



Auxins in the propagation of red-fleshed pitaya 'Physical Graffiti' (*Selenicereus guatemalensis* × *S. undatus*) cuttings in three substrates

Auxinas en la propagación por esquejes de pitahaya de pulpa roja 'Physical Graffiti' (*Selenicereus guatemalensis* × *S. undatus*) en tres sustratos

Guido Sarmiento-Sarmiento*; Elvis Gomez-Cencia; Laydy Mena-Chacón; Giovanna Rodrigo-Machicao; María A. Cahuana-Parada; Alberto Nina-Quispe

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. Urbanización Aurora s/n, Cercado, Arequipa, C.P. 04002, Perú.

*Corresponding author: gsarmientos@unsa.edu.pe, tel. +51 959 82 65 65.

Abstract

The success of vegetative propagation in pitaya depends on both endogenous and exogenous factors, such as cutting size, the application of auxin-type growth regulators, and the substrate used. The objective of this study was to evaluate the effect of auxins (naphthaleneacetic acid [NAA] and indole-3-butyric acid [IBA]) and different substrates on the rooting of cuttings of various sizes in red-fleshed pitaya 'Physical Graffiti'. A 3×2×3 factorial design was used, with the factors being: auxin concentration (NAA + IBA at 0, 20 + 5 and 40 + 10 ppm), cutting size (20 and 40 cm) and substrate type (sand; sand:vermicompost [1:1, w/w]; and vermicompost). Root length and number, as well as fresh and dry biomass of both roots and cuttings, were evaluated. Analyses included analysis of variance, Tukey's multiple comparison tests, and Pearson correlations. The best rooting performance -measured as root length (15.8 cm), number of roots (80.5), fresh biomass (8.6 g), and dry biomass (3.3 g)- was obtained with 20 cm cuttings immersed for 30 seconds in a solution of 20 ppm NAA + 5 ppm IBA and grown in a sand:vermicompost substrate. The combination of NAA and IBA in mixed substrates represents a viable option to optimize propagation by cuttings of red-fleshed pitahaya 'Physical Graffiti'.

Keywords: indole-3-butyric acid, naphthaleneacetic acid, dragon fruit, pitaya, rooting.

Resumen

El éxito de la propagación vegetativa de pitahaya depende de factores endógenos y exógenos, como el tamaño de esqueje, la aplicación de reguladores de crecimiento de tipo auxínico y el sustrato. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de auxinas (ácido naftalenoacético [ANA] y ácido indolbutírico [AIB]) y diferentes sustratos sobre el enraizamiento de esquejes de distintos tamaños en la variedad de pulpa roja 'Physical Graffiti' de pitahaya. Se empleó un diseño factorial 3×2×3, donde los factores estudiados fueron: concentración de auxinas ANA + AIB (0, 20 + 5 y 40 + 10 ppm), tamaño de esquejes (20 y 40 cm) y tipo de sustrato (arena, arena:vermicompost [1:1, p/p] y vermicompost). Se evaluaron la longitud y el número de raíces, así como la biomasa fresca y seca de raíces y de esquejes. Se realizaron análisis de varianza, comparaciones múltiples de medias (Tukey) y correlaciones de Pearson. La inmersión de esquejes de 20 cm de largo en la solución de 20 ppm de ANA + 5 ppm de AIB por 30 s y el uso de arena:vermicompost como sustrato promovieron el mayor crecimiento de raíces, tanto en longitud (15.8 cm), número (80.5), biomasa fresca (8.6 g) y seca (3.3 g). La combinación de AIB + ANA en sustratos mixtos representa una opción viable para optimizar la propagación por esquejes de la pitahaya de pulpa roja 'Physical Graffiti'.

Palabras clave:

ácido indol butírico, ácido 1-naftalenoacético, fruta del dragón, pitaya, enraizamiento.

Please cite this article as follows (APA 7): Sarmiento-Sarmiento, G., Gomez-Cencia, E., Mena-Chacón, L., Rodrigo-Machicao, G., Cahuana-Parada, M. A., & Nina-Quispe, A. (2025). Auxins in the propagation of red-fleshed pitaya 'Physical Graffiti' (*Selenicereus guatemalensis* × *S. undatus*) cuttings in three substrates. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 31, e24008. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2024.08.008>



Revista Chapingo
Serie Horticultura

Introduction

Pitaya or dragon fruit (*Selenicereus* spp., sin. *Hylocereus* spp.) is an important species in Peru and internationally due to its high content of ascorbic acid (4-25 mg·100 g⁻¹ of fresh pulp, depending on the species), minerals, fiber, betalains, betanin, and betacyanins, as well as its remarkable antioxidant capacity (Cañar-Sena et al., 2014; Oney-Montalvo et al., 2023; Verona-Ruiz et al., 2020). The hybridization of this species has led to the development of new varieties with wide adaptability to diverse environmental conditions and low water requirements (Mercado-Silva, 2018; Montesinos-Cruz et al., 2015; Yadav et al., 2023). In arid and semi-arid regions, its adaptation is evident in features such as an extensive horizontal root system, thick-cuticled cladodes, a reduced number of stomata, water-storing parenchyma, and fleshy aerial organs (Zimmerman et al., 2017).

Pitaya is primarily propagated through cuttings to produce a greater number of uniform plants suitable for the establishment of commercial orchards and to shorten the time to initial fruit production (Balaguera-López et al., 2010; Anushi et al., 2024). This process relies on the formation of adventitious roots and is influenced by several factors, including the degree of lignification, cutting age and size, substrate type, and hormonal balance (Chhetri et al., 2021; Dhruve et al., 2018; Sun et al., 2023). Among these, substrate and the application of growth regulators are key external factors affecting both rooting success and root quality in cuttings.

The substrate must meet specific criteria for porosity, moisture retention, and nutrient availability (Andrade et al., 2006; Bastos et al., 2006) to support vigorous and uniform cutting development (de Sousa-Antunes et al., 2021). Substrates are composed of varying proportions of organic inputs (such as vermicompost, moss, compost, manure, rice husks, and sawdust) and inorganic materials (such as sand, pumice, perlite, and vermiculite) (de Sousa-Antunes et al., 2021; ElObeidy, 2006; López-Gómez et al., 2000).

Auxins stimulate nearly all aspects of plant growth and development, particularly the induction of lateral roots (Benková & Hejátko, 2009; Haim et al., 2021; Overvoorde et al., 2010). These molecules are transported over long distances within the plant via the phloem, and because they share the same transport pathway as carbohydrates, they show efficient and rapid mobility (Overvoorde et al., 2010). This behavior supports the formation of adventitious roots, as auxin reserves can originate from both shoots and pre-existing roots.

Introducción

La pitahaya o fruta del dragón (*Selenicereus* spp., sin. *Hylocereus* spp.) es una especie importante en Perú y a nivel internacional por su alto contenido de ácido ascórbico (4-25 mg·100 g⁻¹ de pulpa fresca según la especie), minerales, fibra, betalaínas, betaninas y betacianinas, así como su notable capacidad antioxidante (Cañar-Sena et al., 2014; Oney-Montalvo et al., 2023; Verona-Ruiz et al., 2020). La hibridación de esta especie ha permitido el desarrollo de variedades con amplia adaptabilidad a distintas condiciones ambientales y bajos requerimientos hídricos (Mercado-Silva, 2018; Montesinos-Cruz et al., 2015; Yadav et al., 2023). En las zonas áridas y semiáridas, su adaptación se refleja en su sistema radicular horizontal extenso, cladodios con cutícula gruesa, reducido número de estomas, parénquima acuífero y órganos aéreos de consistencia carnosa (Zimmerman et al., 2017).

La propagación de pitahaya se realiza principalmente mediante esquejes, con el fin de obtener un mayor número de plantas uniformes, aptas para el establecimiento de huertos comerciales y con un ciclo reducido para el inicio de la producción (Balaguera-López et al., 2010; Anushi et al., 2024). Este proceso se basa en la formación de raíces adventicias y está regulado por varios factores, incluidos el grado de lignificación, la edad, el tamaño del esqueje, el tipo de sustrato y el balance hormonal (Chhetri et al., 2021; Dhruve et al., 2018; Sun et al., 2023). En particular, el sustrato y la aplicación de reguladores de crecimiento son factores externos esenciales para el enraizamiento y la calidad de las raíces de los esquejes.

El sustrato debe cumplir con los criterios de porosidad, retención de humedad y suministro de nutrientes (Andrade et al., 2006; Bastos et al., 2006) para favorecer el crecimiento vigoroso y uniforme de los esquejes (de Sousa-Antunes et al., 2021). Generalmente, se utilizan sustratos conformados por insumos orgánicos (vermicompost, musgo, compost, estiércoles, cascarilla de arroz y aserrín) e inorgánicos (arena, piedra pómez, perlita, vermiculita) en distintas proporciones (de Sousa-Antunes et al., 2021; ElObeidy, 2006; López-Gómez et al., 2000).

Las auxinas estimulan casi todos los aspectos de crecimiento y desarrollo de las plantas, especialmente la inducción de raíces laterales (Benková & Hejátko, 2009; Haim et al., 2021; Overvoorde et al., 2010). Estas moléculas se transportan a largas distancias dentro de la planta a través del floema y, debido a que utilizan la misma vía de los carbohidratos, presentan una movilidad eficiente y rápida (Overvoorde et al., 2010). Este comportamiento favorece la formación de raíces adventicias, ya que las reservas de auxinas pueden provenir tanto de los brotes como de las raíces preexistentes.

Among the most commonly used auxins, indole-3-butyric acid (IBA) stands out for its effectiveness in inducing root formation in pitaya cuttings (Ahmad et al., 2016; Balaguera-López et al., 2010; Chhetri et al., 2021). Similarly, naphthaleneacetic acid (NAA) has proven effective in stimulating cell division and expansion, contributing to increased cutting survival rates (Fàbregas & Fernie, 2021; Haim et al., 2021). However, while growth regulators offer significant advantages for vegetative propagation, it is essential to determine optimal conditions for pitaya, because their effectiveness depends on several factors, including the type of hormone (Bozkurt et al., 2022), concentration (Irfan-Ali et al., 2022), tissue age (cutting size) (Potente & Manigo, 2023; Rodrigues et al., 2021), and type of rooting substrate (Galvão et al., 2016), among others.

Despite being a common practice in the propagation of other fruit crops, the effectiveness of combining IBA and NAA for rooting pitaya cuttings remains uncertain. Therefore, this study aimed to assess the effects of auxins (NAA + IBA) and different substrate types on the rooting performance of cuttings of various lengths in red-fleshed pitaya 'Physical Graffiti' (*Selenicereus guatemalensis* × *S. undatus*).

Materials and methods

Study area

The study was carried out from March to June 2023 in plot 425 of San Juan El Alto Pedregal, located in the Majes Irrigation District, Arequipa, Peru (16° 30' 12" S and 73° 20' 62" W, 1280 m a. s. l.). The average temperature recorded during the study period was 18.5 °C, with a minimum of 8 °C and a maximum of 29.8 °C. The average relative humidity was 57.4 %, ranging from 38.2 % to 73.5 %, with the lowest values recorded in June.

Experimental design

A completely randomized experimental design with three replications was used. The treatment structure followed a 3×2×3 factorial arrangement, resulting in 18 treatments (Table 1). The evaluated factors were three levels of auxin concentration (NAA + IBA at 0 ppm, 20 + 5 ppm, and 40 + 10 ppm), two cutting lengths (20 and 40 cm), and three substrate types (sand; sand:vermicompost [1:1, w/w]; and vermicompost).

Study development

Vegetative material

The pitaya variety evaluated was the red-fleshed 'Physical Graffiti' (*S. guatemalensis* × *S. undatus*) (Korotkova et al., 2017; Pagliaccia et al., 2015). Cuttings

Entre las auxinas más utilizadas, el ácido indol-3-butírico (AIB) destaca por su efectividad en la inducción del enraizamiento en esquejes de pitahaya (Ahmad et al., 2016; Balaguera-López et al., 2010; Chhetri et al., 2021). Asimismo, el ácido 1-naftalenacético (ANA) ha demostrado ser eficaz en la estimulación de la división y expansión celular, ya que contribuye a aumentar la tasa de supervivencia de los esquejes (Fàbregas & Fernie, 2021; Haim et al., 2021). No obstante, aunque el uso de reguladores de crecimiento presenta grandes ventajas en la propagación vegetativa, es necesario determinar las condiciones óptimas para la pitahaya, ya que su efectividad está ligada a diversos factores, como el tipo de hormona (Bozkurt et al., 2022), la concentración (Irfan-Ali et al., 2022), la edad del tejido (tamaño del esqueje) (Potente & Manigo, 2023; Rodrigues et al., 2021), el tipo de sustrato de enraizamiento (Galvão et al., 2016), entre otros.

En este sentido, persiste la incertidumbre sobre la eficiencia del uso combinado de AIB y ANA en el enraizamiento de esquejes de pitahaya, a pesar de ser una práctica común en la propagación de otros frutales. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de auxinas (ANA + AIB) y diferentes sustratos sobre el enraizamiento de esquejes de diferentes tamaños en la variedad de pulpa roja 'Physical Graffiti' (*Selenicereus guatemalensis* × *S. undatus*).

Materiales y métodos

Ubicación del estudio

La investigación se desarrolló de marzo a junio de 2023 en la parcela 425 de San Juan El Alto Pedregal de la Irrigación Majes, Arequipa, Perú (16° 30' 12" S y 73° 20' 62" O, a 1280 m s. n. m). La temperatura media registrada durante la investigación fue de 18.5 °C (mínima de 8 °C, máxima de 29.8 °C), y la humedad relativa media fue 57.4 % (mínima de 38.2 %, máxima de 73.5 %), con el valor más bajo registrado en junio.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. El diseño de tratamientos fue factorial 3×2×3, lo cual generó 18 tratamientos (Cuadro 1). Los factores evaluados fueron: tres niveles de concentración de auxinas ANA + AIB (0 ppm, 20 + 5 y 40 + 10 ppm), dos tamaños de esquejes (20 y 40 cm) y tres tipos de sustrato (arena, arena:vermicompost [1:1, p/p] y vermicompost).

Desarrollo del estudio

Material vegetativo

La variedad de pitahaya evaluada fue la de pulpa roja 'Physical Graffiti' (*S. guatemalensis* × *S. undatus*)

Table 1. Description of the treatments evaluated in 'Physical Graffiti' pitaya.**Cuadro 1. Descripción de los tratamientos evaluados en pitahaya 'Physical graffiti'.**

Treatments/ Tratamientos	Study factors/Factores de estudio		
	Auxin concentration (ppm)*/ Concentración de auxinas (ppm)*	Cutting length (cm)/ Tamaño del esqueje (cm)	Substrate/ Sustrato
T1	0	20	Sand/Arena
T2	0	20	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T3	0	20	Vermicompost
T4	0	40	Sand/Arena
T5	0	40	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T6	0	40	Vermicompost
T7	20 + 5	20	Sand/Arena
T8	20 + 5	20	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T9	20 + 5	20	Vermicompost
T10	20 + 5	40	Sand/Arena
T11	20 + 5	40	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T12	20 + 5	40	Vermicompost
T13	40 + 10	20	Sand/Arena
T14	40 + 10	20	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T15	40 + 10	20	Vermicompost
T16	40 + 10	40	Sand/Arena
T17	40 + 10	40	Sand + vermicompost/ Arena + vermicompost
T18	40 + 10	40	Vermicompost

*Naphthaleneacetic acid (NAA) + indole-3-butyric acid (IBA)

*Ácido naftalenoacético [ANA] + ácido indolbutírico [AIB]

were collected from a commercial plantation with 1 year of production, located in the Pedregal district, Majes Irrigation District, Caylloma province, Arequipa region, Peru. Only cuttings from visually healthy plants, showing no signs of nutritional deficiencies or stress, were selected. These cuttings were classified into two sizes: 20 and 40 cm in length. After collecting, the cuttings were allowed to heal for 15 days in shaded conditions (75 %), under ambient temperature and relative humidity.

Substrates

The sand used as a substrate was collected from the Siguas River (Arequipa, Peru), and it was washed to remove any potential impurities. The vermicompost was purchased from a local company. The physicochemical properties determined for both substrates included pH, electrical conductivity (EC), organic matter

(Korotkova et al., 2017; Pagliaccia et al., 2015). Los esquejes se recolectados en una plantación comercial con 1 año de producción, ubicada en el distrito Pedregal, Irrigación Majes, provincia Caylloma, región Arequipa, Perú. Se seleccionaron esquejes provenientes de plantas visualmente sanas, sin signos de deficiencias nutricionales ni estrés, y se clasificaron en dos tamaños: 20 y 40 cm de largo. Después de la recolecta, se dejaron cicatrizar las heridas de corte durante 15 días en condiciones de sombra (75 %), bajo temperatura y humedad relativa ambiental.

Sustratos

La arena empleada como sustrato se obtuvo del río Siguas (Arequipa, Perú), la cual se lavó para eliminar posibles impurezas. El vermicompost se adquirió de una empresa local. Las propiedades fisicoquímicas que se determinaron en ambos sustratos fueron pH,

(OM), total N, P, K, bulk density, and total porosity. These determinations were carried out following the methodology described by Bazán-Tapia (2017), using the following techniques: pH measurement with a potentiometer (HI9126, Hanna® Instruments, EU) in a soil:water ratio of 1:1, EC measured with a conductimeter (HI993310, Hanna® Instruments, USA) in a saturated soil extract, the Walkley-Black method for OM, the micro-Kjeldahl method for total N, the modified Olsen method for P, spectrophotometry with ammonium acetate extraction for K, the metal cylinder method for bulk density, and indirect estimation of total porosity based on bulk density.

The substrates were placed in black nursery bags measuring 20 cm in width × 30 cm in height, with a thickness of 120 gauge and a capacity of 1 kg. For the mixed substrates, 500 g of sand and 500 g of vermicompost were weighed, homogenized, and bagged.

Auxin application

Auxins IBA (≥98 % purity) and NAA (≥95 % purity) were purchased from Sigma-Aldrich (USA). Solutions were first diluted in analytical-grade ethanol (≥95 % purity) and then in distilled water adjusted to a pH of 5.5. Three auxin solutions containing IBA + NAA were prepared: 0 ppm (control without auxins), 20 + 5 ppm, and 40 + 10 ppm. The basal end (3 cm) of each cutting was immersed in the corresponding solution for 30 seconds. Afterwards, each cutting was placed into a nursery bag at an approximate depth of 5 cm and kept under a green shade net providing 75 % shade.

Irrigation

Irrigation frequency varied according to the type of substrate: every 5 days for sand, and every 10 days for vermicompost. At each irrigation event, 200 mL of water was applied to sand substrates, 250 mL to the sand:vermicompost mixture, and 300 mL to vermicompost. The experiment lasted for 90 days, after which the rooting period was considered complete and the corresponding evaluations were carried out.

Evaluations

Evaluations were performed on each rooted cladode or cutting. The variables analyzed were: 1) Root length (cm), measured from the base of the cutting to the tip of the longest root; 2) Number of roots, including only the most developed roots with visible rootlets; 3) Fresh and dry root biomass (g); and 4) Fresh and dry biomass of the cuttings (g). To determine dry biomass, samples were placed in a drying oven at 105 °C until constant weight (Cañar-Sena et al., 2014).

conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), N total, P, K, densidad aparente y porosidad total. Las determinaciones se realizaron según la metodología descrita por Bazán-Tapia (2017), mediante las siguientes técnicas: potenciómetro (HI9126, Hanna® Instruments, UE) en relación suelo:agua 1:1 para el pH, conductímetro (HI993310, Hanna® Instruments, EUA) en extracto de suelo saturado para la CE, el método de Walkley-Blac para MO, micro-Kjeldahl para N total, Olsen modificado para P, espectrofotometría con extracción por acetato de amonio para K, método del cilindro metálico para densidad aparente y estimación indirecta de porosidad total basada en la densidad.

Los sustratos se colocaron en bolsas almacigueras color negro de 20 cm ancho × 30 cm de alto, calibre de 120 y capacidad de 1 kg. En el caso de los sustratos combinados, se pesaron 500 g de arena y 500 g de vermicompost, los cuales se homogeneizaron y se embolsaron.

Aplicación de auxinas

Las auxinas AIB (≥98 % de pureza) y ANA (≥95 % pureza) fueron adquiridas de Sigma-Aldrich (EUA). Las soluciones se diluyeron en etanol grado analítico (pureza ≥95 %) y, posteriormente, en agua destilada con pH de 5.5. Se prepararon tres soluciones auxínicas AIB + ANA: 0 ppm (testigo sin auxinas), 20 + 5 y 40 + 10 ppm. La parte basal de los esquejes (3 cm) se sumergió en la solución correspondiente durante 30 s. Posteriormente, cada esqueje se colocó en una bolsa almaciguera a una profundidad aproximada de 5 cm, y se dejaron en una zona cubierta por una malla verde con 75 % de sombra.

Riego

La frecuencia de riego varió según el tipo de sustrato: cada 5 días para arena y cada 10 días para vermicompost. En cada riego se aplicaron 200 mL en los sustratos de arena, 250 mL en la mezcla arena:vermicompost y 300 mL en vermicompost. El experimento se desarrolló durante 90 días, al término de los cuales se dio por concluido el periodo de enraizamiento y se realizaron las evaluaciones correspondientes.

Evaluaciones

Las evaluaciones se realizaron en cada cladodio o esqueje enraizado. Las variables analizadas fueron: 1) longitud de raíces (cm), medida desde la base del cuello del esqueje hasta el ápice de la raíz más larga, 2) número de raíces, considerando las de mayor desarrollo y con raicillas evidentes, 3) biomasa fresca y seca de raíces (g), y 4) biomasa fresca (g) y seca de los esquejes (g). Para determinar la biomasa seca, las muestras se colocaron en una estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante (Cañar-Sena et al., 2014).

Statistical analysis

The data obtained were subjected to an analysis of variance and Tukey's multiple mean comparison tests (significance level of 99%; $P < 0.001$). In addition, Pearson's linear correlation analyses were performed between quantitative variables (significance level of 95 %; $P < 0.05$). The assumptions of parametric statistics were verified using the Shapiro–Wilk test to assess the normality of residuals ($P < 0.05$) and Bartlett's test to confirm homoscedasticity ($P < 0.05$). All statistical analyses were carried out using R software (R Core Team, 2013).

Results and discussion

The evaluated data met the assumptions of homogeneity of variances and normality of residuals required for the application of parametric statistical analyses. The p-values obtained from the analysis of variance revealed highly significant differences in the three-way interaction among the evaluated factors, except for fresh and dry root biomass, for which the interaction effects were not significant (Table 2).

The interaction effects indicated that the most effective rooting occurred with 20 cm cuttings treated with 20 + 5 ppm of NAA and IBA and grown in the sand:vermicompost mixture (T8). In contrast, the poorest performance was observed in treatment T4, which involved 40 cm cuttings without auxin application, established in sand (Table 3).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de medias de Tukey (nivel de significancia de 99 %; $P < 0.001$). Además, se realizaron análisis de correlación lineal de Pearson entre variables cuantitativas (nivel de significancia de 95 %; $P < 0.05$). La verificación de los supuestos de estadística paramétrica se realizó con la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los errores ($P < 0.05$) y la prueba de Bartlett para comprobar la homocedasticidad ($P < 0.05$). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R (R Core Team, 2013).

Resultados y discusión

Los datos evaluados cumplieron con los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los errores, requeridos para aplicar análisis estadísticos paramétricos. Los valores de probabilidad obtenidos en el análisis de varianza evidenciaron diferencias altamente significativas en la triple interacción entre los factores evaluados, con excepción de las variables de biomasa fresca y seca de raíces, en las que no se observaron efectos significativos de dicha interacción (Cuadro 2).

A nivel de interacciones, los resultados mostraron que el enraizamiento fue significativa más efectivo cuando se utilizaron esquejes de 20 cm de largo, tratados con la solución de 20 + 5 ppm de ANA y AIB, y establecidos en el sustrato conformado por arena:vermicompost (T8). En contraste, el tratamiento que presentó el

Table 2. Significance levels of the variables evaluated in 'Physical Graffiti' pitaya.

Cuadro 2. Nivel de significancia de las variables evaluadas en pitahaya 'Physical graffiti'.

Source of variation/ Fuentes de variación	Roots/Raíces				Cuttings/Esquejes	
	Number/ Número	Length (cm)/ Longitud (cm)	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)
Auxins (A)/ Auxinas (A)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Cutting size (CS)/ Tamaño de esqueje (TE)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0121	<0.0001	<0.0001
Substrate (S)/ Sustrato (S)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
A × CS/A × TE	<0.0001	0.0297	0.7298	0.9358	0.0044	0.0002
A × S	<0.0001	<0.0001	0.2225	0.6939	<0.0001	0.2042
CS × S/TE × S	<0.0001	0.9073	0.6821	0.9859	<0.0001	<0.0001
A × CS × S/A × TE × S	<0.0001	<0.0001	0.8928	0.9836	<0.0001	0.0141
CV (%)	2.31	6.05	10.20	23.57	0.91	3.60

CV: coefficient of variation.

CV: coeficiente de variación.

Table 3. Effect of auxin application in three substrate types on the rooting of two cutting lengths in 'Physical Graffiti' pitaya.**Cuadro 3. Efecto de la aplicación de auxinas en tres tipos de sustratos para el enraizamiento de dos tamaños de esquejes de pitahaya 'Physical graffiti'.**

Treatments/ Tratamientos	Roots/Raíces				Cuttings/Esquejes	
	Number	Length (cm)	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)
T1	15.60 ± 0.57 l	5.50 ± 0.30 kl	3.20 ± 0.30	0.77 ± 0.24	122.10 ± 0.93 o	23.60 ± 0.78 kl
T2	62.30 ± 0.57 d	10.80 ± 0.30 bcde	6.60 ± 0.30	2.53 ± 0.24	130.60 ± 0.93 n	25.30 ± 0.78 jk
T3	10.20 ± 0.57 m	4.20 ± 0.30 lm	3.00 ± 0.30	0.77 ± 0.24	112.50 ± 0.93 p	20.80 ± 0.78 l
T4	6.00 ± 0.57 n	3.30 ± 0.30 m	2.50 ± 0.30	0.60 ± 0.24	152.40 ± 0.93 l	30.10 ± 0.78 hi
T5	60.40 ± 0.57 d	10.50 ± 0.30 cdef	6.37 ± 0.30	2.20 ± 0.24	160.00 ± 0.93 k	32.50 ± 0.78 gh
T6	3.10 ± 0.57 n	1.50 ± 0.30 n	2.00 ± 0.30	0.53 ± 0.24	141.30 ± 0.93 m	28.00 ± 0.78 ij
T7	54.60 ± 0.57 e	10.00 ± 0.30 cdefg	5.80 ± 0.30	2.10 ± 0.24	190.40 ± 0.93 g	38.60 ± 0.78 ef
T8	80.50 ± 0.57 a	15.80 ± 0.30 a	8.60 ± 0.30	3.30 ± 0.24	193.20 ± 0.93 fg	40.40 ± 0.78 de
T9	52.80 ± 0.57 ef	9.60 ± 0.30 defgh	5.60 ± 0.30	2.00 ± 0.24	185.30 ± 0.93 h	38.00 ± 0.78 ef
T10	50.20 ± 0.57 f	9.40 ± 0.30 efgh	5.00 ± 0.30	1.80 ± 0.24	215.40 ± 0.93 c	48.50 ± 0.78 b
T11	72.30 ± 0.57 b	12.20 ± 0.30 b	7.80 ± 0.30	3.00 ± 0.24	230.60 ± 0.93 a	55.30 ± 0.78 a
T12	45.60 ± 0.57 g	9.00 ± 0.30 fghi	4.70 ± 0.30	1.57 ± 0.24	210.30 ± 0.93 d	46.60 ± 0.78 bc
T13	41.20 ± 0.57 h	8.50 ± 0.30 ghij	4.30 ± 0.30	1.50 ± 0.24	173.00 ± 0.93 i	35.80 ± 0.78 fg
T14	70.00 ± 0.57 b	11.60 ± 0.30 bc	7.50 ± 0.30	2.80 ± 0.24	181.40 ± 0.93 h	36.20 ± 0.78 fg
T15	32.10 ± 0.57 i	8.00 ± 0.30 hij	4.00 ± 0.30	1.30 ± 0.24	166.60 ± 0.93 j	35.00 ± 0.78 fg
T16	28.50 ± 0.57 j	7.40 ± 0.30 ij	3.60 ± 0.30	1.10 ± 0.24	202.00 ± 0.93 e	43.00 ± 0.78 cd
T17	66.40 ± 0.57 c	11.20 ± 0.30 bcd	7.00 ± 0.30	2.60 ± 0.24	220.50 ± 0.93 b	50.60 ± 0.78 b
T18	20.20 ± 0.57 k	7.00 ± 0.30 jk	3.50 ± 0.30	1.00 ± 0.24	196.30 ± 0.93 f	42.80 ± 0.78 cd
HSD/DMSH	3.03910	1.60093	1.58069	1.26187	4.91748	4.11401

*Analysis of variance showed no significant differences at the three-way interaction level for these variables. HSD: Honestly Significant Difference. Values are expressed as mean ± standard deviation (n = 3). Means followed by the same letter in each column are not statistically different (Tukey, $P < 0.05$).

*El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia significativa a nivel de triple interacción en estas variables. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Valores expresados como promedio ± desviación estándar (n = 3). Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P < 0.05$).

The results corresponding to the main effects revealed statistically significant differences in all evaluated variables in response to the applied treatments (Table 4). In general terms, the sand and vermicompost mixture promoted significantly greater root development ($P < 0.05$), as reflected in increased root length, number of roots, and biomass accumulation. Regarding auxin treatments, the best response was observed when cuttings were immersed in the 20 + 5 ppm NAA and IBA solution.

Although previous studies have reported that pitaya cuttings between 35 and 45 cm in length show better rooting performance (Anushi et al., 2024), in this study, the 20 cm cuttings showed greater root development and biomass accumulation compared to the 40 cm cuttings (Table 4). This difference may be attributed to factors such as the crop used, weight, maturity and age of cuttings (Chhetri et al., 2021; Irfan-Ali et al., 2022; Anushi et al., 2024). Moreover, interactions with external factors, such as substrate and the use of growth regulators, also influence the efficiency of the rooting process (Table 3).

menor desempeño fue el T4 (sin aplicación de auxinas, esquejes de 40 cm y establecidos en arena) (Cuadro 3).

Los resultados correspondientes a los efectos principales evidenciaron diferencias estadísticas significativas en todas las variables evaluadas como respuesta a los tratamientos aplicados (Cuadro 4). De manera general, el sustrato conformado por arena y vermicompost promovió un desarrollo radical significativamente mayor ($P < 0.05$), reflejado en una mayor longitud, número de raíces y acumulación de biomasa. En cuanto a las auxinas, la mejor respuesta se obtuvo con la inmersión de esquejes en la solución de 20 + 5 ppm de ANA y AIB, respectivamente.

Aunque en investigaciones previas se ha reportado que los esquejes de pitahaya con longitudes entre 35 y 45 cm presentan mejor desempeño en enraizamiento (Anushi et al., 2024), en este estudio los esquejes de 20 cm mostraron un mayor desarrollo de raíces y acumulación de biomasa en comparación con los de 40 cm (Cuadro 4). Esta diferencia se podría atribuir al cultivar utilizado, el peso, la madurez y la edad de los esquejes, entre otros (Chhetri et al., 2021; Irfan-Ali et

Table 4. Main effect response of auxin application in three types of substrates for rooting 'Physical Graffiti' pitaya cuttings.
Cuadro 4. Respuesta a nivel de efectos principales de la aplicación de auxinas en tres tipos de sustratos para el enraizamiento de esquejes de pitahaya 'Physical graffiti'.

Study factors/ Factores de estudio	Level of each factor/ Niveles de cada factor	Roots				Cuttings	
		Length (cm)/ Longitud (cm)	Number/ Número	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)	Fresh biomass (g)/ Biomasa fresca (g)	Dry biomass (g)/ Biomasa seca (g)
Auxins (ppm)*/ Auxinas (ppm)*	0 + 0	5.97 ± 0.12 c	26.27 ± 0.23 b	3.94 ± 0.12 c	1.23 ± 0.10 c	136.48 ± 0.38 c	26.72 ± 0.32 c
	20 + 5	11.00 ± 0.12 a	59.33 ± 0.23 a	6.25 ± 0.12 a	2.29 ± 0.10 a	204.20 ± 0.38 a	44.57 ± 0.32 a
	40 + 10	8.95 ± 0.12 b	43.07 ± 0.23 c	4.98 ± 0.12 b	1.72 ± 0.10 b	189.97 ± 0.38 b	40.57 ± 0.32 b
HSD/DMSH		0.42597	0.80863	0.42045	0.33575	1.30843	1.09464
Cutting size (cm)/ Tamaño de esqueje (cm)	20	9.33 ± 0.10 a	46.59 ± 0.19 a	5.40 ± 0.10 a	1.90 ± 0.08 a	161.68 ± 0.31 b	32.63 ± 0.26 b
	40	7.94 ± 0.10 b	39.19 ± 0.19 b	4.72 ± 0.10 b	1.60 ± 0.08 b	192.09 ± 0.31 a	41.93 ± 0.26 a
HSD/DMSH		0.28858	0.54782	0.28484	0.22746	0.88642	0.74158
Substrate/ Sustrato	Sand (Sa)/ Arena (A)	7.35 ± 0.12 b	32.68 ± 0.23 b	4.07 ± 0.12 b	1.31 ± 0.10 b	175.88 ± 0.38 b	36.60 ± 0.32 b
	S:V	12.02 ± 0.12 a	68.65 ± 0.23 a	7.31 ± 0.12 a	2.74 ± 0.10 a	186.05 ± 0.38 a	40.05 ± 0.32 a
	Vermicompost (V)	6.55 ± 0.12 c	27.33 ± 0.23 c	3.80 ± 0.12 b	1.19 ± 0.10 b	168.72 ± 0.38 c	35.20 ± 0.32 c
HSD/DMSH		0.42597	0.80863	0.42045	0.33575	1.30843	1.09464

*NAA + IBA: naphthaleneacetic acid + indole-3-butyric acid. HSD: honestly significant difference. Values are expressed as mean ± standard deviation (n = 3). Means followed by the same letter vertically are not statistically different between levels within the same study factor (Tukey, $P < 0.05$).

*ANA + AIB: ácido naftalenoacético + ácido indolbutírico. DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Valores expresados como promedio ± desviación estándar (n = 3). Medias con letras iguales en sentido vertical no difieren estadísticamente entre niveles dentro del mismo factor de estudio (Tukey, $P < 0.05$).

The results of the Pearson correlation analysis indicate a significant, though low to moderate, association between auxin concentration and the root growth and biomass variables of cuttings. Positive correlations were observed for root length ($r = 0.36$; $P = 0.01$), number of roots ($r = 0.29$; $P = 0.03$), fresh biomass of cuttings ($r = 0.65$; $P < 0.0001$), and dry biomass of cuttings ($r = 0.60$; $P < 0.0001$) (Figure 2). Although the best results were obtained with the sand:vermicompost substrate, the Pearson correlation showed a stronger positive association between auxin concentration and root growth when using the simple substrates (sand or vermicompost alone).

The interplay between auxin synthesis, transport, and degradation generates concentration gradients that determine local cell differentiation events (Fàbregas & Fernie, 2021). However, the response of a plant cell to a specific auxin concentration also depends on its biochemical, physiological, and molecular capacity to perceive and interpret that hormonal signal (Alcántara et al., 2019; Casanova-Sáez & Voß, 2019). These responses may be continuous or follow distinct phases of increase, stabilization (or threshold), and subsequent decrease. Due to cell-specific responses,

al., 2022; Anushi et al., 2024). Además, la interacción con factores externos, como el sustrato y el uso de reguladores de crecimiento, determina la eficiencia del proceso de enraizamiento (Cuadro 3).

Los resultados del análisis de correlación de Pearson indican una asociación significativa, aunque de magnitud baja a moderada, entre la concentración de auxinas y las variables de crecimiento radical y biomasa de esquejes. Se observaron correlaciones positivas para la longitud de raíces ($r = 0.36$; $P = 0.01$), número de raíces ($r = 0.29$; $P = 0.03$), biomasa fresca de esquejes ($r = 0.65$; $P < 0.0001$) y biomasa seca de esquejes ($r = 0.60$; $P < 0.0001$) (Figura 2). Aunque los mejores resultados se obtuvieron con el sustrato de arena:vermicompost, la correlación de Pearson evidenció una asociación positiva mayor entre la concentración de auxinas y el crecimiento de raíces con los sustratos simples (solo arena o solo vermicompost).

La coordinación entre la síntesis, el transporte y la degradación de auxinas genera gradientes de concentración que determinan los eventos de diferenciación celular a nivel local (Fàbregas & Fernie, 2021). No obstante, la respuesta de una célula vegetal

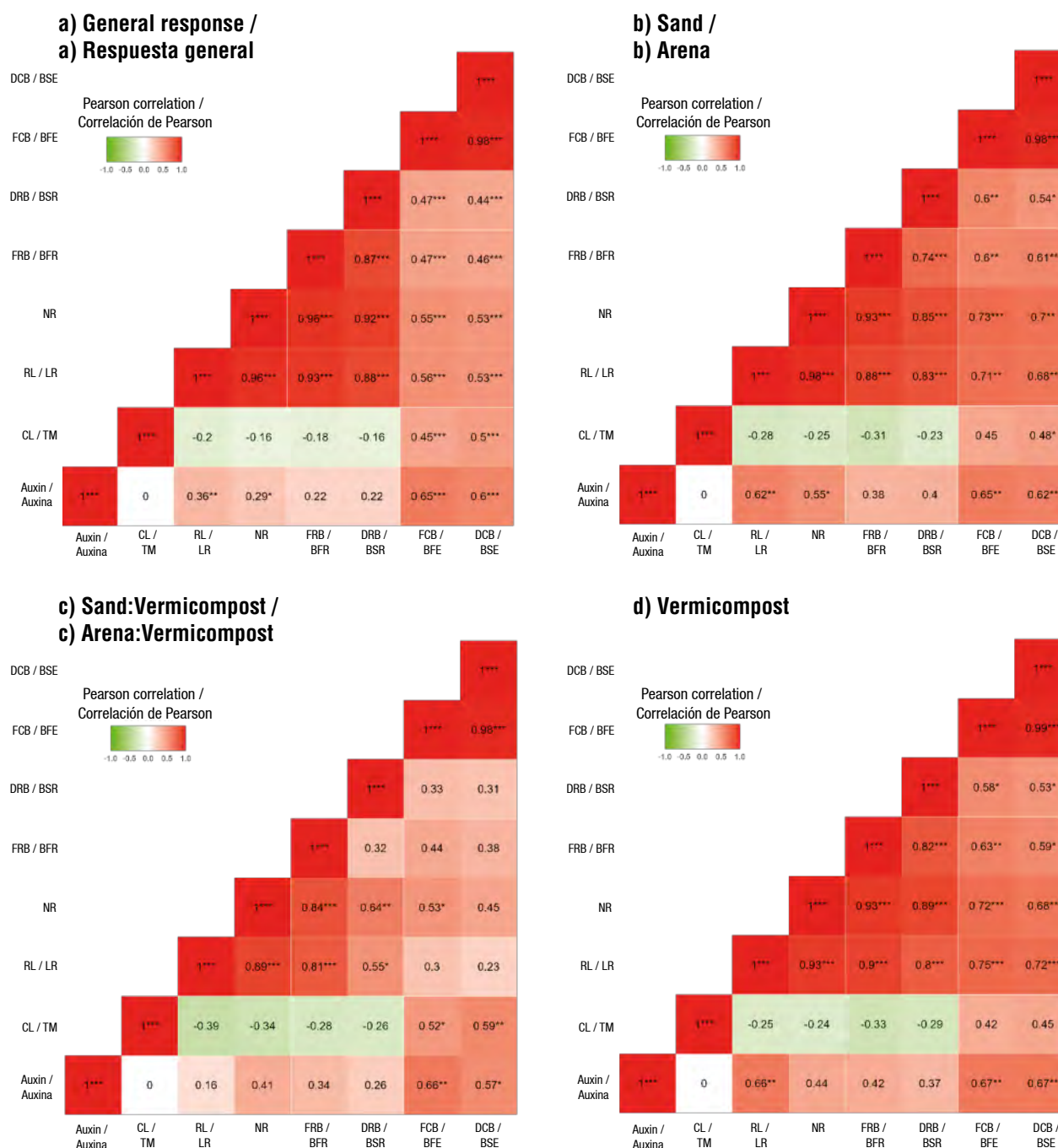


Figure 1. Pearson correlation of the variables evaluated in 'Physical Graffiti' pitaya: a) pairwise correlations among variables, b) sand-only substrate, c) sand:vermicompost substrate (1:1, w/w), and d) vermicompost-only substrate. Auxin: auxin concentration; CL: cutting length; RL: root length; NR: number of roots; FRB: fresh root biomass; DRB: dry root biomass; FCB: fresh cutting biomass; DCB: dry cutting biomass. Statistical significance: <math><0.0001</math> (*), <math><0.01</math> (**) and <math><0.05</math> (*).**

Figura 1. Correlación de Pearson de las variables evaluadas en pitahaya 'Physical graffiti': a) entre pares de las variables, b) sustrato solo de arena, c) sustrato de arena:vermicompost (1:1, p/p) y d) sustrato solo de vermicompost. Auxina: concentración de auxinas; TM: tamaño de esqueje; LR: longitud de raíces; NR: número de raíces; BFR: biomasa fresca de raíces; BSR: biomasa seca de raíces; BFE: biomasa fresca de esquejes; BSE: biomasa seca de esquejes. Significancia estadística: <math><0.0001</math> (*), <math><0.01</math> (**) y <math><0.05</math> (*).**

it is possible for the same auxin concentration to promote cell expansion in shoots while simultaneously inhibiting cell elongation to favor cell division in the root meristem (Alcántara et al., 2019; Haim et al., 2021; Overvoorde et al., 2010). This behavior is reflected in root growth and cutting biomass results, because the solution containing 40 + 10 ppm of auxins caused a significant decrease in root growth (length, number, and biomass), without negatively affecting the dry biomass of the cuttings. This represents a partially favorable effect on the rooting process (Table 3 and Table 4).

Regarding the fresh and dry biomass of the cuttings, auxin concentration was the only factor with a significant effect, as lower biomass accumulation was observed in the absence of auxins (Figure 1). This pattern can be explained by the close relationship between root system development and the cuttings' ability to absorb water and nutrients, which is essential for the growth of aboveground structures (Anushi et al., 2024; Balaguera-López et al., 2010; Overvoorde et al., 2010). The distribution of dry matter between cuttings and roots is a dynamic process regulated by phytohormones, and any external factor can alter the biomass concentration in both organs (Anushi et al., 2024). In this study, root growth in pitahaya was not enhanced by the use of auxin concentrations of 40 + 10 ppm of NAA and IBA.

This contrasts with the findings reported by Balaguera et al. (2010) in Colombia, who observed that 60 cm pitahaya cuttings treated with 4500 ppm of IBA had the highest values for root length (13.6 cm), number

a una determinada concentración de auxina depende también de su capacidad bioquímica, fisiológica y molecular para percibir y traducir esa señal hormonal (Alcántara et al., 2019; Casanova-Sáez & VoB, 2019). Estas respuestas pueden ser continuas o estar definidas por fases de aumento, estabilización (o umbral) y posterior disminución. Debido a la especificidad celular, es posible encontrar que una misma concentración de auxinas puede promover la expansión celular en los brotes y, al mismo tiempo, inhibir el alargamiento celular para favorecer la división celular en el meristemo de la raíz (Alcántara et al., 2019; Haim et al., 2021; Overvoorde et al., 2010). Este comportamiento se refleja en los resultados de crecimiento de las raíces y la biomasa del esqueje, ya que la solución con 40 + 10 ppm de auxinas provocó una disminución significativa del crecimiento de raíces (longitud, número y biomasa), sin afectar negativamente la biomasa seca de los esquejes, lo cual representa un efecto parcialmente favorable para el proceso de enraizamiento (Cuadro 3 y Cuadro 4).

En cuanto a la biomasa fresca y seca de los esquejes, la concentración de auxinas fue el único factor con efecto significativo, al observarse una menor acumulación en ausencia de auxinas (Figura 1). Este patrón se puede explicar por la estrecha relación entre el desarrollo del sistema radicular y la capacidad de los esquejes para absorber agua y nutrientes, lo cual es esencial para el crecimiento de las estructuras aéreas (Anushi et al., 2024; Balaguera-López et al., 2010; Overvoorde et al., 2010). La distribución de materia seca entre los esquejes y las raíces es un proceso dinámico controlado por fitohormonas, y cualquier factor externo puede modificar la concentración de biomasa de ambos órganos (Anushi et al., 2024). En esta

Table 5. Physicochemical characteristics of substrates for rooting of 'Physical Graffiti' Pitahaya Cuttings.

Cuadro 5. Características fisicoquímicas de los sustratos para enraizamiento de esquejes de pitahaya 'Physical Graffiti'.

Parameter / Parámetro	Substrate / Sustrato		
	Sand / Arena	Sand:Vermicompost / Arena:Vermicompost	Vermicompost
Organic matter (%) / Materia orgánica (%)	0.21	11.64	47.32
Total N (%) / N total (%)	0.02	0.46	1.83
P (%)	0.06	0.20	0.98
K (%)	0.04	0.16	1.26
pH	7.87	8.04	8.45
EC (mS·cm ⁻¹) / CE (mS·cm ⁻¹)	0.731	2.54	2.17
C/N	6.1	14.7	14.99
Bulk density (g·cm ⁻³) / Densidad aparente (g·cm ⁻³)	1.48	1.33	0.75
Total porosity (%) / Porosidad total (%)	34.46	36.13	29.36

Values expressed as mean (n = 3). EC: electrical conductivity; C/N: carbon/nitrogen ratio.

Valores expresados como promedio (n = 3). CE: conductividad eléctrica; C/N: relación carbono/nitrógeno.

of roots (11), fresh biomass (5.56 g), and dry biomass (0.79 g) after 90 days. Similarly, Seran and Thiresh (2015) in Sri Lanka reported that immersing pitahaya cuttings in 6000 ppm IBA solutions and growing them in a sand:topsoil:cow manure substrate (2:1:1, w/w/w) resulted in longer (9.5 cm) and heavier shoots (10.25 g fresh and 0.59 g dry weight) after 60 days.

Although other studies have reported positive results using high concentrations of IBA, in the present study, the concentration that produced the best response was 20 + 5 ppm of NAA and IBA, while the highest dose (40 + 10 ppm of NAA and IBA) resulted in a significant decrease. This response may be related to a synergistic interaction between auxins with complementary effects.

Regarding the role of the substrate in rooting, the sand:vermicompost mixture (1:1, w/w) yielded the best results, showing higher values of OM, P, K, and porosity compared to the single-component substrates (Table 5). According to Andrade et al. (2007), substrate properties such as porosity, moisture retention, organic matter content, and nutrient availability favor the vegetative propagation of pitahaya. The sand:vermicompost combination proved suitable for root system development, providing an optimal balance of aeration, water retention, pH, salinity, and nutrient availability, which supported the establishment and growth of the cuttings (Table 5).

Conclusions

The factors studied significantly influenced root and shoot growth in red-fleshed 'Physical Graffiti' pitahaya cuttings, highlighting the importance of selecting the appropriate rooting substrate, auxin concentration, and cutting size. Specifically, the combined use of NAA (20 ppm) and IBA (5 ppm) promoted rooting in pitahaya cuttings, particularly when using sand:vermicompost (1:1, w/w) substrate.

End of English version

References / Referencias

- Ahmad, H., Mirana, A. S., Mahbuba, S., Tareq, S. M., & Jamal-Uddin, A. F. M. (2016). Performance of IBA concentrations for rooting of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) stem cuttings. *Internacional Journal of Business, Social and Scientific Research*, 4(4), 231–234. <http://www.ijbssr.com/currentissueview/14013155>
- Alcántara-Cortes, J. S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J., & Sánchez-Mora, R. M. (2019). Principales reguladores

investigación, el crecimiento de las raíces de pitahaya no fue favorecido al usar concentraciones auxínicas de 40 + 10 ppm de ANA y AIB.

Lo anterior contrasta con lo reportado por Balaguera et al. (2010) en Colombia, quienes observaron que los esquejes de 60 cm tratados con 4500 ppm de AIB alcanzaron los valores máximos de longitud de raíces (13.6 cm), número de raíces (11), biomasa fresca (5.56 g) y biomasa seca (0.79 g) de raíces de pitahaya después de 90 días. Por su parte, Seran y Thiresh (2015), en Sri Lanka, reportaron que la inmersión de esquejes de pitahaya en soluciones con 6000 ppm de IBA, cultivados en sustrato de arena:tierra vegetal:estiércol de vaca (2:1:1, p/p/p), produjo brotes de mayor longitud (9.5 cm) y peso (10.25 g fresco y 0.59 g seco) en 60 días.

Aunque en otras investigaciones han obtenido buenos resultados con altas concentraciones de AIB, en este estudio, la concentración con mejor respuesta fue la de 20 + 5 ppm de ANA y AIB, mientras que la dosis más alta (40 + 10 ppm de ANA y AIB) presentó una disminución significativa. Esta respuesta podría estar relacionada con una sinergia entre auxinas con efectos complementarios.

Respecto al papel del sustrato en el enraizamiento, la mezcla de arena:vermicompost (1:1, p/p) proporcionó los mejores resultados, al presentar mayores valores de MO, P, K y porosidad en comparación con los sustratos simples (Cuadro 5). De acuerdo con Andrade et al. (2007), las propiedades del sustrato como la porosidad, retención de humedad, contenido de MO y nutrientes favorecen la propagación vegetativa de pitahaya. La combinación de arena:vermicompost resultó ser adecuada para el desarrollo del sistema radicular, al ofrecer un balance óptimo entre oxigenación, retención de agua, pH, salinidad y disponibilidad de nutrientes, lo cual benefició el establecimiento y crecimiento de los esquejes (Cuadro 5).

Conclusiones

Los factores evaluados influyeron significativamente sobre el crecimiento de raíces y esquejes de pitahaya de pulpa roja 'Physical graffiti', lo cual evidenció la importancia de seleccionar el sustrato de enraizamiento, la concentración de auxinas y el tamaño de los esquejes. En particular, el uso combinado de auxinas ANA (20 ppm) y AIB (5 ppm) favoreció el enraizamiento de esquejes de pitahaya, especialmente cuando los esquejes se establecieron en el sustrato compuesto por arena:vermicompost (1:1, p/p).

Fin de la versión en español

- hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17(32), 109–129. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/1036>
- Andrade, J. L., Rengifo, E., Ricalde, M. F., Simá, J. L., Cervera, J. C., & Vargas-Soto, G. (2006). Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de Yucatán, México. *Agrociencia*, 40(6), 687–697. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240601>
- Andrade, R., Martins, A., & Silva, M. (2007). Influencia da fonte de material e do tempo de cura na propagacao vegetativa da pitaya vermelha (*Hylocereus undatus* Haw). *Revista Brasileira de Fruticultura. Sociedade Brasileira de Fruticultura*, 29(1), 183–186. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452007000100039>
- Anushi, Krishnamoorthi, A., & Kumar-Ghosh, P. (2024). From seed to succulence: Mastering dragon fruit propagation techniques. *Journal of Plant Biota*, 3(1), 8–12. <https://doi.org/10.51470/JPB.2024.3.1.08>
- Balaguera-López, H., Morales, E., Almanza-Merchán, P., & Balaguera, W. (2010). El tamaño del cladliolo y los niveles de auxinas influyen en la propagación asexual de pitaha (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 4(1), 33–42. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/1222
- Bastos, D. C., Pio, R., Scarpore, J. A., Libardi, M. N., Paes-de Almeida, L. F., Pires, T., & Bakker, S. T. (2006). Propagation of red pitaya (*Hylocereus undatus*) by cuttings. *Ciência e Agrotecnologia*, 30(6), 1106–1109. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000600009>
- Bazán-Tapia, R. (2017). *Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/504>
- Benková, E., & Hejátko, J. (2009). Hormone interactions at the root apical meristem. *Plant Molecular Biology*, 69(4), 383–396. <https://doi.org/10.1007/s11103-008-9393-6>
- Bozkurt, T., İnan, 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>
- Cañar-Sena, D. Y., Caetano, C. M., & Bonilla-Morale, M. M. (2014). Caracterización fisicoquímica y proximal del fruto de pitahaya amarilla [*Selenicereus megalanthus* (K. Schum. ex Vaupel) Moran] cultivada en Colombia. *Revista Agronomía*, 22(1), 77–87. <https://www.researchgate.net/publication/303446816>
- Casanova-Sáez, R., & VoB, U. (2019). Auxin metabolism controls developmental decisions in land plants. *Trends in Plant Science*, 24(8), 741–754. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.05.006>
- Chhetri, S., Hasan, M., & 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>
- Core Team (2013). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- de Sousa-Antunes, L. F., de Sousa-Vaz, A. F., Santos-Reis, M., Fernandes-Correia, M. E., Ferreira-Cruvinel, F., & Peres-Martelleto, L. A. (2021). Millicompost: Sustainable substrate for the production of dragon fruit seedlings (*Selenicereus undatus*). *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100107. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100107>
- Dhruve, L., Suchitra, V., Vani, V. S., Subbaramamma, P., & Saravanan, L. (2018). Rooting and shooting behaviour of red and white pulped varieties of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) in relation to indole butyric acid concentrations. *International Journal of Agricultural Sciences*, 14(1), 229–234. <https://doi.org/10.15740/has/ijas/14.1/229-234>
- EIObeidy, A. A. (2006). Mass propagation of pitaya (dragon fruit). *Fruits*, 61(5), 313–319. <https://doi.org/10.1051/fruits:2006030>
- Fábregas, N., & Fernie, A. R. (2021). The interface of central metabolism with hormone signaling in plants. *Current Biology*, 31(23), 1535–1548. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.09.070>
- Galvão, E. C., Ramos, J. D., Salles-Pio, L. A., Laredo, R. R., dos Reis-Silva, F. O., & de Sousa-Miranda, J. M. (2016). Substratos e ácido indol-3-butírico na produção de mudas de pitaia vermelha de polpa branca. *Revista Ceres*, 63(6), 860–867. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663060016>
- Haim, D., Shalom, L., Simhon, Y., Shlizerman, L., Kamara, I., Morozov, M., Albacete, A., Rivero, R. M., & Sadka, A. (2021). Alternate bearing in fruit trees: Fruit presence induces polar auxin transport in citrus and olive stem and represses IAA release from the bud. *Journal of Experimental Botany*, 72(7), 2450–2462. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa590>
- Irfan-Ali, S., Kiran-Kumar, A., Joshi, V., Suresh-Kumar, T., Joshi, V., & Naveen-Kumar, B. (2022). Studies on effect of different concentrations of IBA and length of cuttings on rooting and shoot growth performance in dragon fruit *Hylocereus* spp. -red flesh with pink skin under Telangana conditions. *The Pharma Innovation*, 11(3), 738–743. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue3/PartJ/11-2-171-610.pdf>
- Korotkova, N., Borsch, T., & Arias, S. (2017). A phylogenetic framework for the Hylocereeae (Cactaceae) and implications for the circumscription of the genera. *Phytotaxa*, 327(1), 1–46. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.327.1.1>
- López-Gómez, R., Díaz-Pérez, J. C., & Flores-Martínez, G. (2000). Propagación vegetativa de tres especies de cactáceas: pitaya (*Stenocereus griseus*), tunillo (*Stenocereus stellatus*) y jiotilla (*Escontria chiotilla*). *Agrociencia*, 34(3), 363–367. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30234313>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya – *Hylocereus undatus* (Haw). In S. Rodrigues, E. de Oliveira-Silva, & E. Sousa-de Brito (eds), *Exotic Fruits Reference Guide* (pp. 339–349). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00045-9>

- Montesinos-Cruz, J., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M., Ruíz-Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500007
- Oney-Montalvo, J. E., Cabal-Prieto, A., & Ramírez-Rivera, E. J. (2023). La pitahaya (*Hylocereus* spp.) como alimento funcional: fuente de nutrientes y fitoquímicos. *Milenaria, Ciencia y Arte*, 12(21), 5–8. <https://doi.org/10.35830/mcya.vi21.342>
- Overvoorde, P., Fukaki, H., & Beeckman, T. (2010). Auxin control of root development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(6), 001537. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001537>
- Pagliaccia, D., Vidalakis, G., Douhan, G. W., Lobo, R., & Tanizaki, G. (2015). Genetic characterization of pitahaya accessions based on amplified fragment length polymorphism analysis. *HortScience*, 50(3), 332–336. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.3.332>
- Potente, M. M., & Manigo, B. I. (2023). Seaweed-based dripping stimulates root growth of dragon fruit (*Hylocereus undatus* [Haw.] Britton & Rose) stem cuttings. *Sains Malaysiana*, 52(11), 3075–3090. <https://doi.org/10.17576/jsm-2023-5211-05>
- Rodrigues, M. G., Arruda-Ferreira, A. F., Malagutti, E. S., Pinto, M., Monteiro, L. N., & de Sá, M. E. (2021). Cladode size and collection time for pitahaya propagation. *Ciencia e Agrotecnologia*, 45, e004821. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145004821>
- Seran, T. H., & Thresh, A. (2015). Root and shoot growth of dragon fruit (*Hylocereus undatus*) stem cutting as influenced by indole butyric acid. *Agricultural and Biological Sciences Journal*, 1(2), 27–30. <http://files.aiscience.org/journal/article/html/70040042.html>
- Sun, J., Li, H., Chen, H., Wang, T., Quan, J., & Bi, H. (2023). The effect of hormone types, concentrations, and treatment times on the rooting traits of morus ‘Yueshenda 10’ softwood cuttings. *Life*, 13(4), 1032. <https://doi.org/10.3390/life13041032>
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Yadav, A., Dhakar, M. K., Arunachalam, A., Jha, S., Garg, S., Gangwar, N., Handa, A. K., Alam, B., & Kadam, D. (2023). A review on the scope of adoption of underutilized climate smart dragon fruit (*Hylocereus* spp.) cultivation. *Applied Fruit Science*, 66, 297–309. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-01006-3>
- Zimmerman, T. W., Montilla, C., Harris, H., Gordon, J., & Smart, R. (2017). Evaluation of 25 varieties. In R. W. Godfrey, & R. Sterns (eds), *Agricultural Experiment Station* (pp. 20–25). United States Virgin Islands https://www.uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/AES/AES%202017%20Annual%20Report.pdf