

EVALUACIÓN DE TAMAÑO DE CLADODIOS Y BIO-ESTIMULANTES DE ENRAIZAMIENTO PARA LA PROPAGACIÓN DE PITAHAYA

Gabriel Garbanzo-León¹, Edgar V. Vega-Villalobos², Jocelyn Rodríguez-Cisneros³, Cesar Urbina-Briceño⁴, Wendy Lázaro-Rojas⁵, Karla Alvarado-Jara⁶, Ronald Barrientos-Bolaños⁷, Krissia Duarte-Ortiz⁸, Jairo Mora-Prendas⁹, Victor Trujillo-Olivas¹⁰, Joselyn Rojas-Varela¹¹

Palabras clave: Hylocereus; brotación; esquejes; hormonas; alometría.

Keywords: Hylocereus; shoots; cuttings; hormone; allometry.

Recibido: 14/12/2020

Aceptado: 15/03/2021

RESUMEN

Introducción. La pitahaya, que pertenece a la familia de las cactáceas, es una fruta exótica de múltiples usos gastronómicos y nutracéuticos, y se consume desde tiempos precolombinos. En Costa Rica su consumo no es tradicional y el cultivo comercial no es muy conocido por los agricultores, por lo que es necesario estimular el interés como cultivo alternativo y económicamente rentable principalmente para la región Chorotega y Región Pacífico Central. **Objetivo.** Evaluar el efecto de diferentes tamaños de cladodios y soluciones naturales (bioestimulantes),

ABSTRACT

Cladode size and rooting biostimulants evaluation for the propagation of dragon fruit. **Introduction.** Dragon fruit, which belongs to the cactacea family, is an exotic fruit with multiple gastronomic and nutraceutical uses, and has been consumed since pre-Columbian times. In Costa Rica its consumption is not traditional and commercial cultivation is not well known by farmers, thus it is necessary to stimulate interest as an alternative and economically profitable crop, mainly for the Chorotega and Central Pacific region. **Objective.** To evaluate the effect

* Autor para correspondencia: Correo electrónico: juan.garbanzo@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, San José, Costa Rica.
 0000-0003-2848-6199.

2 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Departamento de Cultivos, San José, Costa Rica.
 0000-0002-5678-1710.

3 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Control Fitosanitario, Servicio Fitosanitario de Estado, San José, Costa Rica.
 0000-0001-7249-9988.

4 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.
 0000-0001-9305-5059.

5 Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Control Fitosanitario, Servicio Fitosanitario de Estado, San José, Costa Rica.
 0000-0002-8914-446X.

6 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-2385-539X.

7 BioEco, Departamento Técnico y Ventas, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0003-3823-6628.

8 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0001-7808-859X.

9 Universidad de Costa Rica Sede de Guanacaste, Finca Experimental de Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-6195-935X.

10 Inversiones Guanaranja S.A., Departamento de Agronomía, Finca Birmania, Guanacaste, Costa Rica.

 0000-0002-2160-0916.

11 NICOVERDE S.A. Departamento de Producción y Sistema de Gestión Integrado, Alajuela, Costa Rica.

 0000-0002-7647-8698.

sobre el crecimiento, desarrollo de raíces y brotes. **Materiales y métodos.** El experimento se desarrolló en la Finca Experimental de Santa Cruz de la Universidad de Costa Rica, durante 2016 – 2017. Se desarrollaron dos experimentos; en el primero se utilizaron cladodios de 40 cm bajo tres soluciones naturales (agua de pipa, coco y lentejas) a concentraciones de 150, 300 y 600 ml.L⁻¹. En el segundo, se evaluó el tamaño de los cladodios entre los 20 y 110 cm. Todos los cladodios se sembraron durante 60 días en bolsas de vivero (2 L) y luego se midió el largo y ancho del brote, longitud y número de raíces, peso seco y fresco de raíces, y la medida alométrica “LxA”. **Resultados.** La solución con agua de coco a 300 y 600 ml.L⁻¹ mostró 8 cm más de longitud del brote que el testigo, mientras que el agua de pipa a 300 ml.L⁻¹ evidenció el mayor peso seco y fresco de las raíces. Asimismo, se demostró que a un mayor tamaño del cladodio se presenta una mayor brotación. **Conclusión.** Tamaños de cladodios de 400 cm² en LxA (> 60 cm) garantiza el mejor desarrollo de la semilla asexual y los cladodios que presenten un área de 200 y 400 cm² (≈ 30 - 60 cm) son de calidad media.

of different cladode sizes and natural solutions (biostimulants) on growth, root development and shoots. **Material and methods.** The experiment was conducted at the Santa Cruz Experimental Farm of the University of Costa Rica, during 2016 and 2017. Two experiments were developed; in the first, 40 cm cladodes were used under three natural solutions (green coconut water, mature coconut water, and lentil extract) at concentrations of 150, 300 and 600 ml.L⁻¹. In the second, cladode size between 20 and 110 cm was evaluated. All cladodes were sown for 60 days in nursery bags (2 L) and then length and width of the shoots, length and number of roots, dry and fresh weight of roots, and the allometric measurement “LxA” were measured. **Results.** The solution with mature coconut water at 300 and 600 ml.L⁻¹ showed 8 cm longer shoots than the control, while green coconut water at 300 ml.L⁻¹ showed the highest dry and fresh root weight. Likewise, it was shown that a larger cladode size presents greater shoots. **Conclusion.** Cladode size of 400 cm² in LxA (> 60 cm) guarantee the best development of the asexual seed and cladodes with an area of 200 – 400 cm² (≈ 30 - 60 cm) are of medium quality.

INTRODUCCIÓN

Los géneros *Hylocereus* sp. y *Selenicereus* sp. son Cactaceae que se utilizan para la producción de frutas exóticas. Estas plantas conocidas por el nombre de “Pitahaya” o “Dragon fruit”, son cultivadas en regiones tropicales (Flores 2011, Esquivel y Araya 2012). Crecen en regiones estacionalmente secas, su cosecha es anual, ya que su floración activa y fructificación se presentan entre mayo y noviembre de forma natural. Las especies predominantes en Costa Rica son: *H. costaricensis*, *H. stenopterus* y *H. monacanthus* (Bauer 2003) con variaciones de forma fenotípica en algunas estructuras como

colores, grosor, configuración de espinas, areolas o tamaños en las frutas entre otros.

La planta es un cactus de forma epífita o hemiepífita, lo que favorece su adaptabilidad en los sitios donde crece, ya sea en bosques o en superficies compactas (Mizrahi 2014). Las personas agricultoras utilizan comúnmente estructuras para guiar su crecimiento, como tutores vivos que pueden ser árboles con baja cantidad de sombra o muertos como postes de madera o de concreto. La planta al ser un cultivo perenne, necesita tutores de alta resistencia y durabilidad en el tiempo, ya que se han encontrado plantaciones con más de 30 años de existencia en Costa Rica.

El cultivo puede reproducirse sexual y asexualmente. Los agricultores en Costa Rica comercializan los tallos de la pitahaya conocidos comúnmente como cladodios. En ocasiones se utilizan bolsas de viveros para la brotación de raíces; en otras ocasiones utilizan camas en el suelo, o bien se siembran directamente en el terreno posterior a su poda. Los tallos presentan estructuras muy definidas en su dureza y edad. Se clasifican en 4 categorías: a) primarios que son los tallos basales generalmente de la semilla asexual que se utilizó para sembrar la planta; b) secundarios, que corresponden a una continuación de los brotes de los tallos primarios; c) terciarios, correspondientes a los tallos que hacen una bifurcación cuando llegan a la parte superior del tutor vivo o muerto; d) cuaternarios, que brotan de los tallos terciarios, en ocasiones por reacciones de poda o inducción de las yemas por alguna anomalía en tallo terciario, muchos productores les llaman chupones (Suárez 2011). Estos tallos no tienen un tamaño definido, por lo cual se pueden encontrar de distintos tamaños, grosor y aristas (Garbanzo *et al.* 2019).

El uso de los cladodios para el desarrollo de nuevas plantaciones es una práctica común que se utiliza en el país. Es frecuente utilizar diferentes tamaños entre el largo y el grosor de cada tallo, sin embargo, esas características no poseen parámetros de calidad, en donde se establezcan medidas esenciales e ideales para determinar la calidad de las semillas asexuales utilizadas en el cultivo (Flores 2011). Algunas personas autoras mencionaron que el cultivo de la pitahaya no cuenta con medidas estandarizadas para acortar el tiempo de emisión de raíces y la formación uniforme y vigorosas de estas (Habid *et al.* 2006, López y Guido 2002).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tamaños de cladodios y soluciones naturales, sobre el crecimiento, desarrollo de las raíces y brotes en semilla asexual de pitahaya en la zona de Guanacaste, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo se realizó en el periodo 2015 – 2017 en la Finca Experimental de Santa Cruz de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Guanacaste (FESC), localizada en Barrio Limón, dentro de un bosque tropical estacionalmente seco, con coordenadas geográficas de LN 10°17'08" y LO 85°35'30", altitud de 54 msnm, precipitación anual promedio de 1718,8 mm.año⁻¹, temperatura máxima media anual de 32,8°C, mínima de 22,8°C con diferencia media entre máximas y mínimas de 10,0°C, humedad relativa media anual de 75% y velocidades de viento medias anuales de 8,0 km.h⁻¹ (M. Araya. 2013. Promedios mensuales de datos climáticos de la Estación meteorológica UCR-IMN N°. 74053 promedio 18 años, 1995-2012 (correo electrónico; San José, Costa Rica).

Se realizaron 2 experimentos y sus respectivas validaciones con el fin de determinar una recomendación precisa en la calidad de la semilla para siembras en pitahaya. Los tallos utilizados se obtuvieron de plantaciones de *H. costaricensis* y *H. monacanthus* ubicados en la FESC y en plantaciones comerciales en la zona de Liberia Guanacaste. Las plantas madre seleccionadas fueron aquellas que cumplieron con más de 2 años de crecimiento para garantizar una madurez fisiológica del cladodio, además que estuviera libre de patógenos, plagas y de diversos largos y grosores.

Se preparó un sustrato comúnmente utilizado en viveros para la siembra de cladodios semillas de pitahaya, para lo cual se generó una mezcla de 40% de cascarilla de arroz (granza) y un 60% de suelo oscuro (textura franca). Esto con el fin de generar un sustrato con buena aireación, consistencia y poca retención de agua para evitar patógenos. Posteriormente se llenaron bolsas de vivero de 2 L de capacidad y se dejaron por un periodo de 7 días para su estabilización bajo una casa malla. No se esterilizaron ni se realizaron análisis microbiológicos al sustrato, con el fin de simular condiciones similares a la reproducción de plantaciones en la zona.

Efecto de soluciones naturales bioestimulantes en el crecimiento de raíces. Se seleccionaron cladodios de 40 cm independientemente del tipo (Primario, secundarios, terciarios o cuaternarios), que fueron desinfectados con una solución al 100 SL de extracto de semilla de cítricos de efecto fungicida y bactericida en agua a una dosis de 5,0 ml.L⁻¹ de agua durante 7 minutos. Posteriormente fueron colocados en una zona aireada y bajo sombra durante 24 horas para ayudar a la cicatrización.

Para la elaboración de las soluciones bioestimulantes de enraizamiento, se preparó una solución de lentejas, se extrajo agua de coco y de pipa (coco sin madurez fisiológica), utiliza de forma habitual por los agricultores de la zona. El extracto de lentejas se elaboró con una tasa de ese grano en un recipiente al cual se le adicionaron 4 tasas de agua y se dejó reposar por 24 horas. Después ese contenido se licuó, se filtró, se separó lo sólido

de la solución y se colocó en refrigeración. El agua de coco se extrajo de drupas que presentarán una cáscara de coloración oscura, mientras que el agua de pipa se extrajo de drupas recién cosechadas con una coloración verde y que no mostrara desarrollo de endocarpio (cartílago comestible).

Para la preparación de los tratamientos, los extractos fueron diluidos en concentraciones de 150, 300 y 600 ml.L⁻¹ con agua (Tabla 1). Para las secciones que iban a estar en contacto con el sustrato, se sumergió durante 2 minutos para cada solución correspondiente al tratamiento y luego se sembraron los cladodios en las bolsas de vivero (2 L) rellenas con el sustrato. Una vez establecidos los tratamientos los cladodios se dejaron crecer durante 60 días; se realizó un registro de datos y posteriormente se realizó otro ensayo con las mismas dosificaciones, con el fin de efectuar una validación de los datos obtenidos.

Tabla 1. Soluciones naturales utilizadas para la propagación de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en condiciones de vivero. Santa Cruz, Guanacaste. 2015.

Tratamiento	Descripción de los tratamientos	Dosis (ml.L ⁻¹)
Test	Testigo solo agua	0
SL150	Solución a base de lentejas	150
SL300	Solución a base de lentejas	300
SL600	Solución a base de lentejas	600
SAC150	Solución agua de coco	150
SAC300	Solución agua de coco	300
SAC600	Solución agua de coco	600
SAP150	Solución agua de pipa	150
SAP300	Solución agua de pipa	300
SAP600	Solución agua de pipa	600

A los 60 días después de sembrado (dds), se realizó un muestreo destructivo de las plantas. Para mantener la menor destrucción de raíces, se realizó un lavado de los adobes sobre tamiz (14 Merch), con la precaución de no perder raíces durante la ejecución. Se midió el largo de las raíces desde la base del tallo hasta el meristemo de la raíz más larga, con una escala en centímetros.

También se obtuvo el peso fresco de las raíces de cada cladodio y se pesaron con una balanza digital (marca T-Scale, modelo ROW -15++). Adicionalmente las raíces se secaron a 70°C durante 48 horas en un horno (resistencia 1800 Watts, potencia 208v monofásico temperatura 0 – 150 °C) y por último, se obtuvo el peso seco de las raíces, todo el procedimiento se realizó en la FESC.

Efecto del tamaño del cladodio sobre la brotación en las plantas. Para las pruebas de brotación donde se utilizaron distintos tamaños de cladodios, se procedió a seleccionar materiales de distinto grosor y tamaño. Esta prueba consistió en 2 etapas. Experimento A, donde se evaluó la brotación entre 20 y 50 cm de longitud, según el tamaño usado por las personas productoras. Experimento B, se experimentó con cortes entre los 40 y 110 cm. Para ambas pruebas se obtuvieron cladodios frescos, es decir, se cosecharon y se sembraron el mismo día. Estos fueron medidos con

una cinta métrica y cortado según el tamaño correspondiente a cada tratamiento (Tabla 2). Cada cladodio fue desinfectado con un extracto de semilla de cítricos de efecto fungicida y bactericida (100 SL), a una dosis de 5,0 ml.L⁻¹ en mezcla con agua. Individualmente para la sección que estuvo en contacto con el sustrato, fue sumergida durante 7 minutos y se dejó reposar durante 60 minutos antes de ser sembrado en las bolsas de vivero de 2 L. Los cladodios utilizados en ambos experimentos se dejaron crecer durante 60 días y se evaluaron mediante muestreos destructivos.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos utilizados para la propagación de pitahaya roja (*Hylocereus* sp.) en condiciones de vivero. Santa Cruz, Guanacaste. 2015.

Experimento A		Experimento B	
Tratamiento	Longitud de corte (cm)	Tratamiento	Longitud de corte (cm)
Long 20	20	Long 40	40
Long 25	25	Long 50	50
Long 30	30	Long 60	60
Long 35	35	Long 70	70
Long 40	40	Long 80	80
Long 45	45	Long 90	90
Long 50	50	Long 100	100
-	-	Long 110	110

Las variables de crecimiento evaluadas fueron el largo y ancho de los brotes, número, longitud, peso fresco y seco de las raíces por planta a los 60 dds. Para esto se procedió a medir el grosor del brote en las 3 caras del cladodio a partir de una medición ascendente, luego se promediaron los datos para estimar un parámetro

promedio por cladodio. Asimismo, se midió el largo del brote que consistió en medir desde la base del brote hasta el meristemo apical. Para unir ambos factores, se realizó una multiplicación del largo x ancho (LxA) para generar un parámetro ajustado de crecimiento y luego calcular el área foliar mediante la ecuación de regresión:

$Y = 3,00074x + 10,76532$ ($r^2 = 0,97$), donde “X” es el LxA y “Y” es el área foliar (Garbanzo *et al.* 2019).

Adicionalmente, se pesaron las raíces de cada repetición mediante una balanza digital (marca T-Scale, modelo ROW -15++), con el fin de estimar el peso fresco de las raíces. Por último, los brotes y las raíces se secaron a 70°C durante 48 horas y se obtuvo la variable peso seco.

Análisis de los datos. El diseño experimental para todos los experimentos fue un diseño irrestricto completamente al azar, con 10 tratamientos y 10 repeticiones para el experimento de extractos naturales en el crecimiento de raíz, 7 tratamientos con 10 repeticiones para el “experimento A” y 8 tratamientos con 10 repeticiones para el “experimento B” sobre tamaño del cladodio y brotación. Las variables fueron analizadas mediante pruebas de Shapiro Will para determinar la normalidad de los datos y posteriormente fueron sometidos a pruebas estadística de Kruskal Wallis ($\alpha= 0,05$) para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos. También se realizó un análisis de regresión lineal para algunas variables mediante el modelo estadístico:

$$y = \beta + \beta_1 X + \varepsilon$$

Donde

y = variable dependiente “peso seco del brote”.

X = variable independiente “LxA semilla cladodio”.

β y β_1 constantes del modelo.

ε = error.

Todos los datos fueron calculados mediante el programa estadístico Infostat versión 2017.

RESULTADOS

Efecto de soluciones naturales en el crecimiento de raíces de los cladodios. Las soluciones naturales de lentejas, agua de coco y pipa mostraron un aumento en el desarrollo de raíces (Tabla 3). Al evaluar el primer experimento la longitud de raíces brotadas de los cladodios no mostró un efecto significativo, solo una tendencia de mayor longitud ($> 14,20$ cm) en las soluciones de agua de coco, pipa y lentejas en comparación al testigo (11,25 cm). Los tratamientos SAC600, SAPI50, SAP600, SL150 y SL300 mostraron un mayor número de raíces ($> 6,20$) significativamente ($p<0,01$) que las demás soluciones ($< 5,70$) y el agua (3,60). Las soluciones SAC300 y SL150 mostraron el mayor peso fresco de raíz (7,90 y 6,05 g) que los demás tratamientos, mientras que el peso seco de raíces no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 3. Efecto y validación de 3 distintas concentraciones de lentejas, agua de coco y agua de pipa sobre el crecimiento de raíces en cladodios sembrados en viveros de pitahaya. Santa Cruz, Guanacaste.

Tratamientos	Longitud raíz (cm)	Número raíces (u)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
Experimento 1				
Test (agua)*	11,25 ⁺	3,50 ab	2,53 a	1,31
SL150	23,10	6,20 bc	6,02 bc	3,03
SL300	20,80	6,50 bc	4,35 b	2,36
SL600	14,20	3,10 a	2,89 ab	1,56
SAC150	19,20	5,10 ab	5,03 b	2,51
SAC300	21,15	5,10 ab	3,77 ab	2,29
SAC600	20,20	7,60 c	7,90 c	3,48
SAP150	18,25	7,90 c	4,74 b	2,68
SAP300	20,35	5,70 ab	3,81 ab	1,93
SAP600	26,20	6,80 bc	3,88 ab	2,36
Shap. Wilks	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value	< 0,1316	< 0,0093	< 0,0551	< 0,2203
Validación				
Test	23,58 a	3,17 ab	3,28 a	0,37 a
SL150	23,42 a	4,50 de	4,24 ab	0,59 bc
SL300	25,08 a	5,33 e	4,86 ab	0,68 bc
SL600	30,92 cd	2,58 a	5,09 bc	0,60 bc
SAC150	26,58 ab	3,75 cd	4,11 ab	0,54 ab
SAC300	31,75 d	3,83 cd	5,04 bc	0,70 bc
SAC600	31,08 d	4,67 de	4,75 ab	0,66 bc
SAP150	27,67 bc	3,83 cd	5,51 bc	0,81 cd
SAP300	25,50 ab	5,33 e	9,76 d	1,18 d
SAP600	25,83 ab	3,50 ab	6,94 cd	0,74 cd
Shap. Wilks	0,290	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value	< 0,014	< 0,001	< 0,001	< 0,001

* Test= control 100% agua, SL= solución de lentejas, SAC= soluciones de agua de coco, SAP= solución de agua de pipa. En concentraciones de 150, 300 y 600 mL.L⁻¹.

+ Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ($\alpha = 0,05$).

Se realizó una validación del efecto de los extractos naturales en el crecimiento de las raíces de los cladodios y se observó un mayor incremento con el uso de las soluciones. Los tratamientos con soluciones SAC300 (31,75 cm) y SAC600 (31,08 cm) presentaron mayor longitud de raíces en comparación al testigo (23,58 cm). Mientras que la solución SAP300 y SL300 mostró la mayor presencia de raíces (>5,33) en comparación al resto de las soluciones. En la biomasa de las raíces, la solución SAP300 mostró el mayor peso fresco y seco (9,76 y 1,18 g) significativamente ($p < 0,01$) en comparación a los demás y el tratamiento testigo (100% agua) fue el que mostró menos biomasa de raíces.

Efecto del largo del cladodio sobre la brotación en viveros de pitahaya. El tamaño del cladodio tuvo un efecto altamente significativo ($p < 0,001$) en el crecimiento de los brotes. Al

evaluar el tamaño de las semillas de cladodios de pitahaya se encontró una relación proporcional creciente ($coe = 0,98$, $r^2 = 0,96$) entre la longitud del cladodio y la variable largo por ancho (LxA) en la semilla (Tabla 4). En el experimento A, se encontró que los cladodios con una longitud mayor de 40 cm mostraron el mayor largo de brote (>50,25 cm) significativamente ($p < 0,01$) en comparación al largo de los brotes (<30,20 cm) de los cladodios por debajo de 35 cm de longitud. Este mismo comportamiento se encontró en las variables: ancho (>4,47 cm), LxA (>298 cm²) y área foliar del brote (>728,5 cm²) significativamente ($p < 0,01$). En el experimento B, se encontró que la brotación en los cladodios de 90 cm de largo (o un LxA mayor a 500 cm²) mostró el mayor largo (>63 cm), ancho (>8,25 cm), LxA (>587 cm) y área foliar del brote (>7570 cm²) en comparación al resto de los tratamientos.

Tabla 4. Efecto del largo del cladodio sobre la emergencia del brote en viveros de pitahaya. Santa Cruz, Guanacaste.

Tratamiento	LxA Cladodio (cm ²)	Largo Brote (cm)	Ancho Brote (cm)	LxA Brote (cm ²)	Área foliar Brote (cm ²)
----- Experimento A -----					
Long 20*	73	19,45 a ⁺	2,70 a	53,73 a	172,01 a
Long 25	90	28,77 a	2,85 a	81,37 a	254,89 a
Long 30	104	24,40 a	2,85 a	76,78 a	241,12 a
Long 35	113	30,20 a	3,92 ab	111,01 ab	343,82 ab
Long 40	140	50,25 b	4,47 bc	298,07 bc	878,15 bc
Long 45	167	51,50 b	4,58 bc	239,19 bc	728,50 bc
Long 50	200	53,70 b	5,85 c	262,85 c	799,49 c
Shap. Wilks		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value		< 0,002	< 0,004	< 0,001	< 0,001
----- Experimento B -----					
Long 40	238	38,00 a	5,99 ab	243,19 a	740,51 a
Long 50	268	46,86 ab	5,71 a	316,67 a	961,01 a
Long 60	394	45,00 a	6,94 ab	343,78 ab	1042,36 ab
Long 70	402	46,57 a	7,40 ab	423,47 ab	1279,94 ab
Long 80	445	58,71 ab	6,64 ab	716,50 ab	2156,73 ab
Long 90	514	131,43 c	17,51 c	2519,26 c	7570,41 c
Long 100	562	63,00 ab	8,25 ab	587,36 ab	1773,27 ab
Long 110	610	93,57 bc	12,75 bc	1422,92 bc	4280,58 bc
Shap. Wilks		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-value		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

*Long= longitud del cladodio a: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 cm. +Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ($\alpha= 0,05$).

Los cladodios al presentar mayor tamaño en función de su ancho y largo tienen un comportamiento a mayor acumulación de biomasa fresca y seca en sus brotes. (Figura 1). Las regresiones lineales demostraron que el largo de la semilla tiene

un efecto significativo ($r^2 = 0,86$) en la acumulación de biomasa seca (peso seco de brote), este mismo efecto se encontró cuando se compararon ($r^2 = 0,83$) el ancho y el largo (LxA) de los cladodios semilla con relación en el peso seco del brote.

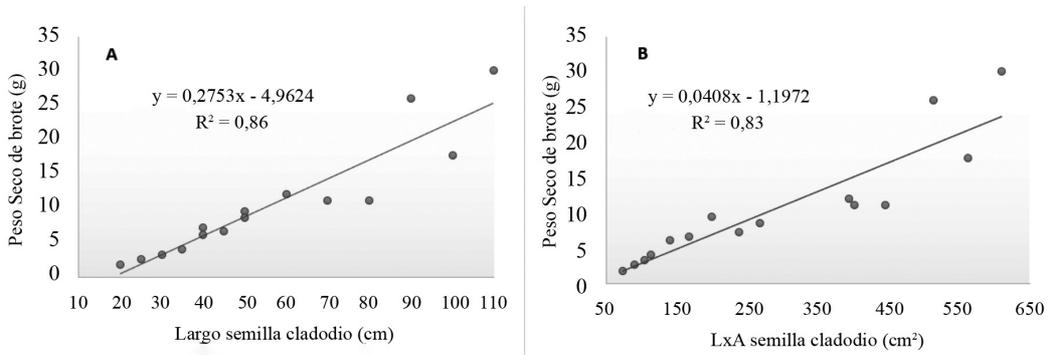


Figura 1. Regresión lineal del largo (A) y LxA (B) de semilla cladodio en la producción de biomasa seca de brote de pitahaya en viveros. Santa Cruz, Guanacaste.

Los cladodios al presentar mayor ancho y largo presentaron un comportamiento creciente en la biomasa de raíces (Tabla 5). Al evaluar el efecto del tamaño de cladodios semilla entre 20 y 50 cm de longitud en el crecimiento de las raíces, se encontró un mayor peso fresco y seco en las raíces ($p < 0,01$). Esto se demostró al analizar estadísticamente

los tamaños de 45 y 50 cm en comparación a semillas de menor longitud. En el experimento B, al analizar los tamaños entre 40 y 110 cm de longitud, se encontró que las semillas superiores a 90 cm mostraron el mayor peso fresco y seco de raíces ($p < 0,01$) en comparación a tamaños de cladodios inferiores 80 cm en su longitud.

Tabla 5. Efectos del largo del cladodio sobre el crecimiento de las raíces de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en viveros a los 60 días después de siembra.

Experimento A				Experimento B			
Tratamientos	LxA Cladodio (cm ²)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)	Tratamientos	LxA Cladodio (cm ²)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco raíz (g)
Long 20*	73	1,13 a+	0,39 a	Long 40	238	21,57 c	2,80 a
Long 25	90	1,43 ab	0,54 b	Long 50	268	25,59 c	3,83 ab
Long 30	104	1,77 bc	0,74 b	Long 60	394	49,67 b	6,82 bc
Long 35	113	2,34 de	1,05 c	Long 70	402	35,72 bc	4,49 ab
Long 40	140	2,09 cd	0,97 c	Long 80	445	50,26 b	6,53 bc
Long 45	167	2,52 de	1,11 d	Long 90	514	67,40 a	9,16 de
Long 50	200	3,56 e	1,54 d	Long 100	562	70,82 a	13,94 e
-	-	-	-	Long 110	610	71,33 a	11,57 de
Shap. Wilks	-	< 0,001	< 0,015	Shap. Wilks	-	< 0,001	< 0,015
p-value	-	< 0,001	< 0,001	p-value	-	< 0,001	< 0,001

*Long= longitud del cladodio a: 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 cm.

+Medias seguidas por una misma no representan diferencias estadísticas según la prueba de Kruskal Wallis ($\alpha = 0,05$).

DISCUSIÓN

Se encontró que las soluciones naturales tuvieron un efecto positivo en el crecimiento de las raíces y brotación de los cladodios de pitahaya en viveros. Se observó que el agua de coco en solución mostró un incremento significativo en el crecimiento de raíces y brotes. El uso de estos productos es muy utilizado por productores en las zonas rurales para estimular el desarrollo de raíces en esquejes y semillas con el fin de evitar el uso de insumos sintéticos. Algunas investigaciones han utilizado el agua de coco para la germinación y estimulación de los brotes, donde encontraron una mayor germinación y brotación al usar agua de coco en comparación con de ácido giberélico (100 mg.L^{-1}) y escarificación (Patiño *et al.* 2011). Otras personas autoras han comparado el efecto del agua de coco mezclado con otros extractos naturales (sábila), e identificaron que el agua de coco y el gel de sábila mostraron las mayores brotaciones significativamente a los 60 dds (Alvarado y Munzón 2020). Está bien demostrado el efecto del agua de coco en la estimulación del crecimiento de las células en los tejidos, debido a que contiene concentraciones importantes de auxinas, ácido abscísico, giberelina y citoquininas (Ge *et al.* 2004, Yong *et al.* 2009, García 2008, Quinto *et al.* 2009, Bertolini *et al.* 2014, Malsawmkimi-Ringphawan y Alila 2019). Estas hormonas están asociadas a la estimulación en los meristemos apicales en los procesos de elongación, división y diferenciación celular, que promueven el crecimiento de las raíces y brotes en las plantas (Chapman y Estelle 2009, Zhao 2010, Bellini *et al.* 2014, Alcántara *et al.* 2019).

Dicho aspecto podría apuntar al efecto positivo que mostró el agua de coco en el aumento del número de raíces y peso en los cladodios con soluciones concentradas de agua de coco y pipa. Es importante mencionar que este trabajo no identificó cualitativamente los compuestos presentes (hormonas) en las distintas soluciones (lentejas, agua de pipa y coco), sin embargo, la validación mostró un respaldo estadísticamente significativo ($p < 0,01$) sobre el efecto en el crecimiento de raíces y la brotación en cladodios de pitahaya.

Se encontró que los cladodios de pitahaya de mayor tamaño presentaron una mejor brotación y crecimiento. Al analizar el crecimiento de distintos tamaños de cladodios en vivero se encontró una relación proporcional al comparar el tamaño o el largo por ancho del cladodio (LxA) con la brotación. Con la regresión lineal se demostró que tanto el tamaño como el grosor tienen un efecto significativo ($p < 0,01$) en la brotación. Es probable que los cladodios de mayor dimensión guarden mayor cantidad de asimilados de reserva que ayude al esqueje a brotar con mayor rapidez (Álvarez-Herrera *et al.* 2007, Melnyk 2017). Balaguera *et al.* (2010) encontraron el mismo efecto al usar tamaños de 40 cm y 60 cm en *Selenicereus megalanthus* Haw, (pitahaya de frutos amarillos) con el uso de dosis crecientes de ácido indolbutírico. Asimismo, es probable que los cladodios usados como semillas con mayor cantidad de cm^2 de exposición (o LxA) tienen mayor probabilidad de fotosintetizar, ya que esta estructura cumple la función de generar los fotoasimilados en las plantas de pitahaya (Mizrahi *et al.* 1997, Mizrahi 2014, Li *et al.* 2019).

El uso del largo por ancho podría ser una alternativa estandarizada para evaluar la calidad de la semilla asexual del cladodio. Esta medida se ha desarrollado y usado en otros trabajos para la cuantificación del crecimiento es una variable alométrica de investigación para cuantificar el desarrollo del crecimiento en los cladodios de *Hylocereus* sp. (Garbanzo *et al.* 2019). Los parámetros más usados para la comercialización y reproducción de los cladodios es la longitud o tamaño, sin embargo, según el manejo del cultivo los cladodios en términos generales presentan tendencias a grosores heterogéneos. Es por esta razón que una buena referencia para valorar la calidad de la semilla asexual de pitahaya se encontraría con el uso del largo por el ancho (LxA), es decir un tamaño superior a 400 cm^2 garantizaría un mejor desarrollo de la semilla asexual, mientras que un cladodio entre $200 - 400 \text{ cm}^2$ se categoriza de calidad media y un cladodio menor a 200 cm^2 de calidad baja. Este mismo efecto sobre el tamaño del esqueje se ha encontrado en la reproducción de otras especies (Álvarez-Herrera *et al.* 2007, Tate y Page 2018,

Rianawati 2020). En síntesis, las calidades en los cladodios semillas mostraron un comportamiento distinto en las siembras en campo, para rescatar que los de mayor tamaño, presentaron un desarrollo más rápido de las plantas de pitahaya.

LITERATURA CITADA

- Alcantara, J; Acero, J; Alcántara, J; Sánchez, R. 2019. Principales Reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. NOVA 17(32):109-129.
- Alvarado, A; Munzón, M. 2020. Evaluación de la efectividad de gel de sábila y agua de coco como enraizantes naturales en diferentes sustratos para propagación asexual de árboles de *Ficus benjamina*. Agronomía Costarricense 44(1):65-77.
- Álvarez-Herrera, J; Rodríguez, S; Chacón, E. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del Romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Agronomía Colombiana 25(2):224-230.
- Balaguera, H; Morales, E; Almanza, P; Balaguera, W. 2010. El tamaño del cladodio y los niveles de auxina influyen en la propagación asexual de pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 4(1):33-42.
- Bauer, R. 2003. A synopsis of the tribe *Hylocereus* F. Buxb. Cactaceae Syst. Initiat. 17:3-63.
- Bellini, C; Pacurar, D; Perrone, I. 2014. Adventitious Roots and lateral Roots: similarities and differences. Annu. Rev. Plant. Biol. 65(1):639-666.
- Bertolini, V; Damon, A; Rojas, A. 2014. Quelato de hierro y agua de coco en la germinación in vitro de *rossioglossum grande* (Orchidaceae). Acta Agronómica 63(3):229-237.
- Chapman, E; Estelle, M. 2009. Mechanism of Auxin-regulated gene expresión in plant. Annu. Rev. Genet. 43(1):265-285.
- Esquivel, P; Araya, Y. 2012. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Rev. Venez. Cienc. Tecnol. Alim. 3(1):113-129.
- Flores, L. 2011. Indicadores de rentabilidad en la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en San Juan Ixcaquixtla, Puebla. Tesis MSc. Texcoco, Edo. de México, México, Colegio de Postgraduados. 138 p.
- Garbanzo, G; Chavarría, G; Vega, E. 2019. Correlaciones alométricas en *Hylocereus costaricensis* y *H. monacanthus* (pitahaya): una herramienta para cuantificar el crecimiento. Agronomía Mesoamericana 30(2):425-436. DOI: 10.15517/am.v30i2.33574.
- García, M. 2008. El Cocotero, «Árbol de la vida». Revista CitriFru 25(1):65-77.
- Ge, I; Hong Yong, J; Goh, Nk; Chia, Is; Tan Sn, Ong Es. 2004. Analysis of some cytokinins in coconut (*Cocos nucifera* L.) water by micellar electrokinetic capillary chromatography after solid-phase extraction. Journal Chromatography A. 1048(1):119-126.
- Habid, M; Geraldo, A; Aparecida, R. 2006. Enraizamiento de estacas de pitahaya vermelha en diferentes sustratos. Revista Caatinga 19(1):61-64.
- Li, Wang; Xue, Zhang; Yuhua, Ma; Yonghua, Qing; Huicong, Wang; Xuming, Huang. 2019. The highly drought-tolerant pitaya (*Hylocereus undatus*) is a non-facultative CAM plant under both well-watered and drought conditions. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 94(5):643-652. DOI: 10.1080/14620316.2019.1595747.
- López, H; Guido, A. 2002. Cultivo de la pitahaya, Guía Tecnológica N°. 6. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria. Managua, Nicaragua. 38 p.
- Malsawmkimi Ringphawan, W; Alila, P. 2019. Effect of varios levels of IBA and stem cutting sizes on propagation of Dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). Current Horticulture 7(1):64-68. DOI: 10.5958/2455-7560.2019.00011.6.
- Melnyk, CW. 2017. Plant grafting: insights into tissue regeneration. Regeneration. 4(1):3-14. DOI: https://doi.org/10.1002/reg.2.71.
- Mizrahi, T; Nerd, A; Nobe, P. 1997. Cacti as crops. Hort. Rev. 18:291-320.
- Mizrahi, Y. 2014. Vine-Cacti pitayas – the new crops of the world. Rev. Bras. Frutic. 36:124-138. DOI:10.1590/0100-2945-452/13.
- Patiño, C; Mosquera, F; González, R. 2011. Efecto inductor del agua de coco sobre la germinación de semillas y brotamiento de cormos de la hierba de la equis *Dracontium grayumianum*. Acta Biol. Colombiana 16(1):133-142.
- Quinto, L; Martínez, P; Pimentel, L; Rodríguez, D. 2009. Alternativas para mejorar la germinación de semillas de tres árboles tropicales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 15(1):23-28.
- Rianawati, S. 2020. Effect of donor plants and rooting medium on the stem cutting propagation of faloak (*Sterculia quadrifida*). Tropical Drylands 4(2):31-35.
- Suárez, R. 2011. Evaluación de métodos de propagación en pitahaya amarilla *Selenicereus megalanthus* (Haw.) Britt & Rose y pitahaya roja *Hylocereus polyrhizus* (Haw.) Britt & Rose. Tesis M.Sc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 109 p.
- Tate, HT; Page, T. 2018. Cutting propagation of Santalum austrocaledonicum: the effect of genotype, cutting source, cutting size, propagation medium, IBA and irradiance. New Forests 49:551-570. DOI: https://doi.org/10.1007/s11056-018-9638-4.
- Yong, Jw; Ge, I; Ng, Yf; Tan, Sn. 2009. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. Molecules 14:5144-5164.
- Zhao, Y. 2010. Auxin biosynthesis and its role in plant development. Annu. Rev. Plant Biol. 61:49-64.



Todos los derechos reservados. Universidad de Costa Rica. Este artículo se encuentra licenciado con Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica. Para mayor información escribir a rac.cia@ucr.ac.cr