



Scientia Agropecuaria

Web page: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Universidad Nacional de
Trujillo



RESEARCH ARTICLE

Pitahaya (*Hylocereus guatemalensis*) explants from areoles: Protocol for *in vitro* regeneration and successful acclimatization

Explantos de pitahaya (*Hylocereus guatemalensis*) a partir de areolas: Protocolo para la regeneración *in vitro* y una exitosa aclimatación

Estefany Estrella Canales-Carrera^{1*} ; Brian Giuseppe Navarro-Sandoval¹ ; Mateo Leiva Melgarejo² ; Ricky Edison Príncipe Jara² ; Ángel Pedro Campos Julca² ; Luis Alberto Goñy Ameri²

¹ CITE Agroindustrial Ica, Unidad Técnica Huaura, Instituto Tecnológico de la Producción, Lima, Perú.

² Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima, Perú.

* Corresponding author: ecanales@itp.gob.pe (E. E. Canales-Carrera).

Received: 2 January 2025. Accepted: 22 June 2025. Published: 7 July 2025.

Abstract

In vitro micropropagation of pitahaya has been presented as an alternative for obtaining high quality plant material and mass production in reduced and controlled spaces. The present study aimed to achieve *in vitro* regeneration of shoots and roots of *H. guatemalensis* from areoles and their survival during ex vitro acclimatization. Different treatments with culture media, growth regulators and substrates were evaluated to obtain plants with normal development. Shoot regeneration from areoles was achieved 14 days, enriching the Murashige and Skoog (MS) medium with different concentrations of benzylaminopurine (BAP). The induction of shoots without callus formation and with greater shoot length and diameter was achieved using Woody Plant Medium (WPM) without cytokinins. On the other hand, root induction began at 14 days, obtaining between 90 and 100% of rooted explants, with the highest number of roots produced in media supplemented with indolbutyric acid (IBA), and the greatest lengths with MS medium without regulators. 100% survival was achieved using a mixture of perlite and peat in a 1:1 ratio, as well as higher values of cladode length and diameter. This study reports, for the first time, the protocols for *in vitro* regeneration of pitahaya *H. guatemalensis* explants from areoles, as well as their successful acclimatization.

Keywords: Areola; cactus; *in vitro* clonal propagation; disinfection; culture media; growth regulators; rooting.

Resumen

La micropropagación *in vitro* de pitahaya se ha presentado como una alternativa para la obtención de material vegetal de alta calidad y producción masiva en espacios reducidos y controlados. El presente estudio tuvo como objetivo lograr la regeneración *in vitro* de brotes y raíces de *H. guatemalensis* a partir de areolas y su supervivencia durante la aclimatación ex vitro. Se evaluaron diferentes tratamientos con medios de cultivo, reguladores de crecimiento y sustratos para obtener plantas con un desarrollo normal. La regeneración de brotes a partir de areolas se logró desde los 14 días, enriqueciendo el medio Murashige and Skoog (MS) con concentraciones diferentes de benzilaminopurina (BAP). La inducción de brotes sin formación de callos y con una mayor longitud y diámetro de los mismos, se logró empleando medio Woody Plant Medium (WPM) sin citoquininas. Por otro lado, la inducción de raíces inició a los 14 días obteniéndose entre un 90 y 100% de explantes enraizados, siendo el mayor número de raíces producido en medios suplementados con ácido indolbutírico (AIB), y las mayores longitudes con el medio MS sin reguladores. El 100% de supervivencia se alcanzó empleando una mezcla de perlita y turba en proporción 1:1, así como mayores valores de longitud y diámetro de cladodios. Este estudio reporta, por primera vez, un protocolo para la regeneración *in vitro* de explantes de pitahaya *H. guatemalensis* a partir de areolas, así como su aclimatación exitosa.

Palabras clave: Areola; cactácea; propagación clonal *in vitro*; desinfección; medios de cultivo; reguladores de crecimiento; enraizamiento.

DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.033>

Cite this article:

Canales-Carrera, E. E., Navarro-Sandoval, B. G., Leiva Melgarejo, M., Príncipe Jara, R. E., Campos Julca, Á. P., & Goñy Ameri, L. A. (2025). Explantes de pitahaya (*Hylocereus guatemalensis*) a partir de areolas: Protocolo para la regeneración *in vitro* y una exitosa aclimatación. *Scientia Agropecuaria*, 16(3), 427-438.

1. Introducción

La pitahaya, perteneciente a los géneros *Hylocereus* y *Selenicereus* (Mercado-Silva, 2018; Trivellini et al., 2020) se considera originaria de América central y del sur (Shah et al., 2023), y ha sido introducida en

países como Taiwán, Vietnam y otras naciones del sudeste asiático (Mercado-Silva, 2018; Verona-Ruiz et al., 2020). En el Perú, las regiones de la costa concentran las mayores áreas cultivadas, siendo Lima - Provincias, quienes se privilegian en el crecimiento por superficie sembrada, mientras que

en la selva central es común encontrarla en Chanchamayo (Vargas Gutiérrez & López Montañez, 2020).

Conocida también como pitaya o fruto de dragón, la pitahaya es una fruta atractiva y exótica cuya producción ha aumentado en los últimos años, ante el incremento de su diversidad genética, ha generado el aumento de su variabilidad, por lo que atrae el interés en sus descriptores biométricos, como en su diversidad alimentaria, esto se respalda por diversas investigaciones en los países donde se cultiva (Liaotrakoon, 2013), destacando el contenido de antocianinas en especies de pulpa roja (Yasmin et al., 2024), así como la pectina extraída de las cáscaras por ser un agente antioxidante versátil, utilizable tanto en sistemas hidrofílicos como hidrófobos (Amorim et al., 2025), además, la cáscara de *H. guatemalensis*, ha demostrado efectos hepatoprotectores en peces ornamentales (Gauer et al., 2025), entre otros hallazgos relevantes.

La propagación del cultivo puede realizarse de forma sexual o asexual (Menezes et al., 2012). La propagación sexual se lleva a cabo mediante semillas, no obstante, no es la opción más recomendada debido a que no garantiza la estabilidad genética asociada a la polinización cruzada y la diversidad genética (Bouzroud et al., 2022), asimismo, el tiempo de fructificación relacionado a este método puede oscilar entre 4 y 5 años aproximadamente (Chhetri et al., 2021). La propagación asexual, en contraste, se lleva a cabo mediante esquejes enraizados o injertos (Bouzroud et al., 2022) y la floración se obtiene a partir del año (Bozkurt et al., 2022), su eficacia se ve limitada por la disponibilidad de esquejes con características adecuadas, además de que existe el riesgo de transmisión de plagas (Rodrigues et al., 2022).

Una alternativa para la propagación de pitahaya es la micropropagación *in vitro*, que ofrece diversas ventajas, como la obtención masiva de plantas sanas (Espinosa-Leal et al., 2018) en un entorno controlado y reducido (Wan Anuar et al., 2019), además de permitir la propagación independiente de la estacionalidad del año y contribuye, para implementar un banco de germoplasma *ex situ*. Los estudios relacionados a la micropropagación de pitahaya han propuesto el uso de altas concentraciones de 6-bencilaminopurina (BAP), sola o en combinación con ácido naftalenacético (ANA) u otros reguladores del crecimiento, con el fin de fomentar la regeneración de múltiples brotes y raíces; la mayoría de estos tratamientos promueven la formación de callos (Hua et al., 2015; Mohamed-Yasseen,

2002; Viñas et al., 2012) lo que puede generar inestabilidad genética o inducir la variación somaclonal (Bouzroud et al., 2022; Salas et al., 2011).

Ante esta situación, se ha propuesto el uso de la técnica de organogénesis directa a partir de areolas de pitahaya, cuyo éxito depende de las concentraciones de citoquininas y auxinas. Este enfoque no solo busca la regeneración *in vitro*, sino también preservar la integridad genética de la planta (Bouzroud et al., 2022).

Dado que cada genotipo responde de manera diferente en el cultivo *in vitro* y hasta la fecha, no existe un protocolo de micropropagación *in vitro* de pitahaya (*H. guatemalensis*) establecido hasta la aclimatación, la presente investigación tiene como objetivo proponer un protocolo para la regeneración *in vitro* de esta especie, mediante el uso de medios nutritivos, reguladores de crecimiento y sustratos clave para su correcto desarrollo.

2. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio Agrícola del CITE Agroindustrial Unidad Técnica Huaura, Lima, Perú. Se emplearon brotes jóvenes de 10-15 cm aproximadamente de longitud provenientes de esquejes enraizados de pitahaya (*H. guatemalensis*), los cuales fueron tratados de manera nutricional y sanitaria en el vivero del CITE agroindustrial Unidad Técnica Huaura, según lo descrito por Navarro-Sandoval & Canales-Carrera (2021) durante 4 semanas consecutivas previo a su introducción.

Para el proceso de desinfección *in vitro*, los brotes se trataron según lo descrito por Bozkurt et al. (2020) modificado, se lavaron con detergente en polvo Marsella y agua corriente, luego se desinfectaron con 1% de Tween® 20 (marca HIMEDIA, código PCT1310), más 1g/L de fungicida Benlate® (marca Farmex S.A., benomyl al 50% p/p) por un periodo de 10 min, manteniéndose en agitación constante por medio de un agitador orbital marca DLAB (modelo SK-O330-PRO, procedencia China), se enjuagaron con agua destilada y se trasladaron a cabina de flujo laminar horizontal BIOBASE (modelo BBS-H1100, procedencia China) donde se desinfectaron con alcohol de 70° Alkofarma por 30 segundos, seguido de tres enjuagues con agua destilada previamente esterilizada en autoclave (modelo LS-B50L, procedencia China) a 121°C por 15 min. Para concluir, se empleó una solución al 1,5 % de lejía cloro Sapolio bleach (hipoclorito de sodio 4,0%) por 15 minutos, seguido de 3 enjuagues con agua destilada estéril.

2.1. Introducción de areolas y regeneración de brotes

Se emplearon areolas de 10 a 15 mm², sembradas individualmente en tubos de ensayo de 25 mm, usando como medio base Murashige & Skoog (MS; HIMEDIA, código PT021) adicionándose según tratamientos, los reguladores de crecimiento 6-bencilaminopurina (BAP; HIMEDIA, código PCT0802) y thidiazuron (TDZ; HIMEDIA, código RM9927) en distintas concentraciones, incluyendo un tratamiento sin adición de reguladores (Tabla 1). A cada tratamiento se le adicionó 25 g/L de sacarosa (marca CDH, código 645105), 5,7 g/L de agar en polvo (HIMEDIA, grado bacteriológico, código GRM026), y el pH fue ajustado a 5,7. Los explantes se acondicionaron a 25 ± 2 °C con un fotoperíodo de 16 horas luz por día, con intensidad lumínica de 4000 lux. Para ello, los tubos de ensayo se colocaron a una distancia de 25 cm de dos lámparas fluorescentes LED cálidas (18W, 1800 Lm). Se introdujo un total de 40 explantes por tratamiento. Se evaluó semanalmente el porcentaje de brotación y a los 28 días se reportó la longitud de brotes y el número de areolas por brote.

Tabla 1

Tratamientos empleados para la introducción de areolas y regeneración de brotes de *H. guatemalensis*

Tratamiento	Medio de cultivo	Regulador de crecimiento	Concentración (mg/l)
T0	MS	-	-
T1		BAP	0,25
T2		BAP	0,5
T3		BAP	0,75
T4		BAP	1
T5		TDZ	0,05
T6		TDZ	0,1
T7		TDZ	0,25
T8		TDZ	0,5

NOTA: Los guiones (-) indican la ausencia de regulador de crecimiento y su concentración en dicho tratamiento.

2.2. Inducción de brotes

Se emplearon explantes con una longitud de cladodio de 15 a 20 mm, los cuales fueron despuntados para eliminar la dominancia apical y maximizar la producción de brotes por explante. Se sembraron 10 explantes por tratamiento en frascos de 300 ml, distribuidos en medios de cultivo: MS, MS/2 y Woody Plant Medium (WPM; HIMEDIA, código PT026) solos o suplementados con citoquininas BAP y TDZ (Tabla 2). Así mismo, todos los tratamientos fueron ajustados a las condiciones dadas en la etapa anterior. La toma de datos se realizó a los 60 días. Se evaluó el porcentaje de formación de callos, el coeficiente de multiplicación y longitud y diámetro promedio de brotes (mm).

Tabla 2

Tratamientos empleados en la inducción de brotes de *H. guatemalensis*

Tratamiento	Medio	Regulador de crecimiento	Concentración (mg/l)
M1	MS	-	-
M2		BAP	0,125
M3		BAP	0,25
M4		TDZ	0,05
M5		TDZ	0,1
M6	MS/2	-	-
M7		BAP	0,125
M8		BAP	0,25
M9		TDZ	0,05
M10		TDZ	0,1
M11	WP	-	-
M12		BAP	0,125
M13		BAP	0,25
M14		TDZ	0,05
M15		TDZ	0,1

NOTA: Los guiones (-) indican la ausencia de regulador de crecimiento y su concentración en dichos tratamientos.

2.3. Inducción de raíces

Se utilizaron explantes de 20 mm aproximadamente con desarrollo normal, se sembraron 10 explantes por tratamiento en frascos de 300 ml distribuidos en medios de cultivo: MS y MS/2 solos o suplementados con auxinas: ácido indolbutírico (AIB; CDH, código 028559) y ácido indolacético (AIA; CDH, código 028558) (Tabla 3). Todos los tratamientos se sometieron a las condiciones establecidas en las etapas anteriores. Se evaluó el porcentaje de enraizamiento semanalmente y el número de raíces, así como la longitud promedio de las mismas a los 60 días.

Tabla 3

Tratamientos empleados para la inducción de raíces de *H. guatemalensis*

Tratamiento	Medio	Regulador de crecimiento	Concentración (mg/l)
E1	MS	-	-
E2		AIB	0,125
E3		AIB	0,25
E4		AIB	0,5
E5		AIA	0,125
E6		AIA	0,25
E7		AIA	0,5
E8	MS/2	-	-
E9		AIB	0,125
E10		AIB	0,25
E11		AIB	0,5
E12		AIA	0,125
E13		AIA	0,25
E14		AIA	0,5

NOTA: Los guiones (-) indican la ausencia de reguladores de crecimiento y su concentración en dichos tratamientos.

2.4. Aclimatación

Los explantes enraizados fueron lavados cuidadosamente para eliminar los restos de medio de cultivo que pudieran adherirse a las raíces y propiciar la formación de hongos. Posteriormente,

se distribuyeron en tres tratamientos, cada uno con diferentes proporciones de sustrato de perlita marca Grow Mix Garden y turba TS1 - 085 (Tabla 4), en bandejas de germinación de poliestireno de 28 celdas (31 cm x 56 cm). Se acondicionaron en el vivero del CITE Agroindustrial Unidad Técnica Huaura manteniéndose a una temperatura de 24 ± 2 °C y con un porcentaje de humedad de 60%, empleándose 10 explantes por tratamiento. Se evaluaron el porcentaje de supervivencia, la longitud del cladodio principal y el diámetro de los cladodios.

Tabla 4

Tratamientos empleados para la aclimatación de *H. guatemalensis*

Tratamiento	Proporción (Perlita:turba)
P1	1:1
P2	2:1
P3	3:2

La **Figura 1** muestra el proceso metodológico general empleado para la regeneración *in vitro* y aclimatación de *H. guatemalensis*.

2.5. Análisis estadístico

Para el procedimiento de análisis de los datos se empleó el software estadístico INFOSTAT versión 2020. Se realizó un ANOVA y se determinó las diferencias entre los tratamientos a través de la

prueba LSD Fisher con un nivel de significancia $p < 0,05$. Los gráficos se elaboraron con el software Sigma Plot for Windows versión 16.

3. Resultados y discusión

No se presentó contaminación en las introducciones realizadas, lo que se atribuye al tratamiento sanitario y nutricional en vivero, sumado a la desinfección de explantes *in vitro*.

3.1. Introducción de areolas y regeneración de brotes

A los 28 días de evaluación, los tratamientos T3 y T2 presentaron los porcentajes más elevados de brotación 80% y 67,5% respectivamente; mientras que los tratamientos T4 y T1 obtuvieron el 52,5 y 50% de brotación respectivamente; estudios previos han demostrado que el uso de BAP favorece la brotación de hasta un 90% en diversas concentraciones, logrando el 100% de brotación a los 90 días utilizando una concentración de 1 mg/L (Navarro-Sandoval & Canales-Carrera, 2021), resultados similares fueron reportados por Fan et al. (2013) cuya concentración de 2 μ M de BAP permitió el 90% de regeneración de explantes de *H. undatus* frente a citoquininas como KIN o TDZ. En la presente investigación la evaluación se limitó a 28 días permitiendo optimizar los tiempos para la obtención de explantes *in vitro*.

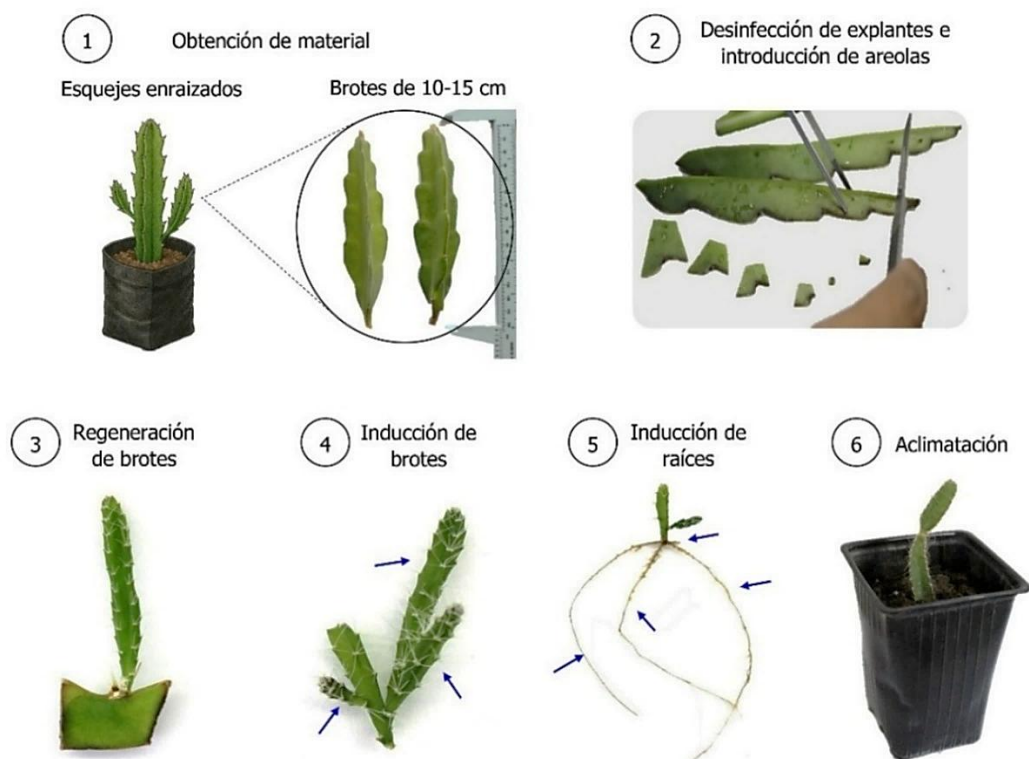


Figura 1. Procedimiento para la regeneración *in vitro* de pitahaya *H. guatemalensis* a partir de areolas y su aclimatación.

Los tratamientos T0 (sin regulador), T5, T6, T7 y T8 (con regulador de crecimiento TDZ) no presentaron brotación alguna (Figura 2). Según Marcotrigiano et al. (1996), TDZ favorece la formación de brotes sin embargo limita la elongación de los explantes. De manera similar, Cortés-Olmos et al. (2025) al adicionar TDZ observó la activación de explantes de cactáceas del género *Gymnocalycium*, principalmente mediante la formación de callos. Estos resultados coinciden con Rodrigues et al. (2022), quienes emplearon concentraciones elevadas de TDZ (2 mg/L y 4 mg/L) para la obtención de explantes de *H. undatus* mediante organogénesis indirecta, obteniendo el 73% y 100% de callos que lograron posteriormente regenerar órganos. Estos resultados difieren del presente trabajo, debido a que la regeneración por medio de areolas es una vía directa de propagación, siendo la callogénesis innecesaria para el presente estudio.

El tratamiento T1 presentó una media de 15,65 para la longitud de brotes y 7,6 para el número de areolas por brote, mostrando diferencia significativa frente a los demás tratamientos a los cuales se les adicionó el regulador de crecimiento BAP (Figura 3). Los tratamientos T2, T3 y T4 presentaron medias de 9,07; 8,88 y 9,19 respectivamente para la variable longitud de brotes, mientras que, para el número de areolas por brote, presentaron medias de 5,85; 5,59 y 5,71 respectivamente.

Según Qin et al. (2017), 5,5 mg/L de BAP combinado con 0,1 mg/L de NAA permitieron la mayor longitud de explantes de *H. polyrhizus* (2,8 cm), lo cual se asocia a una mayor concentración de BAP empleada, mientras que Lee & Chang (2022), menciona que la adición de 1 mg/L de BAP permitió incrementar la longitud de brotes de pitahaya "Da Hong" en combinación con 0,1 y 0,2 mg/L de NAA y carbón activado, con valores superiores a 9 cm, sin embargo se obtuvieron brotes compactos y secos, por lo que proponen que la respuesta es específica a cada especie.

En el presente estudio, las longitudes obtenidas fueron inferiores ya que se limitó el uso de combinaciones y altas concentraciones de reguladores de crecimiento, para evitar inducir la formación de callos y por el contrario generar clones idénticos del material vegetal introducido.

3.2. Inducción de brotes (multiplicación)

Los tratamientos M4, M5, M9, M10, M14 y M15 presentaron entre el 80 y 100% de formación de callos (Tabla 5), los cuales se presentaron principalmente en la parte basal de los explantes (Figura 4a); para el presente estudio, no se consideraron dichos tratamientos, ya que la propagación a través de yemas busca obtener plántulas sin una vía intermedia (callos) así como también mantener la uniformidad genética del material vegetal.

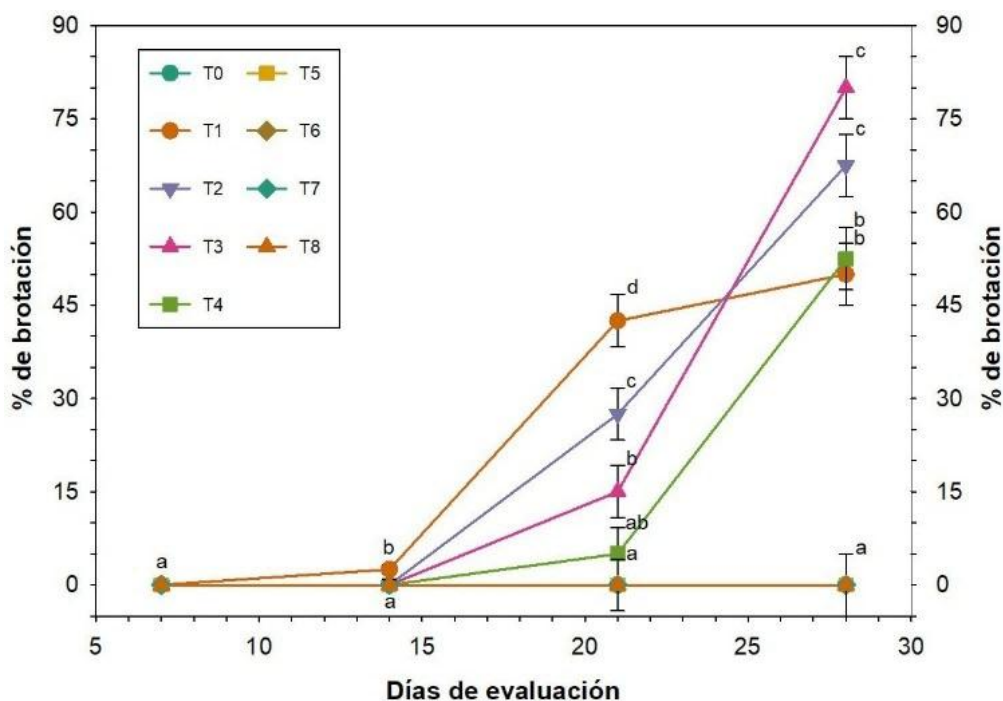


Figura 2. Porcentaje de brotación obtenido semanalmente, para cada uno de los tratamientos evaluados. Los valores con letras similares no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según análisis LSD Fisher.

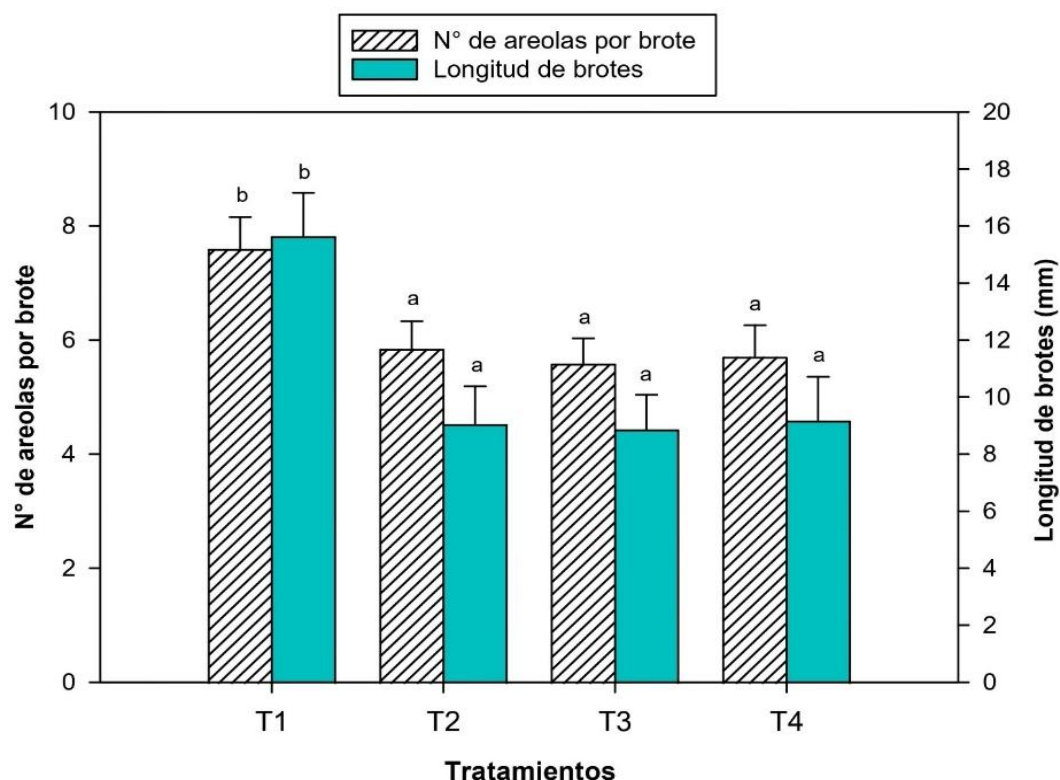


Figura 3. Efecto de diferentes tratamientos con BAP sobre el número de areolas por brote y la longitud de brotes en la introducción de areolas y regeneración de brotes de *H. guatemalensis*. Los valores con letras similares no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según análisis LSD Fisher.

De acuerdo con **Rodrigues et al. (2022)**, el empleo de TDZ en concentración de 2 mg/L inducía la organogénesis indirecta, evidenciado por los vasos conductores observados mediante microscopía electrónica de barrido, los callos formados adquirirían un color amarillo claro y presentaban estructuras similares a un cactus en miniatura. Por otro lado, **Bozkurt et al. (2022)** señalaron que, conforme aumentaba el número de subcultivos, los callos podían inducir la necrosis del tejido sembrado. En cuanto al coeficiente de multiplicación (CM), el tratamiento M3 presentó el valor más alto (1,30), difiriendo significativamente frente a los demás tratamientos (**Tabla 5**), mientras que el tratamiento M7 presentó el menor valor 0,6 estos resultados se pueden contrastar con lo reportado por **Bozkurt et al. (2020)** que obtuvo un CM de 2,38 para explantes de *American Beauty* conocido también como *H. guatemalensis* con 2 mg/L de BAP, mientras que con 4 mg/L de BAP obtuvo un CM de 4,12. En la presente investigación se puede observar que las concentraciones de los tratamientos empleados son menores a dicha investigación, esto debido a que en ensayos previos con concentraciones mayores de BAP inducían la formación de callos (datos no mostrados).

Respecto a la longitud y diámetro promedio de brotes, el tratamiento M11 presentó un promedio de 17,78 y 4,44 mm, respectivamente (**Figura 4c**), presentando diferencia significativa respecto a los demás tratamientos; además proporcionó el 90% de explantes brotados a los 30 días (datos no mostrados). **Dewir et al. (2023)** en explantes de *H. polyrhizus* con medio MS suplementado con 1 mg/L de BAP y 0,1 mg/L de NAA, obtuvo una longitud similar (1,76 cm) mientras que en biorreactores obtuvo longitudes de hasta 3,11 cm. **Bozkurt et al. (2020)**, en cambio para pitahaya *American Beauty*, obtuvo longitudes de 2,85 empleando medio suplementado con 1 mg/L de AIB y 1,45 cm con 0,5 mg/L de AIB. La adición de BAP no muestra resultados significativos respecto a los tratamientos sin adición de citoquinina. Además, el empleo de WPM fue uno de los mejores tratamientos, esto puede estar relacionado a que el medio de cultivo WPM, al igual que un MS/2, presenta menores cantidades de macronutrientes, pero también menores cantidades de nitrógeno total y menos amonio (**Phillips & Garda, 2019**). **Shah et al. (2023)** indican que los sueros salinos ralentizan el crecimiento y desarrollo de las plantas de pitahaya, lo que se asocia a la cantidad de sales presentes en el medio MS.

Tabla 5
Efecto de los medios de cultivo sin reguladores y con reguladores de crecimiento sobre el coeficiente de multiplicación de brotes de *H. guatemalensis*

Tratamiento	Medio + Reguladores de crecimiento	Formación de callos (%)	Coeficiente de multiplicación
M1	MS	0,00 ^a	1,10 ^{ab}
M2	MS+0,125 BAP	0,00 ^a	0,80 ^{ab}
M3	MS+0,25 BAP	0,00 ^a	1,30 ^b
M4	MS+0,05 TDZ	80,00 ^b	N.A.
M5	MS+0,1 TDZ	100,00 ^c	N.A.
M6	MS/2	0,00 ^a	0,90 ^{ab}
M7	MS/2 + 0,125 BAP	0,00 ^a	0,60 ^a
M8	MS/2 + 0,25 BAP	0,00 ^a	1,00 ^{ab}
M9	MS/2 + 0,05 TDZ	90,00 ^{bc}	N.A.
M10	MS/2 + 0,1 TDZ	100,00 ^c	N.A.
M11	WP	10,00 ^a	1,10 ^{ab}
M12	WP+0,125 BAP	0,00 ^a	1,00 ^{ab}
M13	WP+0,25 BAP	0,00 ^a	1,10 ^{ab}
M14	WP + 0,05 TDZ	100,00 ^c	N.A.
M15	WP + 0,1 TDZ	100,00 ^c	N.A.

Nota: Los valores con letras similares no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según análisis LSD Fisher. N.A. significa no aplica.

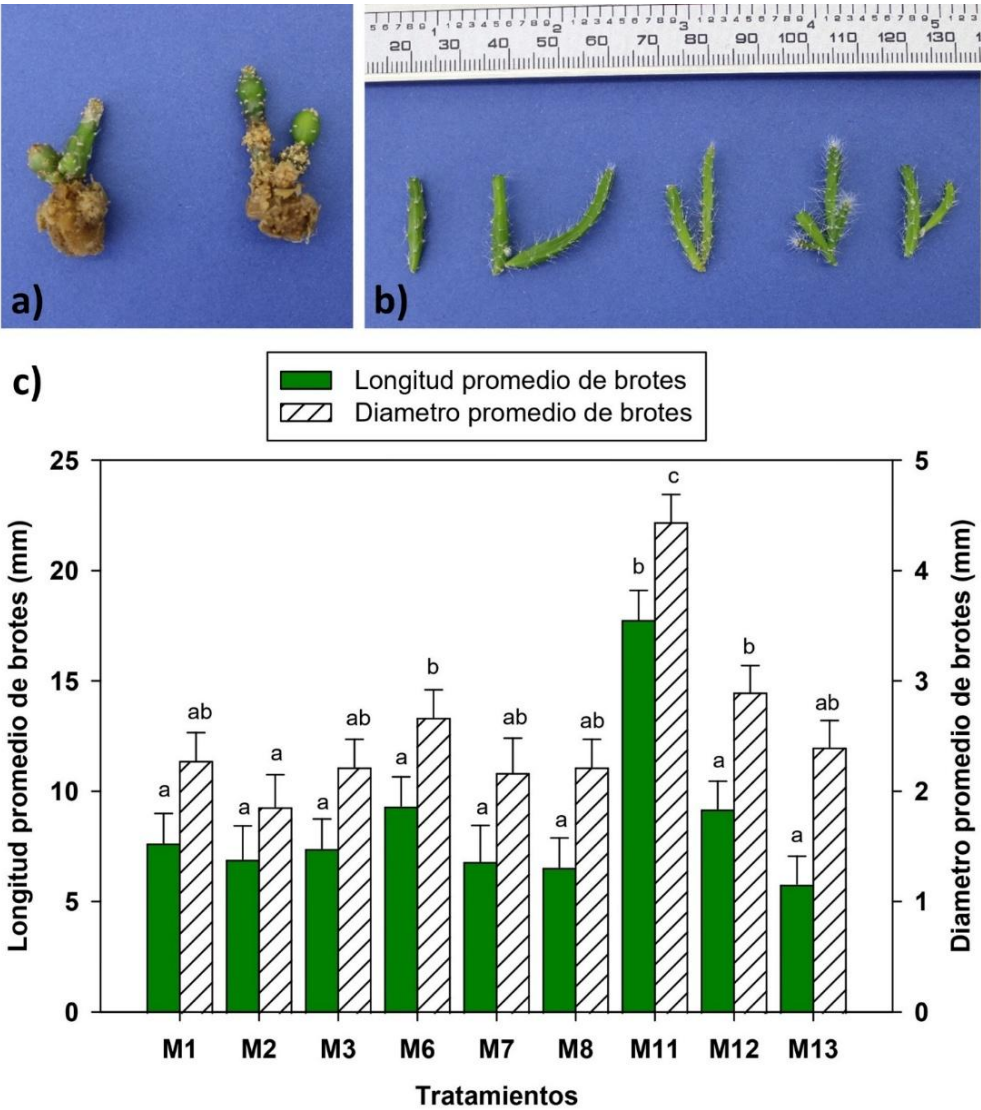


Figura 4. Inducción de brotes de *H. guatemalensis*. a) Explantes con formación de callos. b) Explantes con y sin desarrollo de brotes. c) Efecto de diferentes tratamientos sobre la longitud y diámetro promedio de brotes. Los valores con letras similares no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según análisis LSD Fisher.

3.3. Inducción de raíces

Se observó que todos los tratamientos indujeron la formación de raíces a los 14 días, con un mínimo del 60% de explantes enraizados (Figura 5). Al cabo de 56 días, todos los tratamientos alcanzaron un porcentaje de enraizamiento entre el 90% y el 100%, sin mostrar diferencias significativas entre ellos. En contraste, **Bozkurt et al. (2020)**, al emplear concentraciones de 0,5 mg/L y 1 mg/L de AIB, reportaron porcentajes de enraizamiento del 50% y 90%, respectivamente, en explantes de *American Beauty* después de seis semanas de evaluación. Estos resultados difieren de los obtenidos en el presente estudio, donde los tratamientos empleados demostraron ser más efecti-

vos, logrando mayores porcentajes de enraizamiento en menor tiempo.

Los tratamientos E3, E4, E10 y E11 mostraron la mayor cantidad de raíces por explante (Figura 6a) con valores de 4,67; 4,78; 4,80 y 4,80, respectivamente, mientras que el tratamiento E1 presentó el menor número de raíces; dichos resultados son inferiores a los reportados por **Fan et al. (2013)** quienes, al emplear auxinas (AIB, NAA, AIA) de manera individual en concentraciones de 0,4, 0,8 y 1,6 μM en explantes de *H. undatus*, obtuvieron entre 5,2 y 8,6 raíces por explante, esta diferencia podría estar relacionada tanto con la variedad utilizada como con las condiciones específicas de cultivo.

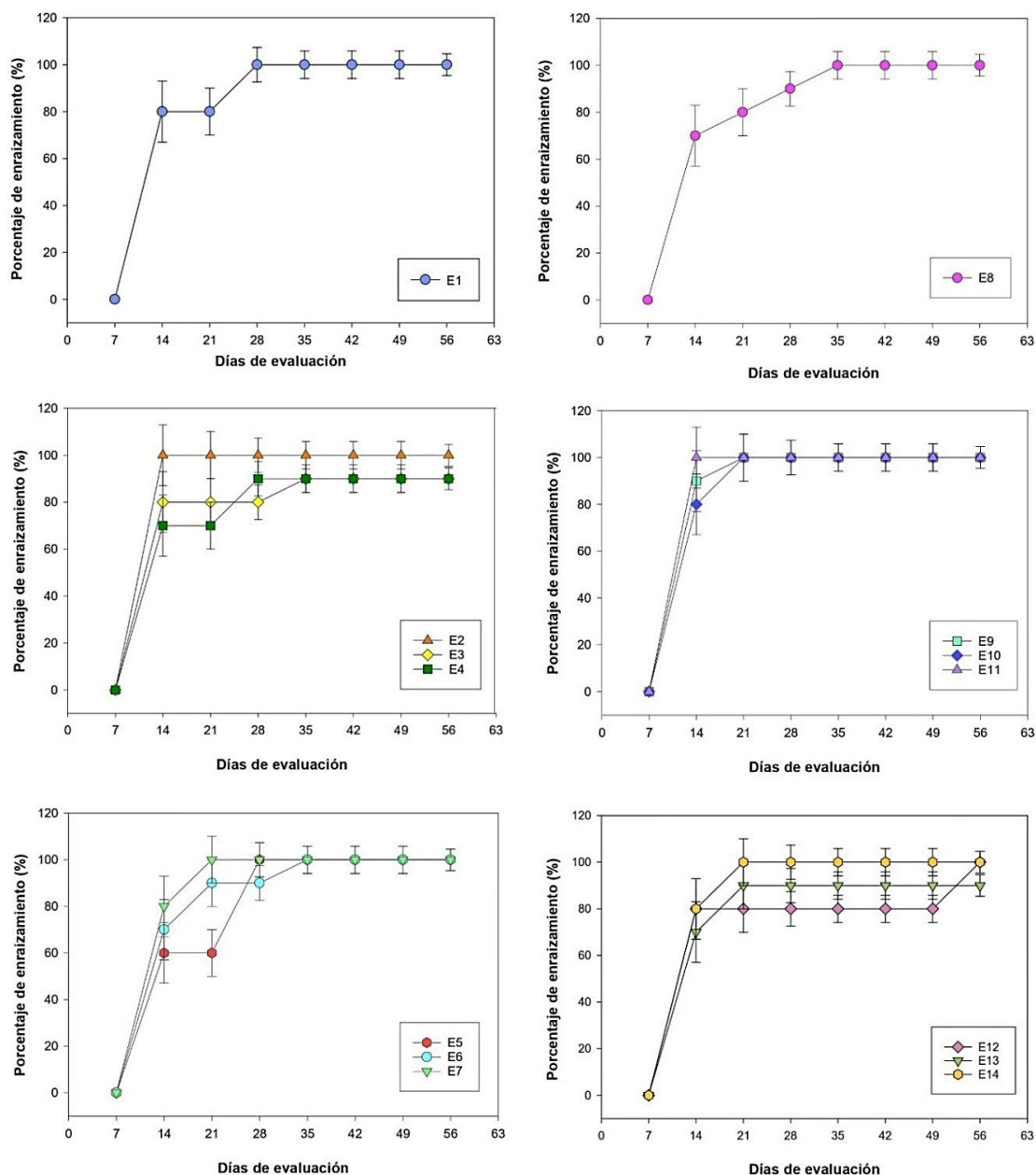


Figura 5. Porcentaje de enraizamiento obtenido semanalmente, para cada uno de los tratamientos evaluados.

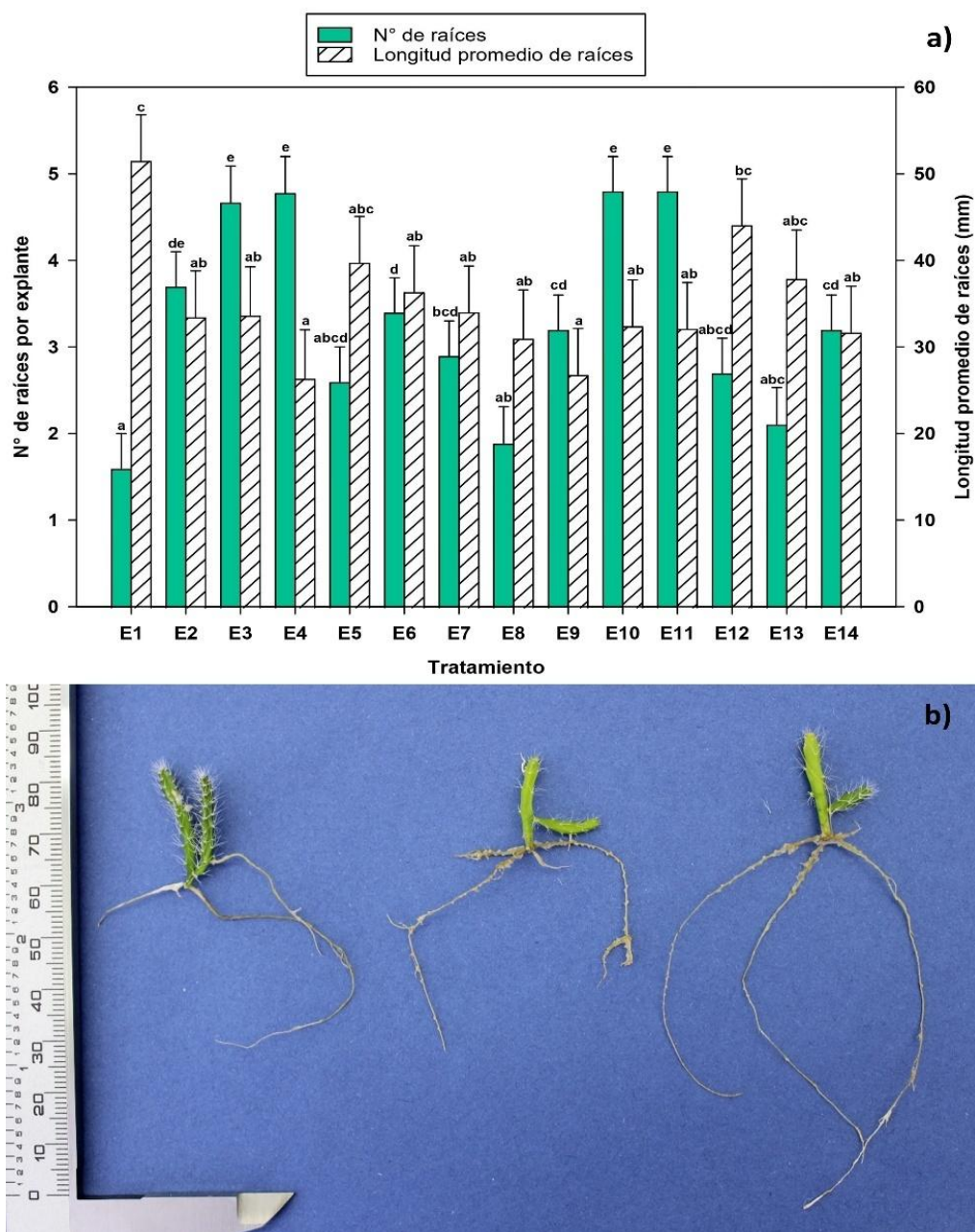


Figura 6. Inducción de raíces de *H. guatemalensis*. a) Efecto de diferentes tratamientos sobre el número y longitud promedio de raíces. b) Desarrollo normal de raíces. Los valores con letras similares no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según análisis LSD Fisher.

En cuanto a la longitud promedio de raíces el tratamiento E1 presentó el mayor valor, mostrando que conforme aumenta la longitud, disminuye el número de raíces, esto es consistente con lo reportado por [Lee & Chang \(2022\)](#), quienes obtuvieron longitudes más largas (84,38 mm) y el menor promedio de raíces por explante (1,6) en medio MS sin la adición de reguladores. Ningún tratamiento presentó formación de callos en la base, además de permitir el desarrollo de brotes con normalidad (Figura 6b).

3.4. Aclimatación

El porcentaje de supervivencia más elevado se presentó con los tratamientos P1 y P2, los cuales se componían de perlita y turba en proporción 1:1 y 2:1 respectivamente, mientras que el tratamiento P3 en proporción 3:2, presentó el menor porcentaje de supervivencia (Tabla 6). Por otro lado, en cuanto a la longitud del cladodio principal, los tratamientos empleados no presentaron diferencias significativas (Figura 7a), mientras que, para el diámetro, los tratamientos P1 y P3 presentaron los mayores valores

(3 y 2,72 mm respectivamente), mostrando diferencia significativa con el tratamiento P2 (1,97 mm). Varios autores han reportado porcentajes iguales o superiores al 90% de supervivencia de explantes de diferentes variedades de pitahaya empleando sustratos ricos en materia orgánica suplementados con materiales que permiten su aireación (Bozkurt et al., 2022; Chongloi et al., 2023; Viñas et al., 2012). Así también, la adaptación rápida luego de realizar el transplante se ha asociado al metabolismo CAM de las cactáceas y a su cutícula altamente desarrollada (Malda et al., 1999), incluso en explantes multiplicados en sistemas de inmersión temporal (Martínez Arroyo et al., 2023). En la presente investigación, se ha evidenciado que un sustrato con un buen drenaje y materia orgánica permiten el desarrollo de *H. guatemalensis* incrementando el porcentaje de supervivencia y permitiendo su desarrollo (Figura 7b).

Tabla 6
Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de supervivencia de *H. guatemalensis*

N°	Tratamiento	n	Porcentaje de supervivencia (%)
1	P1	10	100,00 ^b
2	P2	10	100,00 ^b
3	P3	10	70,00 ^a

Nota: Los valores con letra similar no son significativamente diferentes (p > 0,05) según análisis LSD Fisher.

4. Conclusiones

La presente investigación reporta la regeneración *in vitro* de pitahaya (*H. guatemalensis*) empleando areolas para generar clones idénticos del material

vegetal de partida, hasta lograr su aclimatación en vivero. El medio de cultivo MS suplementado con diferentes concentraciones de BAP, permitió la regeneración de brotes, a diferencia del medio de cultivo sin adición de regulador de crecimiento o con concentraciones diferentes de TDZ, que no generaron brotes. La inducción de brotes con mayor longitud y diámetro se obtuvo con medio de cultivo WPM sin adición de reguladores de crecimiento, el cual no había sido reportado en estudios previos para la propagación de pitahaya. Por otro lado, la inducción de raíces, en menor tiempo y mayor número de raíces se logró con medio de cultivo suplementado con 0,25 AIB y 0,5 AIB, mientras que el tratamiento control generó explantes con mayor longitud de raíces. Finalmente se alcanzó la supervivencia del 100% de cladodios de pitahaya obtenidos *in vitro* empleando una mezcla de perlita y turba (1:1), así como los mejores valores de longitud y diámetro. Las plantas de *H. guatemalensis* obtenidas deben continuar siendo evaluadas hasta su traslado a campo definitivo en cuanto a sus características morfoagronómicas.

Agradecimientos
Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) a través del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) por la subvención del trabajo en el marco del concurso "E041-2022-02 "Proyectos de Investigación Aplicada" [PE501080054 -2022]. Al Instituto Tecnológico de la Producción (ITP) - CITE Agroindustrial Unidad Técnica Huaura, por la disposición de sus instalaciones y gestiones para la ejecución del presente trabajo. Finalmente, se expresa gratitud a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por su rol como unidad ejecutora y por el soporte brindado en el desarrollo y gestión del proyecto.

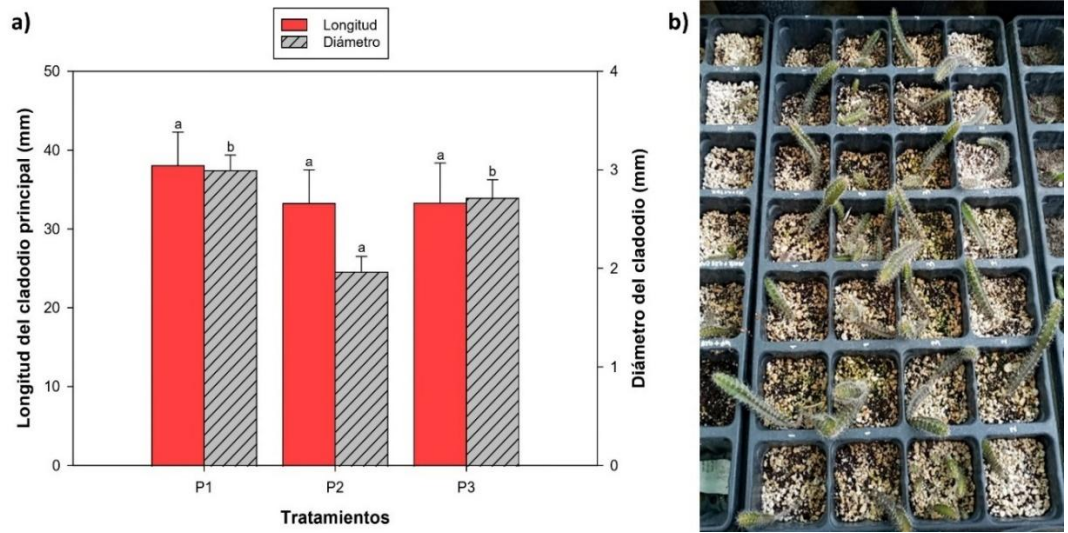


Figura 7. Aclimatación de *H. guatemalensis*. a) Efecto de diferentes tratamientos sobre la longitud del cladodio principal y el diámetro. (b) Cladodios desarrollados luego de 4 meses de endurecimiento. Los valores con letras similares no son significativamente diferentes (p > 0,05) según análisis LSD Fisher.

Contribución de los autores

E. E. Canales-Carrera: Conceptualización, análisis formal, validación, metodología, redacción – borrador original. **B. G. Navarro-Sandoval:** Conceptualización, adquisición de financiación, investigación, metodología, supervisión, redacción – revisión y edición. **M. Leiva Melgarejo:** Curación de datos, análisis formal, investigación. **R. Príncipe Jara:** Curación de datos, investigación. **A. P. Campos Julca:** Administración del proyecto, recursos. **L. A. Goñy Ameri:** Administración del proyecto, supervisión.

ORCID

E. E. Canales-Carrera  <https://orcid.org/0000-0001-5263-066X>
 B. G. Navarro-Sandoval  <https://orcid.org/0000-0002-2821-2836>
 M. Leiva Melgarejo  <https://orcid.org/0009-0006-6110-9749>
 R. E. Príncipe Jara  <https://orcid.org/0009-0005-3080-5904>
 Á. P. Campos Julca  <https://orcid.org/0000-0002-1418-6104>
 L. A. Goñy Ameri  <https://orcid.org/0000-0001-9468-8253>

Referencias bibliográficas

- Amorim, T. A., de Brito Araujo Carvalho, A. J., da Silva Figueiredo, L., Lima, M. dos S., Sarinho, A. M., Santos, N. C., Lisboa, H. M., Souza Gusmão, T. A., & de Pereira Gusmão, R. (2025). Structure-function relationship and antioxidant mechanisms of pectin from red and white pitaya peels for functional food applications. *Food Hydrocolloids*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2025.111455>
- Bouzroud, S., El Maaiden, E., Sobeh, M., Devkota, K. P., Boukcm, H., Kouisni, L., & El Kharrassi, Y. (2022). Micropropagation of Opuntia and Other Cacti Species Through Axillary Shoot Proliferation: A Comprehensive Review. *Front. Plant Sci.*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.926653>
- Bozkurt, T., Inan, S., & Dündar, İ. (2020). Micropropagation of Different Pitaya Varieties. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 13(1), 39–46. <https://ijans.org/index.php/ijans/article/view/496/474>
- Bozkurt, T., Inan, S., Dündar, İ., & Özdemir, S. K. (2022). Effect of Different Plant Growth Regulators on Micropropagation of Some Pitaya Varieties. *Journal of Tropical Life Science*, 12(2), 183–190. <https://doi.org/10.11594/jtls.12.02.04>
- Chhetri, S., Hasan, M. A., & Tamang, A. (2021). Influence of varying length of stem cutting and IBA concentrations on root and shoot growth in Dragon Fruit cv Giant White (*Hylocereus undatus*). *Environment and Ecology*, 39(4A), 1114–1118. <https://www.researchgate.net/publication/359857530>
- Chongloi, L., Gunnaiah, R., Hipparagi, K., Guranna, P., Prakasha, D. P., Chittapur, R., & Kamble, A. (2023). Optimization of low-cost potting mixture for hardening of *in vitro* raised plants of dragon fruit. *Journal of Applied Horticulture*, 25(3), 286–290. <https://doi.org/10.37855/jah.2023.v25i03.51>
- Cortés-Olmos, C., Guerra-Sandoval, V. M., Guíjarro-Real, C., Pineda, B., Fita, A., & Rodríguez-Burruezo, A. (2025). Response to *In Vitro* Micropropagation of Plants with Different Degrees of Variegation of the Commercial *Gymnocladium* cv. Fancy (Cactaceae). *Plants*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/plants14071091>
- Dewir, Y. H., Habib, M. M., Alaizari, A. A., Malik, J. A., Al-Ali, A. M., Al-Qarawi, A. A. A., & Alwahibi, M. S. (2023). Promising Application of Automated Liquid Culture System and Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Large-Scale Micropropagation of Red Dragon Fruit. *Plants*, 12(5), 1037. <https://doi.org/10.3390/plants12051037>
- Espinosa-Leal, C. A., Puente-Garza, C. A., & García-Lara, S. (2018). *In vitro* plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta*, 248, 1–18. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2910-1>
- Fan, Q. J., Zheng, S. C., Yan, F. X., Zhang, B. X., Qiao, G., & Wen, X. P. (2013). Efficient regeneration of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) and an assessment of the genetic fidelity of *in vitro*-derived plants using ISSR markers. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(5), 631–637. <https://doi.org/10.1080/14620316.2013.11513017>
- Gauer, P. C., Ferreira, A. C. V., Siqueira, M. S., Gimenes-Junior, H., Abe, H. A., Fantini-Hoag, L., Godoy, A. C., & Honorato, C. A. (2025). Hydroalcoholic extract of pitaya (*Hylocereus guatemalensis*) supplied in the diet for blue Betta splendens and its effects on fish pigmentation. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 97(2). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202520240212>
- Hua, Q., Chen, P., Liu, W., Ma, Y., Liang, R., Wang, L., Wang, Z., Hu, G., & Qin, Y. (2015). A protocol for rapid *in vitro* propagation of genetically diverse pitaya. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 120, 741–745. <https://doi.org/10.1007/s11240-014-0643-9>
- Lee, Y. C., & Chang, J. C. (2022). Development of an Improved Micropropagation Protocol for Red-Fleshed Pitaya ‘Da Hong’ with and without Activated Charcoal and Plant Growth Regulator Combinations. *Horticulturae*, 8(2), 104. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020104>
- Liaotrakoon, W. (2013). *Characterization of dragon fruit (Hylocereus spp.) components with valorization potential* [PhD thesis]. Ghent University.
- Malda, G., Backhaus, R. A., & Martin, C. (1999). Alterations in growth and crassulacean acid metabolism (CAM) activity of *in vitro* cultured cactus. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 58, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1006377206855>
- Marcotrigiano, M., McGlew, S. E., Hackett, G., & Chawla, B. (1996). Shoot regeneration from tissue-cultured leaves of the American cranberry (*Vaccinium macrocarpon*). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44, 195–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00048524>
- Martínez Arroyo, M. C., Mancilla-Álvarez, E., Spinoso-Castillo, J. L., & Bello-Bello, J. J. (2023). Evaluation of the effect of different culture systems on photomixotrophic capacity during *in vitro* multiplication of pitahaya (*Hylocereus undatus*). *South African Journal of Botany*, 159, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.06.013>
- Menezes, T. P., Gomes, W. de A., Pio, L. A. S., Pasqual, M., & Ramos, J. D. (2012). Micropropagação e endoreduplicação em pitaya vermelha, *Hylocereus undatus* HAW. *Bioscience Journal*, 28(6), 868–876.
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). *Exotic Fruits*, 339–349. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00045-9>
- Mohamed-Yasseen, Y. (2002). Micropropagation of pitaya (*Hylocereus undatus* Britton et Rose). *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 38(5), 427–429. <https://doi.org/10.1079/IVP2002312>
- Navarro-Sandoval, B. G., & Canales-Carrera, E. E. (2021). Efecto de diferentes concentraciones de benzilaminopurina (BAP) sobre el establecimiento *in vitro* de pitahaya (*Hylocereus guatemalensis*). *Revista De Innovación Y Transferencia Productiva*, 2(1), e002. <https://doi.org/10.54353/ritp.v2i1.e002>
- Phillips, G. C., & Garda, M. (2019). Plant tissue culture media and practices: an overview. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 55(3), 242–257. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09983-5>
- Qin, J., Wang, Y., He, G., Chen, L., He, H., Cheng, X., Xu, K., & Zhang, D. (2017). High-efficiency micropropagation of dormant buds in spine base of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) for industrial breeding. *International Journal of Agriculture and Biology*, 19(1), 193–198. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0264>
- Rodrigues, M. A., da Silveira, F. A., Moreira, R. A., Pádua, M. S., Pinto, J. E. B. P., Pio, L. A. S., dos Santos, D. N., de Sousa Bueno Filho, J. S., & Reis, L. A. C. (2022). Regeneration of pitaya by indirect organogenesis evaluated by scanning electron microscopy and flow cytometry. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 57. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02312>

- Salas, L., Foroughbackch, R., Díaz, M., Ávila, M., & Flores, A. (2011). Germinación *in vitro* de cactáceas, utilizando zeolita como sustrato alternativo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 565–575.
- Shah, K., Chen, J., Chen, J., & Qin, Y. (2023). Pitaya Nutrition, Biology, and Biotechnology: A Review. *Int. J. Mol. Sci.*, 24. <https://doi.org/10.3390/ijms241813986>
- Trivellini, A., Lucchesini, M., Ferrante, A., Massa, D., Orlando, M., Incrocci, L., & Mensuali-Sodi, A. (2020). Pitaya, an attractive alternative crop for mediterranean region. *Agronomy*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/agronomy10081065>
- Vargas Gutiérrez, K., & López Montañez, R. N. (2020). *Guía técnica del cultivo de pitahaya (Hylocereus megalanthus) en la región Amazonas* (Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Ed.).
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Viñas, M., Fernández-Brenes, M., Azoifeifa, A., & Jiménez, V. M. (2012). *In vitro* propagation of purple pitahaya (*Hylocereus costaricensis* [F.A.C. Weber] Britton & Rose) cv. Cebra. *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant*, 48(5), 469–477. <https://doi.org/10.1007/s11627-012-9439-y>
- Wan Anuar, W. N. H., Tan, S. H., Shiekh Mahmud, S. H. R., Mior Norazmi, W. N. B., & Engku Safruddin, E. F. S. (2019). Enhancement effect of BAP and spent mushroom compost in micro-propagation of Sabah snake grass. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 15(4), 190–197. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2019.190.197>
- Yasmin, A., Sumi, M. J., Akter, K., Rabbi, R. H. M., Almoallim, H. S., Ansari, M. J., Hossain, A., & Imran, S. (2024). Comparative analysis of nutrient composition and antioxidant activity in three dragon fruit cultivars. *PeerJ*, 12(7). <https://doi.org/10.7717/peerj.17719>