, A., Nejadstattari, T., Ofoghi, H., & Iranbakhsh, A. (2018). Effects of silver nitrate (AgNO₃) on growth and anatomical structure of vegetative organs of liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) under *in vitro* condition. *Plant Omics*, *11*(3), 153-160.
- Tamimi, S. M. (2015). Effects of ethylene inhibitors, silver nitrate (AgNO₃), cobalt chloride (CoCl₂) and aminooxyacetic acid (AOA), on *in vitro* shoot induction and rooting of banana (*Musa acuminata* L.). *African Journal of Biotechnology*, *14*(32), 2511-2516. <https://doi.org/10.5897/AJB2015.14788>.
- Thi, K., Myo, N., Yadanar, M., Myat, A., Thein, W., & Amy, N. (2019). *In vitro* Propagation of *Anthurium andraeanum* Linn. (White) via Indirect Organogenesis through the Use of Leaf Lamina and Petiole Explants. *Journal of Scientific and Innovative Research*, *8*(3), 78-82.
- Tung, H. T., Suong, P. T., Khai, H. D. Luan, V. Q., Cuong, D. M., Hien, V. T., Nam, N. B., Ngan, H. T. M., Bien, L. T., Phong, T. H., & Nhut, D. T. (2022). Protocorm-like body formation, stem elongation, and enhanced growth of *Anthurium andraeanum* 'Tropical' plantlet on medium containing silver nanoparticles. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, *58*, 70-79. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10217-w>.
- Twajj, B. M., Jazar, Z. H., & Hasan, M. (2020). Trends in the use of tissue culture, applications and future aspects. *International Journal of Plant Biology*, *11*(1), 8385. <https://doi.org/10.4081/pb.2020.8385>.
- Wang, K. L. C., Li, H., & Ecker, J. R. (2002). Ethylene biosynthesis and signaling networks. *The plant cell*, *14*(1), 131-151. <https://doi.org/10.1105/tpc.001768>.
- Wang, G., Xu, C., Yan, S., & Xu, B. (2019). An Efficient Somatic Embryo Liquid Culture System for Potential Use in Large-Scale and Synchronic Production of *Anthurium andraeanum* Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 29. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00029>.
- Wang, S., Wu, B. D., Wei, M., Zhou, J. W., Jiang, K., & Wang, C. Y. (2020). Silver nanoparticles with different concentrations and particle sizes affect the functional traits of wheat. *Biol Plantarum*, *64*, 1-8. <https://doi.org/10.32615/bp.2019.122>.