Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Evaluación de promotores de crecimiento sobre el enraizamiento y crecimiento *in vitro* de *Philodendron xanadu*

Evaluation of growth promoters on the rooting and *in vitro* growth of *Philodendron xanadu*

Lara-Ascencio, M., Andrade-Rodríguez, M.*, Sotelo-Nava, H., Villegas-Torres, O.G.

Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001. 62209. Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos. México.
moises.crops@hotmail.com; maria.andrade@uaem.mx*; hector.sotelo@uaem.mx; oscar.villegas@uaem.mx

Innovación tecnológica: Enraizamiento de brotes de *Philodendron xanadu* con ácido 3-indolbutirico *in vitro*.

Área de aplicación industrial: Aplicación en la multiplicación masiva de *Philodendron xanadu in vitro*.

Recibido: 15 noviembre 2022
Aceptado: 15 abril 2024

Abstract

For transplanting into substrate, the plants must have a well-developed root system that will facilitate their adaptation; for which they must be cultivated in a special medium that promotes rooting. The objective of the research was to evaluate the effect of 3-indolbutyric acid (IBA) and 3-indoleacetic acid (IAA) to determine the most suitable auxin and the concentration for the rooting and growth of *Philodendron Xanadu* shoots. Philodendron shoots without roots, obtained by direct organogenesis under *in vitro* conditions, were used. Four concentrations of AIB and four concentrations of AIA (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg L^{-1}) were evaluated, a control without auxins were included; Murashige & Skoog (MS) (1962) culture medium was used. The experimental design was completely randomized with five repetitions per treatment and a factorial arrangement of treatments. Plant height, number of leaves, relative chlorophyl content number and length of root were evaluated. The results indicated that the culture medium with AIA was not adequate for rooting of the shoots of this species. In contrast, the MS culture medium supplemented with 0.5 mg L^{-1} of AIB was the most appropriate to promote the rooting of *P. xanadu* shoots in 17 days, where 6.6 roots per shoot were obtained, with 6 cm length, as well as plants 4.1 cm, with 9.8 leaves and more chlorophyll (36.6 spad units); therefore, it is suggested to use this concentration of AIB to root shoots in mass propagation of philodendron.

Key words: Auxins, Shoots growth, Shoots rooting.

Resumen

Para el trasplante a sustrato las plantas deben tener un sistema radical bien desarrollado que les facilitará su adaptación, por lo cual deben cultivarse en un medio especial que promueva el enraizamiento. La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del ácido 3-indolbutírico (AIB) y ácido 3-indolacético (AIA) para determinar cuál de estas auxinas es la más adecuada y en qué concentración se debe usar para el enraizamiento y crecimiento de brotes de *Philodendron xanadu*. Se utilizaron brotes de filodendro sin raíces, obtenidos por organogénesis directa en condiciones *in vitro.* Se evaluaron cuatro concentraciones de AIB y cuatro de AIA (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mg L^{-1}), se incluyó un testigo sin auxinas; se usó el medio de cultivo Murashige y Skoog (MS) (1962). El diseño experimental fue completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento y arreglo factorial de tratamientos. Se evaluó altura de planta, número hojas, contenido relativo de clorofila, número y longitud de raíces. Los resultados indicaron que el medio de cultivo donde se utilizó AIA, en cualquiera de las cuatro concentraciones no fue adecuado para el enraizamiento de los brotes de esta especie. Por el contrario, el medio de cultivo MS suplementado con 0.5 mg L^{-1} de AIB fue el medio más apropiado para promover el enraizamiento de brotes de *P. xanadu* en 17 días, donde se obtuvieron 6.6 raíces por brote, con 6 cm de longitud, así como plantas de 4.1 cm con 9.8 hojas y con más clorofila (36.6 unidades spad); por lo tanto, se sugiere usar esta concentración de AIB para enraizar los brotes en la propagación masiva de esta especie de filodendro.

Palabras clave: Auxinas, Crecimiento de brotes, Enraizamiento de brotes.

1. Introducción

En la micropropagación de plantas, la fase de aclimatación puede ser crítica, donde el enraizamiento de las vitro plantas es una parte fundamental. El enraizamiento *in vitro* es seguido por la fase de aclimatación de plantas, en condiciones de invernadero, y en la mayoría de los casos se realiza en plantas de difícil enraizamiento *ex vitro* (Sathyanarayana y Barghese, 2007). La formación de raíces adventicias es un proceso inducido y regulado por factores externos como temperatura, luz y composición del medio de cultivo e internos como producción endógena de fitohormonas, carbohidratos y compuestos fenólicos (Pop *et al.,* 2011). Otro aspecto importante son los reguladores de crecimiento utilizados en la fase de multiplicación como las citoquininas y giberelinas empleadas para la multiplicación y alargamiento de brotes o tallos, las cuales se han considerado como inhibidores del enraizamiento (Saini *et al*., 2013). El material obtenido de la propagación *in vitro* también puede ser enraizado *ex vitro* durante el proceso de aclimatación en condiciones no asépticas y en sustratos como turbas, perlita o arena (Smith, 2012). Aunque esta condición de enraizamiento no es muy recomendable para plantas que tienen tallos acaules como el filodendro.

Los reguladores de crecimiento en los medios de cultivo permiten direccionar la morfogénesis de los tejidos y modificar las respuestas fisiológicas en condiciones *in vitro.* La utilización exógena de auxinas naturales como ácido 3-indolacético (AIA) o sintéticas como ácido naftalenacético (ANA) y ácido 3-indolbutírico (AIB), coadyuba a mejorar y eficientizar el proceso de enraizamiento estimulando células indiferenciadas que promueven la iniciación del enraizamiento o emergencia de raíces

adventicias por medio de mecanismos de alargamiento celular (García *et al.*, 2015; Jiménez-Mariña *et al.*, 2019).

Se han desarrollado diferentes protocolos de micropropagación para el género *Philodendron* y se ha observado que el enraizamiento *in vitro* ha dado buenos resultados cuando se aplican distintos tipos y concentraciones de auxinas al medio de cultivo. Para el enraizamiento *in vitro* de *Philodendron xanadu* se ha utilizado el medio de cultivo MS con ácido 3-indolbutírico a razón de 0.5 mg L^{-1} (Gangopadhyay *et al*., 2004) y medio MS suplementado ya sea con carbón activado o ácido naftalenacético a razón de 1 g L^{-1} (Hằng *et al*., 2013), resultando adecuado para el enraizamiento de esta especie. En *Philodendron bipinnatifidum*, el enraizamiento se ha logrado con el medio de cultivo MS suplementado con 1 a 2 mg L^{-1} de ácido naftalenacético (Alawaadh *et al*., 2020) y también con ácido 3-indolbutírico en concentración de 3 mg L^{-1} y el medio MS (El-Shamy, 2015). En otras ocasiones, el enraizamiento ocurre en medio de cultivo MS desprovisto de reguladores de crecimiento (Blanco y Valverde, 2004), aunque el número de raíces es menor en comparación de usar auxinas para promover la formación de las raíces. Klanrit *et al*. (2023), enraizaron brotes de *Philodendron erubescens* "pink princess" con AIB en concentración de 3 mg L^{-1} con lo que obtuvieron el mejor resultado, ya que se obtuvieron 3.2 raíces por planta, con un promedio de 1.9 cm de longitud.

Las auxinas son importantes para el enraizamiento de brotes de diversas especies cultivadas *in vitro*. Así, Bautista-Castellanos *et al*. (2020), reportaron que los brotes *Agave potatorum* establecidos en medios de cultivo con AIB formaron más raíces y estas tuvieron mayor peso seco que aquellos cultivados en medios con AIA, por lo que, el AIB fue la mejor auxina para promover la formación de raíces adventicias y el crecimiento de los brotes.

También Mollohuanca *et al*. (2022) reportaron que obtuvieron el mayor número de hojas (6 por planta) cuando enraizaron brotes de *Polylepis rugulosa* con 0.1 mg L^{-1} de AIB + 0.022 mg L^{-1} de bencil aminopurina, lo que indica que esta especie requiere la adición de citocininas baja concentración para tener mejor crecimiento de los órganos aéreos. También observaron mayor número de raíces (2 a 2.5) con el uso de 0.1 mg L^{-1} de AIB; las raíces fueron de 8 cm al usar 0.1 y 0.14 mg L^{-1} de AIB.

Philodendron xanandu, es importante como planta ornamental en contenedor, lo que hace que la demanda de planta micropropagada exista de manera continua. Durante una de las fases de la propagación *in vitro*, es necesario formar el sistema de raíces en los brotes para tener plantas completas. Dado lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar de manera independiente, el efecto del ácido 3-indolbutírico (AIB) y ácido 3-indolacetico (AIA) en cuatro concentraciones, en el enraizamiento y crecimiento *in vitro* de brotes de *P. xanadu*, para determinar cuál de estas auxinas es la más adecuada y en qué cantidad se debe usar para realizar el enraizamiento de brotes de esta especie.

2. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de micropropagación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, en Cuernavaca, Morelos, México.

Se utilizaron brotes de *P. xanadu* cultivadas *in vitro*, con longitud de 18 ± 2 mm, tres hojas jóvenes, sin brotes, sin raíces y de tamaño uniforme entre ellos.

2.1. Medio de cultivo

Se usó el medio de cultivo MS (Murashige y Skoog, 1962) suplementado con 3% de sacarosa, tiamina, glicina, piridoxina HCl, acido nicotínico (0.5 mg L^{-1} de cada uno), e inositol (100 mg L^{-1}). Con tal medio se prepararon ocho tratamientos que contenían respectivamente: ácido 3-indolbutírico (AIB: 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mg L^{-1}) o ácido 3-indolacético (AIA: 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mg L^{-1}), más un medio de cultivo sin auxinas (testigo). El pH del medio de cultivo se ajustó a 5.7. Como agente gelificante se usaron 7.5 g L^{-1} de agar Merck®.

Una vez preparados los ocho medios de cultivo, se dosificaron en alícuotas de 20 mL en frascos de vidrio de 100 mL de capacidad. Los frascos con el medio de cultivo se esterilizaron durante 18 min en autoclave vertical a 1.2 kg cm^{-2} y 120 ºC. Después, en cada frasco se establecieron cinco brotes de *P. xanandu*. Los frascos con los brotes se establecieron en una cámara de crecimiento con temperatura de 28 ± 2 °C, con un fotoperiodo de 16 horas de iluminación y 8 de oscuridad, intensidad luminosa de 32 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, en donde estuvieron durante 17 días.

2.2. Diseño experimental

Se estudiaron nueve tratamientos de enraizamiento de brotes (Tabla 1), con cinco repeticiones; se usó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos; factor A (promotor del crecimiento: AIB, AIA), factor B (Dosis de auxina: 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mg L^{-1}). La unidad experimental fue un frasco de 100 mL con 20 mL de medio de cultivo y cinco explantes por frasco.

Tabla 1. Tratamientos de auxinas (mgL^{-1}) para el enraizamiento y crecimiento de brotes de *P. xanadu.*

Auxina	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Testigo
AIB	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AIA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.0

2.3. Variables evaluadas y análisis de datos

Transcurridos 17 días después del establecimiento del experimento de enraizamiento, se evaluaron las cinco variables siguientes:

Altura de brote. Se uso hoja milimétrica colocando la planta sobre caja Petri estéril, se midió desde la base del brote hasta la parte superior.

Hojas por planta. En cada planta se contó el número de hojas.

Raíces por planta. En cada planta se contó y registró el número de raíces producidas.

Longitud de raíz. Se uso hoja milimétrica colocando la planta sobre caja Petri estéril y se midió la longitud de cada raíz, y se obtuvo el promedio por planta.

Contenido relativo de clorofila (CRC). Se evaluó usando un SPAD 502 DL Plus Spectrum®, la medición se hizo en tres hojas maduras, se determinó el valor promedio por planta.

Los datos obtenidos se estudiaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y se realizó la prueba de comparación de medias Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS System versión 9.0.

3. Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró que hubo efecto significativo del tipo de auxina aplicada al medio de cultivo ($P \leq 0.01$) en la altura de brote, número y longitud de raíces, así como para contenido relativo de clorofila. De igual forma, hubo efecto significativo ($P \leq 0.01$) de la dosis para cuatro variables, con excepción del número de raíces. El efecto fue no significativo para el número de raíces. La interacción de los niveles de los dos factores fue significativa para altura de brote, número

de hojas y contenido relativo de clorofila (Tabla 2). El efecto anterior se atribuye a que las auxinas se caracterizan por inducir la formación de raíces, también la concentración usada determina mayor o menor enraizamiento.

Tabla 2. Cuadrados medios y parámetros estadísticos del ANOVA para variables del crecimiento de *P. xanadu* durante el enraizamiento de brotes por efecto de promotores del crecimiento y dosis de auxina.

Fuentes de variación	G. L.	Altura de brote (mm)	Hojas (Núm.)	Raíces (Núm.)	Longitud de raíz (cm)	CRC (U. spad)
Promotor	1	52.900 **	0.600 ns	313.600 **	75.625 **	70.225 **
Dosis	3	41.442 **	0.780 **	0.966 ns	2.450 **	24.358 **
Promotor*dosis	3	33.558 **	0.558 **	0.466 ns	0.691 ns	11.891 **
Error experimental	32	0.69	0.093	0.375	0.500	0.665
C.V. (%)		2.39	3.41	17.24	16.73	2.42

G.L.: grados de libertad, C.V.: coeficiente de variación, **: efecto altamente significativo ($P \leq 0.01$), ns: efecto no significativo.

El AIB fue la auxina que generó más crecimiento tanto del brote como de las raíces; la diferencia fue mayor para el número y longitud de raíces, dado que el AIA presentó 5.6 raíces menos, y estas fueron 2.7 cm más cortas que las de las plantas que crecieron con AIB (Tabla 3). Jordán y Casaretto (2006), señalan que el AIB es más eficiente que el AIA para promover la formación de raíces adventicias y se usa comercialmente para este propósito.

Con respecto a la dosis de auxina, se observó que la altura de los brotes, número de hojas y longitud de raíz fueron mayor cuando se aplicaron 0.5 mg L^{-1} de auxinas; aunque también 1.0 mg L^{-1} fue adecuado para contenido de clorofila (Tabla 3). Estos resultados indican que la aplicación de 0.5 mg L^{-1} de auxinas es suficiente para el enraizamiento y crecimiento de brotes de filodendro. Las concentraciones de 1.5 y 2.0 mg L^{-1} no mejoraron las características de los brotes ni de las raíces.

Tabla 3. Comparación de medias de características morfológicas de brotes de *P. xanadu in vitro* evaluados en medios de cultivo MS con dos tipos de auxinas y cinco concentraciones.

Factor (mg L^{-1})	Altura de brote (mm)	Hojas (Núm.)	Raíces (Núm.)	Longitud de raíz (cm)	CRC (U. spad)
Promotor					
AIB	36.01 a	9.06 a	6.35 a	5.60 a	34.90 a
AIA	33.71 b	8.81 b	0.75 b	2.85 b	32.25 b
DMSH	0.53	0.19	0.39	0.45	0.52
Dosis					
0.5	37.78 a	9.33 a	3.80 a	4.80 a	34.35 ab
1.0	34.50 b	8.69 b	3.70 a	4.20 ab	35.05 a
1.5	34.08 bc	8.80 b	3.60 a	3.60 b	33.45 b
2.0	33.08 c	8.93 b	3.10 a	4.30 ab	31.45 c
DMSH	1.01	0.36	0.74	0.85	0.98

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales en una columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Dado que el análisis de varianza mostró efecto significativo de la interacción del promotor de enraizamiento con la dosis (para la mayoría de las variables), se presentan los resultados de enraizamiento y crecimiento de los brotes comparando las combinaciones de las dos auxinas con las cuatro dosis, así como el testigo, sin promotor del crecimiento.

Altura de brote. La altura de los brotes presentó pocas diferencias, la mayoría tuvieron de 33 a 34 mm. No obstante, las

plantas que crecieron en el medio de cultivo con 0.5 mg L^{-1} de AIB fueron las de mayor altura (41.6 mm). Las plantas cultivadas en los otros tratamientos, ya sea con la adición de AIB o AIA tuvieron un crecimiento en altura estadísticamente igual; los brotes más pequeños fueron aquellos donde se usó 2.0 mg L^{-1} de AIA (Tabla 4).

Número de hojas. El número de hojas en las plantas fue estadísticamente igual para la mayoría de los tratamientos de auxinas, con excepción de aquellas cultivadas con la menor concentración de AIB. Las plantas cultivadas sin auxinas tuvieron el menor número de hojas (Tabla 4); es importante indicar que las hojas de las plantas cultivadas en los medios de cultivo en que se adicionó AIB fueron más grandes, que cuando se aplicó AIA. Mollohuanca *et al*. (2022) obtuvieron el mayor número de hojas (6 por planta) cuando enraizaron brotes de *Polylepis rugulosa* con 0.1 mg L^{-1} de AIB + 0.022 mg L^{-1} de bencil aminopurina, lo que indica que esta especie requiere la adición de citocininas en baja concentración para tener mejor crecimiento de los órganos aéreos.

Número de raíces. El número de raíces fue mayor cuando se usó AIB, sin diferencias por efecto de la concentración auxínica (5.6 a 6.6 raíces por planta). Por el contrario, las plantas cultivadas con AIA presentaron una o ninguna raíz, por lo que el promedio por planta fue uno o menos a uno.

Tabla 4. Comparación de medias de características morfológicas de brotes de *P. xanadu in vitro* evaluados en medios de cultivo MS con dos tipos de auxinas en combinación con cuatro dosis.

Auxina (mg L^{-1})	Altura de brote (mm)	Hojas (Núm.)	Raíces (Núm.)	Longitud de raíz (cm)	CRC (U. spad)
0.0	32.48±4.5 cd	7.88±0.50 c	0.2±0.05 b	0.8±0.2 d	30.7±2.77 cd
AIB 0.5	41.60±0.51 a	9.80±0.37 a	6.6±0.54 a	6.0±0.70 a	36.6±1.29 a
AIB 1.0	34.24±0.69 bc	8.68±0.36 b	6.6±0.89 a	5.8±0.44 a	36.6±0.65 a
AIB 1.5	34.32±1.05 b	8.76±0.26 b	6.6±0.89 a	5.2±0.44 a	33.2±0.27 b
AIB 2.0	33.88±1.11 bcd	9.00±0.31 b	5.6±0.54 a	5.4±0.54 a	33.2±0.75 b
AIA 0.5	33.96±0.49 bcd	8.86±0.16 b	1.0±0.0 b	3.6±0.89 b	32.1±0.89 bc
AIA 1.0	34.76±0.77 b	8.70±0.42 b	0.8±0.1 b	2.6±0.54 bc	33.5±0.70 b
AIA 1.5	33.84±0.72 bcd	8.84±0.16 b	0.6±0.1 b	2.0±0.70 cd	33.7±0.57 b
AIA 2.0	32.28±1.03 d	8.86±0.26 b	0.6±0.1 b	3.2±1.09 bc	29.7±0.97 d
DMSH	1.83	0.67	1.24	1.42	1.96

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con letras iguales en una columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

De manera similar, en las plantas cultivadas en el medio sin auxinas (testigo), el número de raíces fue el más bajo, dado que varios brotes no produjeron raíces. Estos resultados fueron similares a lo obtenido por Chen *et al*. (2012) quienes observaron que el AIB con 0.5 a 1.0 mg L^{-1} favoreció la formación de raíces de *Philodendron* imperial green, imperial red e imperial rainbow. Por su parte, Hassan *et al*. (2016) indican que en *Philodendron selloum* obtuvieron el mayor número de raíces (31.6 raíces por planta) con 1.0 mg L^{-1} d AIB. Mollohuanca *et al*. (2022) observaron mayor número de raíces (2 a 2.5) en explantes de *Polylepis rugulosa* con el uso de 0.1 mg L^{-1} de AIB. Lo que indica que la concentración de la auxina requerida varía en función de la especie.

Longitud de raíz. Al igual que el número de raíces, la longitud de raíz fue favorecida por el uso de auxinas; las raíces fueron más largas en las plantas cultivadas en el medio con AIB (5.4 a 6 cm). Las plantas cultivadas en los cuatro medios suplementados con AIA, presentaron una longitud de raíz

estadísticamente igual entre sí y varió de 2 a 3.6 cm; las raíces de estas plantas fueron 51% más cortas que las enraizadas con AIB. Por el contrario, a las plantas establecidas en el medio de cultivo sin auxinas, fueron las que tuvieron la menor longitud de raíz (Tabla 4). Además de existir diferencias significativas para raíz en cuanto a número y longitud, se observó que las raíces de las plantas que crecieron en los medios de cultivo suplementados con AIA no presentaron ramificaciones y estás fueron de color verde intenso (Figura 1). Klanrit *et al.* (2023) obtuvieron la mayor longitud de raíz (1.9 cm) en *Philodendron erubescens* pink princess con 3.0 mg L^{-1}. En tanto que, Mollohuanca *et al*. (2022) obtuvieron raíces de 8 cm al usar 0.1 y 0.14 mg L^{-1} de AIB en el enraizamiento de brotes de *Polylepis rugulosa*. Lo anterior indica que la cantidad de auxinas requerida para enraizar brotes depende de la especie, no basta con que sean del mismo género.

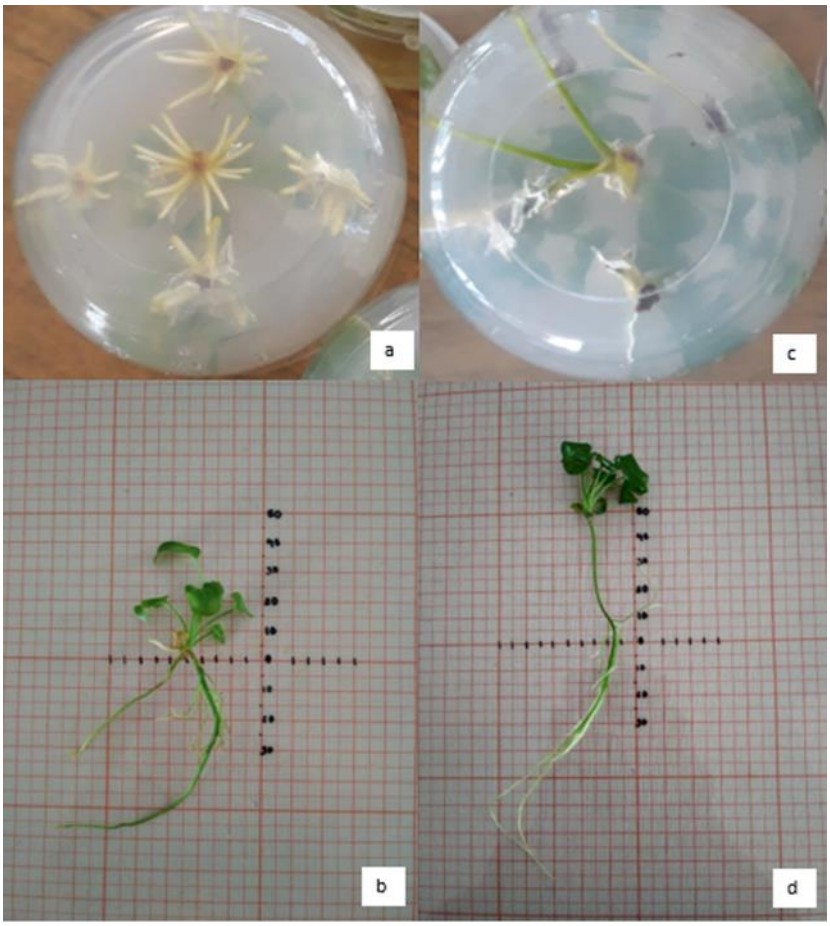


Figura 1. Enraizamiento de brotes de *P. xanadu.* a) Formación múltiple de raíces adventicias en brotes por efecto de AIB, b) Plántula completa con raíces bien diferenciadas por efecto del AIB, c) Raíces en brotes cultivados con AIA, d) Plántula cultivada en medio con AIA.

Contenido relativo de clorofila. La adición de auxinas y su concentración en el medio de cultivo modificó el contenido relativo de clorofila (CRC) en las plantas de filodendro. Las plantas que estuvieron en medios de cultivo con 0.5 y 1 mg L^{-1} de AIB tuvieron el mayor contenido relativo de clorofila (36.6 unidades spad), seguidas por aquellas que crecieron en los medios suplementados con 1.5 y 2 mg L^{-1} de AIB, así como con 0.5, 1.0 y 1.5 mg L^{-1} de AIA, en las que el CRC varió de 32.1 a 33.7 unidades spad. El menor contenido

de clorofila se observó en aquellas plantas cultivadas en el medio con 2 mg L^{-1} de AIA y en las que no se usó auxina (Tabla 4). Los resultados pueden deberse a que las plantas mejor enraizadas, tuvieron la capacidad de absorber mayor cantidad de nutrientes del medio de cultivo, principalmente el nitrógeno y sinterizar mayor cantidad del pigmento fotosintético como lo reportó Sánchez *et al.* (2018).

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con lo reportado por Gangopadhyay *et al*. (2004) quienes obtuvieron el adecuado enraizamiento de *Philodendron xanadu* con la adición de 0.5 mg L^{-1} de ácido indol-3-butírico al medio de cultivo. Por su parte, Hằng *et al*. (2013) reportan que el *P*. *xanadu* en medio MS suplementado ya sea con carbón activado o ácido naftalenacético a 1 g L^{-1} resultó apropiado para la inducción de raíces en términos de número y longitud después de cuatro semanas de cultivo.

Alawaadh *et al*. (2020) reportan que el 100% de enraizamiento de brotes de *Philodendron bipinnatifidum* ocurre en el medio MS suplementado con 1 a 2 mg L^{-1} de ácido naftalenacético. Por su parte, El-Shamy (2015) reporta que para la propagación *in vitro* de *Philodendron bipinnatifidum*, la auxina más adecuada fue el ácido indol-3-butírico en concentración de 3 mg L^{-1}. También Hassan *et al*. (2016) reportan que para la etapa de enraizamiento de *Philodendron selloum* se requiere usar el medio de cultivo MS suplementado con 3 mg L^{-1} de ácido 3-indolbutírico. De igual modo, Chen *et al.* (2012) reportan que en estudios realizados con tres cultivares comerciales de filodendro, las plantas enraizaron bien después de un mes de subcultivarse en medio MS con 0.1 a 1 mg L^{-1} de AIB.

Contrario a los reportes anteriores, Blanco y Valverde (2004) en estudios realizados para generar el protocolo de propagación *in vitro* de *Philodendron* sp. mencionan que esta especie no requiere del estímulo de auxinas para el enraizamiento, ya que la inducción de raíces ocurrió en un periodo de 3 a 4 semanas, tanto en los medios de cultivo suplementados con auxinas, como en los medios desprovistos de estas.

Bautista-Castellanos *et al*. (2020), reportaron que los brotes *Agave potatorum* establecidos en medios de cultivo con AIB formaron más raíces y estas tuvieron mayor peso seco que aquellos cultivados en medios con AIA, por lo que, el AIB fue la mejor auxina para promover la formación de raíces adventicias y el crecimiento de los brotes.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación y en concordancia con lo reportado por otros autores, cada especie aún del mismo género, puede requerir o no del estímulo de alguna auxina para completar el proceso morfogénico de enraizamiento. En el caso de *Philodendron xanadu*, el enraizamiento requirió sólo de 17 días para tener raíces listas para trasplantar a sustrato, esto implica tener entre 4 y 6 raíces de 2 o más cm de longitud, 6 o más hojas por planta. En la presente investigación, la mejor concentración fue 0.5 mg L^{-1} de AIB, puesto que se tuvieron plantas con 6.6 raíces, de 6 cm de longitud, así como el mejor crecimiento de la parte aérea (4.1 cm de altura, 9.8 hojas por planta y el mayor contenido de clorofila). Sin embargo, para *Philodendron erubescens* "Pink princess" el AIB en concentración de 3 mg L^{-1} fue el mejor para enraizamiento de brotes, ya que se obtuvieron 3.2 raíces por planta, con un promedio de 1.9 cm de longitud (Klanrit *et al*., 2023). Como ya se comentó, aun dentro del mismo género, la cantidad de auxinas necesarias para enraizar brotes dependerá de la especie.

4. Conclusiones

El medio de cultivo MS suplementado con 0.5 mg L^{-1} de ácido indol-3-butírico fue el más adecuado para el enraizamiento *in vitro* de brotes de *Philodendron xanadu*, lo que ocurrió en 17 días. Por el contrario, el medio con ácido 3-indolacético no fue adecuado para el enraizamiento de esta especie.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHCyT, el apoyo proporcionado al primer autor mediante la beca de doctorado número 702278/584433.

6. Referencias

Alawaadh, A. A., Dewir, Y. H., Alwihibi, M. S., Aldubai, A. A., El-Hendawy, S. & Naidoo, Y. (2020). Micropropagation of lacy tree Philodendron (*Philodendron bipinnatifidum* Schott ex Endl.). *HortScience,* 55(3): 294-299. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14612-19

Bautista-Castellanos, A. I., Enríquez-del Valle, J. R., Velasco-Velasco, V. A., & Rodríguez-Ortiz, G. (2020). Enraizado de brotes in vitro y aclimatación de plantas de *Agave potatorum* Zucc. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 7(3): e2618, https://doi.org/10.19136/era.a7n3.2618

Blanco, M. & Valverde, R. (2004). Micropropagación de *Philodendron* sp. (Posiblemente *P. corcovadense*). *Agronomía Costarricense,* 28(1): 39-46. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43628104

Chen, F. C., Wang, C. Y. & Fang, J. Y. (2012). Micropropagation of self-heading Philodendron via direct shoot regeneration. *Scientia Horticulturae,* 141: 23-29. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.04.011

El-Shamy, M. A. (2015). Studies on *Philodendron bipinnatifidum* to propagation by *in vitro* culture. *Journal of Biological, Chemical and Environmental Sciences,* 10 (1): 23-36.

Gangopadhyay, G., Bandyopadhyay, T., Gangopadhyay, S. B. & Mukherjee, K. K. (2004). Luffa sponge - A unique matrix for tissue culture of *Philodendron*. *Current Science,* 86 (2): 315-319. https://www.jstor.org/stable/24107874

García, G. J., Salas, A. E. & Azofeifa, B. J. (2015). Efecto del AIA y el AIB sobre el enraizamiento *in vitro* de brotes de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. *Biotecnología Vegetal*, 15 (1): 3-7. https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/4

Hằng, P. T. T., Hải, N. T., Linh, N. T. T., Thủy, N. T., Tâm, Đ. T. T., & Thảo, N. T. P. (2013). Nhân nhanh *in vitro* cây trầu bà cánh phượng (*Philodendron xanadu*). *Journal, Science & Development*, 11(6): 826-832. http://www1.vnua.edu.vn/tapchi/Upload/27102013-08.%20Pham%20Thi%20Thu%20Hang%20826-832.pdf

Hassan, H., Ali, M. & Soliman D. (2016). Effect of low cost gelling agents and some growth regulators on micropropagation of *Philodendron selloum*. *Journal of Plant Production*, 7 (2):169-176. https://jpp.journals.ekb.eg/article_45250_772463b1b608ebf753a3e95a15299beb.pdf

Jiménez-Mariña, L., Fonseca-Arias, M., García-Alcántara, A., Infante-

Fonseca, S. & Vázquez-Rodríguez, J. (2019). Efecto de diferentes concentraciones de Ácido Indolacético (AIA) en el enraizamiento *in vitro* de *Dahlia* sp. *Cultivos Tropicales*, 40 (1): 1-11. http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n1/1819-4087-ctr-40-01-e11.pdf

Jordán, M., & Casaretto, J. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. In: Fisiología Vegetal (F.A. Squeo & L. Cardemil, eds.) Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile, https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf

Klanrit P., Kitwetcharoen, H., Thanonkeo, P., & Thanonkeo, S. (2023). In Vitro Propagation of *Philodendron erubescens* 'Pink Princess' and Ex Vitro Acclimatization of the Plantlets. *Horticulturae, 9*(6): 688. https://doi.org/10.3390/horticulturae9060688

Mollohuanca, C., Bustamante, E., Mayta, L., Bardales, R. (2022). Enraizamiento in vitro y la influencia de cuatro tipos de sustrato en la aclimatación de Queñoa *Polylepis rugulosa* Bitter. *Manglar*, 19(1): 25-32. http://doi.org/10.17268/manglar.2022.003

Murashige, T. & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3): 473-497. https://florestal81.webnode.com/_files/200000040-03153040fe/07%20Artigo%20MS%201962.pdf

Pop, T., Doru, P. & Bellini, C. (2011). Auxin control in the formation of adventitious roots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1): 307-316.

Saini, S., Sharma, I., Kaur, N. & Pati, P. K. (2013). Auxin: a master regulator in plant root development. *Plant Cell Reports*, 32(6): 741-757. https://doi.org/10.1007/s00299-013-1430-510

Sánchez, E., Ruiz, J. M., Romero, L., Preciado-Rangel, P., Flores-Córdova, M. A., & Márquez-Quiroz, C. (2018). ¿Son los pigmentos fotosintéticos buenos indicadores de la relación del nitrógeno, fósforo y potasio en frijol ejotero?. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, *5*(15): 387-398. https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1757

Sathyanarayana, B. & Barghese, D. (2007). Plant tissue culture: practices and new experimental protocols. I.K. International Pvt Ltd., India. 316 p.

Smith, R. (2012). Plant tissue culture: Techniques and experiments. Academic Press Elsevier, Londres, UK. 208 p.