

Efecto de las Formas de Nitrógeno en el Desarrollo Vegetativo de Tres Especies de Pitahaya Effect of Nitrogen Forms in the Vegetative Development of Three Pitahaya Species

Angélica Sierra-Balbuena¹, Yolanda Leticia Fernández-Pavía¹, Manuel Sandoval-Villa¹,
Alfonso Muratalla-Lua¹ y José Luis García-Cué¹

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5. Montecillo. 56264 Texcoco, Estado de México, México; (A.S.B.), (Y.L.F.P.), (M.S.V.), (A.M.L.), (J.L.G.C.).

[†] Autor para correspondencia: mapale1@colpos.mx

RESUMEN

El cultivo de pitahaya ha ganado popularidad a nivel mundial por su alta rentabilidad, también por el aspecto exótico del fruto y por sus propiedades nutritivas. Sin embargo, hay poca información sobre el manejo nutricional y las formas de nitrógeno que promuevan su desarrollo en etapa vegetativa. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la forma de nitrógeno (nitrato, amoniacal y combinado) en la solución nutritiva sobre el desarrollo vegetativo y estatus nutrimental de tres especies de pitahaya (*Selenicereus undatus*, *Selenicereus sp.* y *Selenicereus ocamponis*). La investigación se realizó en un invernadero en Santa Cruz Tacache de Mina, Oaxaca, México. Se propuso un diseño completamente al azar, con tres especies de pitahaya, cinco relaciones $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y cuatro repeticiones por tratamiento. Se evaluaron características tanto de crecimiento como de análisis químico de contenido nutrimental en tallos de las plantas por medio del análisis de varianza y prueba de separación de medias por la diferencia mínima significativa honesta de Tukey y análisis factorial por especie y relaciones de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. También, se contempló el uso de análisis no paramétricos de Kruskal-Wallis cuando fue necesario. En los resultados se destaca que en la especie *Selenicereus sp.* se incrementó el diámetro de costillas del esqueje y del brote con la relación 0/100; la altura de planta y número de brotes, materia fresca y seca aérea, longitud de raíz fue promovido con la relación 100/0. La concentración nutrimental se incrementó en tallos de *Selenicereus undatus* con la relación 50/50, en la *Selenicereus sp.* ocurrió con la relación 100/0 y en la *Selenicereus ocamponis* con la relación 75/25. En general, se concluye que el amonio promueve el desarrollo vegetativo en mayor o menor grado en las tres especies de pitahaya.

Palabras clave: amonio, cactácea, hidroponía, nitrato.

SUMMARY

Pitaya cultivation has gained global popularity due to its high profitability, exotic appearance, and nutritional properties. However, limited information exists on nutrient management and nitrogen forms that promote vegetative growth. The objective of the present research is to evaluate the effect of nitrogen (nitrate, ammonium, and combined) form in the nutrient solution on the vegetative development and nutritional status of three pitahaya species (*Selenicereus undatus*, *Selenicereus sp.*, and *Selenicereus ocamponis*). The study was conducted in a greenhouse in Santa Cruz Tacache de Mina, Oaxaca, Mexico. A completely randomized design was proposed with three pitahaya species, five $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratios, and four replicates per treatment. Growth characteristics and nutrimental content in plant stems were evaluated by using analysis of variance, Tukey's honest significant difference mean



Cita recomendada:

Sierra-Balbuena, A., Fernández-Pavía, Y. L., Sandoval-Villa, M., Muratalla-Lua, A., & García-Cué, J. L. (2025). Efecto de las Formas de Nitrógeno en el Desarrollo Vegetativo de Tres Especies de Pitahaya. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-17. e2142. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2142>

Recibido: 31 de octubre de 2024.

Acceptado: 16 de enero de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Junio de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Luis López-Pérez

Editor Técnico:

Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

separation test, and factorial analyses by species and $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio. Non-parametric Kruskal-Wallis tests were also considered when necessary. The results highlighted that in *Selenicereus sp.*, rib diameter of the cutting and shoot increased with the 0/100 ratio; plant height, number of shoots, fresh and dry aerial matter, and root length were promoted with the 100/0 ratio. Nutritional concentration was favored in *Selenicereus undatus* with the 50/50 ratio, *Selenicereus sp.* with 100/0 ratio, and *Selenicereus ocamponis* with 75/25 ratio. *Selenicereus sp.* developed favorably in the greenhouse with ammonium nitrogen form. In conclusion, nitrogen form combinations increase, in general, three pitahaya species vegetative development.

Index words: ammonium, cactaceae, hydroponics, nitrate.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es un macronutriente esencial para el desarrollo vegetal. Está involucrado en funciones como la síntesis de proteínas, la producción de clorofila y el crecimiento de los tejidos (Miller y Cramer, 2005; Chowdhury y Das, 2015). Las plantas absorben el N principalmente en forma de amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). La fuente utilizada puede modificar el pH del sustrato, influir en la disponibilidad de otros nutrientes, y afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Britto y Kronzucker, 2002; Chalk y Smith, 2021).

En cultivos convencionales, se ha observado que el NH_4^+ puede acidificar la rizosfera, inducir toxicidad y disminuir la absorción de cationes esenciales como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+), reflejándose en clorosis foliar y reducción del rendimiento (Boudsocq *et al.*, 2012; Parra, Lara, Villareal y Hernández, 2012; Britto y Kronzucker, 2013; Bittsánszky, Pilinszky, Gyulai y Komives, 2015). Sin embargo, aún se desconoce si estos efectos también se presentan en especies con metabolismo del ácido de las crasuláceas (CAM) como la pitahaya (*Selenicereus spp.*).

La pitahaya es una cactácea CAM con creciente importancia agrícola. Presenta tolerancia al estrés hídrico, facilidad de propagación vegetativa y frutos con propiedades nutraceuticas. (Hussain, Farooq, Muscolo y Rehman, 2020). Estos frutos son ricos en fibra, vitaminas y minerales y compuestos con actividad antioxidante, anticancerígena, antidiabética y cicatrizante (Patwary, Rahman, Barua, Sarkar y Alam, 2013; Ibrahim, Mohamed, Khedr, Zayed y El-Kholy, 2018).

Desde el punto de vista económico, su cultivo representa alternativa rentable en zonas con condiciones climáticas adversas. La demanda internacional ha crecido en Asia, Europa y América del Norte, con usos que van desde la fruta fresca hasta jugos, colorantes naturales y suplementos funcionales (Stintzing, Schieber y Carle, 2003; Esquivel y Quesada, 2012). En México, la superficie cultivada ha aumentado considerablemente: de 605 ha en 2015 a más de 2500 ha en 2023 (SIAP, 2023).

A pesar de su potencial, existe poca información sobre las necesidades nutricionales de la pitahaya. En particular, no se ha determinado cómo la forma de N influye en el desarrollo y el estado nutrimental de diferentes especies de pitahaya, lo cual impide definir estrategias de fertilización adecuadas (Costa *et al.*, 2015; Parmar, Pore, Sharma, Singh y Pandya, 2019).

Diversos estudios en otros cultivos han demostrado que combinar NH_4^+ y NO_3^- mejora el crecimiento vegetal, el equilibrio iónico y reduce la acumulación de NO_3^- en los tejidos (Campos-García, Sánchez, Alcántar y Calderón, 2016). Este último aspecto es relevante desde la perspectiva de la salud humana, ya que concentraciones elevadas de NO_3^- en los productos vegetales pueden transformarse en nitritos en el organismo, compuestos asociados a riesgos potenciales para la salud (Liu, Sung, Chen y Lai, 2014).

En este contexto, surge la necesidad de generar información sobre la respuesta fisiológica y nutrimental de distintas especies de pitahaya ante diferentes fuentes de N. La hipótesis de esta investigación plantea que la forma de nitrógeno influye significativamente en el desarrollo vegetativo y el estatus nutrimental de diferentes especies de la pitahaya, y que una fuente combinada de N optimiza el crecimiento y el equilibrio nutricional del cultivo. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la forma de N (nitrato, amoniacal y combinado en la solución nutritiva) sobre el desarrollo vegetativo y estatus nutrimental de tres especies de pitahaya (*Selenicereus undatus*, *Selenicereus sp.* y *Selenicereus ocamponis*).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante los meses de septiembre de 2023 a junio de 2024, en un invernadero con plástico blanco lechoso que proporciona un 40% de sombra ubicado en Santa Cruz Tacache de Mina, Oaxaca, México. Las coordenadas geográficas son: 17° 49' N y 98° 08' O, a 1098 m de altitud. Se registró la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero con un sensor (Elitech RC-4HC, Elitech Technology, China). Durante el periodo del experimento la temperatura mínima registrada fue de 7.9 °C y la máxima de 43.0 °C, mientras que la humedad relativa promedio fue de 48.7 por ciento.

Se utilizaron esquejes de 40 cm de longitud de tres especies de pitahaya: *Selenicereus undatus* (pulpa blanca), *Selenicereus sp.* (pulpa rosa) y *Selenicereus ocamponis* (pulpa púrpura), los cuales se obtuvieron de una plantación altamente productiva de dos años del Rancho "Los 15 Girasoles" en Santa Cruz Tacache de Mina, Oaxaca, México. El tratamiento previo a la plantación consistió en un corte apical para la inhibición de la dormancia y se aplicó azufre como fungicida para sellar el corte y evitar infecciones. La siembra se realizó en bolsas de polietileno negras de 15 L de capacidad con tepexil (piedra pómez) a una profundidad de 10 cm. Los riegos se realizaron de forma manual suministrando 1 L planta⁻¹ día⁻¹. Las soluciones nutritivas se aplicaron después de un periodo de tres semanas de adaptación que consistió en regar con agua corriente durante una semana y durante dos semanas con las soluciones nutritivas al 25% de su concentración.

Para cumplir con esta pesquisa, se propuso un diseño experimental completamente al azar que consistió en cinco soluciones nutritivas en tres especies de pitahaya dando un total de 15 tratamientos. Además, se consideraron cuatro repeticiones por tratamiento dando un total de 60 unidades experimentales. Las soluciones nutritivas se basaron en la solución universal de Steiner (1984) al 100% de su concentración original, se modificó la forma de N suministrada resultando en las siguientes cinco relaciones NH₄⁺/NO₃⁻: 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 y 100/0. Para el suministro de macronutrientes, se utilizaron las siguientes fuentes de fertilizantes solubles en agua: nitrato de potasio (KNO₃), nitrato de calcio (Ca(NO₃)₂), nitrato de magnesio (Mg(NO₃)₂), fosfato de potasio (KH₂PO₄) y sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄). Los micronutrientes se aplicaron para todos los tratamientos mediante un fertilizante comercial compuesto que contiene 9% de magnesio (Mg), 0.3% de hierro (Fe), 5.4% de zinc (Zn), 1.7% de manganeso (Mn), 0.1% de cobre (Cu) y 1.3% de boro (B). La concentración de los micronutrientes se ajustó en función del Fe, estableciendo un aporte final de 3 mg L⁻¹, acorde a la propuesta original de Steiner (1984). El pH de las soluciones se ajustó entre 5.5 y 6.0 (Hanna Combo HI98129, Hanna Instruments, Smithfield, RI, USA). Asimismo, se propuso un arreglo factorial tomando en cuenta las tres especies y cinco relaciones NH₄⁺/NO₃⁻.

Las variables evaluadas fueron clasificadas en dos grupos: crecimiento y análisis químico de concentración nutrimental. Primero, las variables de crecimiento fueron evaluadas mensualmente durante 270 días que incluyeron: distancia entre caras del esqueje y del brote, diámetro de las costillas, altura total de la planta y número de brotes. La distancia entre caras se definió como la medida lineal entre dos superficies opuestas del esqueje o brote en su sección transversal más ancha, y se consideró un indicador del engrosamiento del tallo, relacionado con la acumulación de biomasa. Para realizar las mediciones se utilizó un vernier digital (Truper®, México) y una cinta métrica. Al final del experimento, se midieron la materia fresca y seca de la parte aérea y raíz, además de longitud y diámetro de la raíz, para esto se eligieron tres plantas y se cosecharon, se lavaron con agua destilada y cada planta se separó en tres partes en bolsas de papel, la primera parte correspondió a la raíz, la segunda al tallo principal el cual se utilizó para determinar la concentración nutrimental y la tercera parte conformado por el resto del tejido vegetal aéreo. Para determinar el peso se utilizó una balanza (Rhino BAREC-5X, Rhino® Maquinaria S.A. de C.V., Ciudad de México, México). El material vegetal se trasladó al Laboratorio de Nutrición Vegetal del Postgrado de Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, donde se secaron hasta peso constante en una estufa de aire forzado (Riossa HCF-125D, Riossa®, Monterrey, México) a 70 °C. Finalmente, las muestras se molieron en un molino de cuchillas (Wiley Mill 4, Thomas Scientific®, Swedesboro, NJ, USA).

En cuanto al análisis químico de concentración nutrimental, la determinación del nitrógeno total se llevó a cabo utilizando el método micro-kjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999). Para la determinación de macronutrientes, específicamente fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn y Zn), y del sodio (Na), se realizó una digestión húmeda siguiendo la metodología de Alcántar y Sandoval (1999). En tubos de digestión de 30 mL se pesaron 0.5 g de material vegetal y se colocó en un tubo de digestión de 30 mL, se agregaron 8 mL de la mezcla de HNO₃:HClO₄ (relación 2:1, respectivamente) de muestras secas y molidas y se analizaron en un equipo de espectrometría de emisión e inducción por plasma (ICP-EOS 725-ES, Varian®, Palo Alto, CA, USA).

En el análisis estadístico, cada variable fue sometida a pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$) por tratamiento, si cumplían con dicha prueba se sometieron a un análisis de la varianza (ANDEVA) y se probó el modelo a través de la prueba de normalidad de los residuos (Shapiro-Wilk), o Prueba de homogeneidad de las varianzas de Barlett, e independencia. Más adelante se hicieron pruebas *post hoc* de diferencia mínima significativa honesta de Tukey o Prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). Posterior a esto, se hizo un ANDEVA del factorial tomando en cuenta las tres especies y las relaciones de NH₄⁺/NO₃⁻. Si la variable no cumplió con normalidad, se convirtió a logaritmos naturales (Ln) y se repitió la prueba de normalidad, las que cumplieron siguieron el procedimiento de ANDEVA y prueba del modelo. Aquellas que no cumplieron con normalidad o con las pruebas del modelo del ANDEVA fueron analizadas por pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis ($\alpha = 0.05$). Los cálculos estadísticos se apoyaron del software Statistical Analysis System-SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabes de Crecimiento

En las variables de crecimiento, se identificó que la mayor distancia entre caras del esqueje correspondió a la especie *Selenicereus undatus* cuando se suministró la relación 25/75 de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. Esta especie mostró un incremento significativo en esta variable cuando se combinaron las formas de N, diferenciándose de las otras especies evaluadas (Cuadro 1). Esto sugiere que el suministro de un porcentaje de amonio, e incluso el 100% de N en forma amoniacal promueve el aumento de distancia entre caras del esqueje.

En cuanto al diámetro de costillas del esqueje, la relación 50/50 no tuvo un efecto positivo significativo en ninguna de las tres especies. Sin embargo, *Selenicereus undatus* presentó un incremento del 10% en esta variable con la relación 75/25, en comparación con la solución que contenía únicamente nitrato.

Respecto a la altura total de la planta, se encontraron diferencias altamente significativas entre tratamientos y entre especies (Cuadro 2). La mayor altura fue registrada en la especie *Selenicereus sp.* con la relación 100/0, alcanzando un promedio de 433.22 ± 57.75 cm, mostrando un aumento progresivo conforme predominó la proporción de NH_4^+ en la solución nutritiva. Esta tendencia sugiere que el amonio favorece particularmente el crecimiento vegetativo en esta especie, con resultados superiores a los obtenidos en las demás especies estudiadas.

Cuadro 1. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la distancia entre caras del esqueje (edistm) y diámetro de costillas del esqueje (ediam) a 270 días después del trasplante (ddt) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 1. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on the distance between rib cutting (edistm) and diameter cutting (ediam) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	edistm	ediam
----- mm -----				
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	49.55±2.12 bc	8.15±0.37 c
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	67.50±4.40 a	7.10±0.18 c
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	50.90±3.23 abc	8.45±0.32 bc
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	54.72±6.69 ab	9.00±0.77 abc
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	54.32±3.12 ab	6.67±0.32 c
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	43.02±1.01 bc	12.60±1.05 a
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	52.20±5.30 abc	12.25±0.91 ab
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	43.65±0.92 bc	9.60±0.91 abc
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	41.70±2.49 bc	12.52±0.69 ab
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	42.87±3.40 bc	12.57±1.45 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	46.25±4.51 bc	9.00±0.55 abc
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	35.82±1.01 c	10.75±0.41 abc
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	42.95±3.28 bc	7.25±1.05 c
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	43.47±1.91 bc	8.95±0.63 abc
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	44.05±1.03 bc	9.35±1.13 abc
Pr_F			< 0001	< 0001
R ²			0.59	0.67
CV			14.72	16.78
DMSH			17.74	4.09

Media ± error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de la misma letra en las columnas no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Pr_F = probabilidad asociada a la F de Fisher ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación (%); DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$), Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Cuadro 2. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la altura total de la planta y número total de brotes (numbt) a 270 días después del trasplante (dat) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.
Table 2. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ in nutrient solution on total plant height and total number of shoots (numbt) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Altura [†]	numbt
			cm	
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	135.90±4.71 de	5.00±0.40 c
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	190.90±40.00 bcde	4.50±0.64 c
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	163.12±24.10 cde	6.00±0.70 c
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	144.30±13.33 de	3.75±0.47 c
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	173.37±10.58 cde	6.75±0.85 c
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	274.10±34.03 abcd	15.75±1.25 c
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	330.90±54.39 abc	16.00±1.58 a
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	358.22±33.60 ab	11.00±0.70 b
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	372.67±64.45 ab	13.75±0.85 ab
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	433.22±57.75 a	17.75±0.85 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	252.92±39.93 abcd	4.00±0.40 c
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	117.45±14.66 e	2.75±0.47 c
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	211.37±19.75 abcde	4.00±0.70 c
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	157.62±16.22 de	3.50±0.28 c
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	198.47±45.97 bcde	3.50±0.64 c
Pr _{≥F}			< 0001	< 0001
R ²			0.71	0.93
C.V.			5.23	20.18
DMSH			0.70	4.02

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); Altura[†] = se presentan los datos originales, el análisis estadístico se realizó con la variable convertida en ln; Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); Height[†] = original data are presented, statistical analysis was performed with the variable converted to ln; Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Según Ganmore y Kafkafi (1985), suministrar un exceso de NH_4^+ durante la etapa vegetativa puede inducir un crecimiento vegetativo vigoroso, lo cual coincide con lo observado en *S. sp.* Por su parte, *Selenicereus undatus* presentó un patrón diferente, mostrando una mejor respuesta a la combinación de ambas formas de N. Este comportamiento guarda relación con los resultados de Torres, Flores, Magdaleno y Pineda (2023), quienes reportaron una mayor altura (226.8 cm, 18% mayor) en esta misma especie al aplicar una solución con 25% de N total en forma de amonio.

Sin embargo, los valores alcanzados por en *S. sp.* en este estudio superan ampliamente esa referencia, lo que evidencia variabilidad interespecífica en respuesta al tipo de nitrógeno. En contraste, la especie *Selenicereus ocamponis* presentó la menor altura con la relación 25/75 evidenciando un posible efecto negativo del predominio de nitrato en esta variable, situación que se revirtió al aumentar la proporción de amonio.

En este sentido, si bien algunos autores como Degiovanni, Martínez y Motta (2010) han señalado que la combinación de amonio y nitrato puede generar mayores tasas de crecimiento, los resultados de este estudio no muestran una respuesta proporcional clara a dicha combinación en todas las especies. Más bien, la respuesta parece depender tanto del predominio de una u otra forma de N como de la especie en cuestión, ya que en ciertos casos las soluciones con un sola fuente de N (como 100/0 en *Selenicereus sp.*) promovieron un crecimiento superior respecto a las combinaciones.

El número total de brotes en *Selenicereus sp.* fue mayor con la relación 100/0, aunque no se registraron diferencias significativas respecto a los tratamientos 0/100, 25/75 y 75/25 en esta misma especie (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan parcialmente con los obtenidos por Torres *et al.* (2023) quienes reportaron un mayor número de brotes con 25% del N total en forma de amonio, obteniendo 21.2 brotes para la especie *Selenicereus undatus*. Sin embargo, este estudio presenta un enfoque comparativo entre especies, mostrando que *Selenicereus sp.* respondió positivamente a múltiples relaciones de $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$, a diferencia de *S. undatus* y *S. ocamponis*, donde ninguna relación promovió incrementos significativos en la emisión de brotes. Esta variabilidad podría atribuirse a diferencias genéticas o fisiológicas entre especies. Fernandes, Moreira, Da Cruz, Rabelo y De Oliveira (2018) destacan la importancia de los brotes nuevos, ya que estos formarán los tallos productivos, mientras que Da Silva *et al.* (2023) señalan que las condiciones climáticas también pueden influir en el número y crecimiento de los brotes, dependiendo de la especie.

El Cuadro 3 presenta los resultados de las variables de distancia entre caras del tallo y diámetro de costillas del tallo. *Selenicereus undatus* presentó los mayores valores de distancia entre caras del tallo y los tratamientos aplicados con esta especie fueron estadísticamente igual. En *Selenicereus sp.* la mayor distancia entre caras se observó con la relación 75/25, evidenciando un aumento al incluir amonio en la solución nutritiva. En cuanto al diámetro de costillas del tallo, *Selenicereus sp.* mostró diferencias altamente significativas, independientemente de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ suministrada.

Cuadro 3. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la distancia entre caras del tallo (BDISTM) y diámetro de costillas del brote (bdiam) a 270 días después del trasplante (ddt) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 3. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on the distance between stem ribs (bdistm) and rib shoot diameter (bdiam) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	bdistm	bdiam
----- mm -----				
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	46.62±3.05 abc	5.07±1.07 bcd
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	41.65±3.58 abcde	3.80±0.41 d
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	45.95±3.44 abcd	5.57±1.11 bcd
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	50.60±1.26 a	4.60±0.40 bcd
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	47.82±3.81 ab	2.62±0.30 d
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	33.92±1.42 de	9.95±1.49 a
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	32.37±1.80 e	9.55±0.46 a
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	35.12±2.24 cde	7.55±0.57 abc
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	36.25±3.72 bcde	9.67±0.65 a
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	35.42±1.69 bcde	8.30±0.49 ab
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	31.55±1.43 e	5.77±0.50 bcd
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	29.90±2.40 e	4.27±0.29 cd
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	33.25±0.86 e	4.87±0.91 bcd
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	33.55±2.42 de	4.32±0.34 cd
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	32.55±0.84 e	5.45±0.67 bcd
Pr _≥ F			<.0001	<.0001
R ²			0.70	0.75
CV			13.15	23.99
DMSH			12.59	3.70

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Para la materia fresca aérea, se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 4). La mayor acumulación se encontró en *Selenicereus sp.* con las todas las relaciones excepto con la 0/100. Aunado a ellos, el tratamiento correspondiente a la especie *Selenicereus undatus* con la relación 75/25 mostró un comportamiento o similar. En el caso de *Selenicereus ocamponis*, la mayor acumulación se observó al suministrar el 100% de N en forma de NO_3^- . Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la acumulación de materia seca aérea, aunque la mayor acumulación se encontró en *Selenicereus sp.* al suministrar N exclusivamente en forma amoniacal. Los resultados obtenidos fueron menores a los reportados por Torres et al. (2023), quienes indican una acumulación de materia fresca de $2500 \text{ g planta}^{-1}$ y $160 \text{ g planta}^{-1}$ de materia seca para la especie *Selenicereus ocamponis* a 279 días después del trasplante.

Respecto a la materia fresca de raíz, se encontraron diferencias significativas (Cuadro 5). La mayor acumulación de materia fresca de raíz se encontró con *Selenicereus sp.* con nitrato, aunque este tratamiento no difirió estadísticamente de los demás aplicados en esta misma especie, aunado a ellos, con los tratamientos 0/100, 25/75, 75/25 y 100/0 de la especie *Selenicereus undatus*, y con los tratamientos 0/100 y 100/0 de la especie *Selenicereus ocamponis*. Para la materia seca de raíz, no se encontraron diferencias significativas.

En las variables longitud y diámetro de la raíz no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 6). La mayor longitud de raíz se encontró en *Selenicereus sp.* al suministrar solo NH_4^+ , en cambio cuando se suministró el 100% de N en forma de nitrato se observa un efecto inhibitorio. La mayor longitud de raíz encontrada en este estudio fue 76% más larga que la longitud de la raíz más larga reportada por Rodrigues et al. (2021), en su trabajo de propagación de *Selenicereus undatus* con cladodios de diferentes tamaños y épocas de recolección. El mayor diámetro de la raíz se obtuvo al suministrar el 100% de N en forma de nitrato en *Selenicereus ocamponis* y el menor diámetro se obtuvo en *Selenicereus sp.* con la relación 50/50.

Cuadro 4. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la materia fresca aérea (mfa) y la materia seca aérea (msa) a 270 días después del trasplante (DDT) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 4. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on aerial fresh matter (MFA) and aerial dry matter (msa) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	mfa	msa
			g	mg
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	319.2±48.65 bcd	39.16±11.10 abc
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	339.4±40.90 bcd	42.46±3.92 abc
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	241.8±46.98 cd	28.76±6.70 abc
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	400.2±66.47 abcd	31.53±5.57 abc
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	253.6±62.76 cd	32.73±2.78 abc
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	298.0±27.40 bcd	30.40±5.98 abc
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	566.6±70.45 abc	43.73±9.22 abc
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	410.53±60.74 abcd	42.43±3.53 abc
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	606.13±141.47 ab	50.30±5.37 ab
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	685.63±94.86 a	56.76±9.34 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	493.60±44.45 abcd	34.53±2.51 abc
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	199.33±20.29 d	16.23±2.88 c
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	334.26±3.51 bcd	30.73±2.79 abc
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	289.93±27.20 bcd	24.56±0.94 bc
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	321.83±87.76 bcd	28.13±6.14 abc
Pr _≥ F			0.0002	0.0052
R ²			0.69	0.58
CV			29.43	29.08
DMSH			340.07	31.072

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Cuadro 5. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la materia fresca de raíz (mfr) y la materia seca de raíz (msr) a 270 días después del trasplante (dat) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.
Table 5. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution on root fresh matter (mfr) and root dry matter (msr) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	mfr	msr [†]
			g	mg
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	31.33±1.85 ab	7.48±2.93 a
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	36.66±6.33 ab	8.82±2.43 a
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	26.66±2.84 b	4.05±0.43 a
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	31.00±1.73 ab	6.86±1.38 a
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	31.00±2.88 ab	4.64±0.67 a
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	50.33±5.48 a	7.49±0.90 a
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	42.00±7.00 ab	6.24±1.03 a
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	33.33±1.20 ab	5.53±0.37 a
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	35.33±2.96 ab	5.72±0.86 a
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	44.00±2.51 ab	6.56±0.23 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	32.33±0.88 ab	5.35±0.36 a
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	25.00±4.04 b	5.07±1.33 a
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	26.00±2.64 b	5.23±0.32 a
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	23.33±1.20 b	4.88±0.75 a
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	29.33±10.10 ab	5.09±1.22 a
Pr_F			0.0061	0.4322
R ²			0.58	0.32
CV			22.80	19.20
DMSH			22.769	0.9965

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); msr[†] = se presentan los datos originales, para su análisis estadístico se convirtieron a ln; Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); msr[†] = original data are presented, for statistical analysis they were converted to ln; Pr_F = ($P \leq 0.05$), R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

En el análisis factorial, se reveló que el factor especie tuvo un efecto altamente significativo en la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas, incluyendo distancia entre caras del esqueje, diámetro de las costillas del esqueje, altura total de la planta, distancia entre caras del tallo, diámetro de las costillas del tallo, número total de brotes, materia fresca aérea, materia seca aérea, materia seca de raíz, longitud y diámetro de raíz (Cuadros 7 y 8). El del factor relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ afectó significativamente el número total de brotes y longitud de raíz. Mientras que el efecto de la interacción especie x relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ mostró significancia estadística en las variables distancia entre caras del esqueje, altura total de la planta, número total de brotes, materia fresca aérea, materia seca aérea y diámetro de raíz. Estos resultados evidencian la importancia de considerar tanto la especie como la forma y proporción de nitrógeno para optimizar el crecimiento de *Selenicereus spp.*

Análisis Químico Nutricional

Macronutrientes

En el análisis de varianza aplicado a las concentraciones de los macronutrientes P, Mg y S se encontraron diferencias significativas (Cuadro 9). *Selenicereus sp.* obtuvo la mayor acumulación de P, Mg y S al suministrar N exclusivamente en forma amoniacal. Además, para la concentración de S, el tratamiento 75/25 en la misma especie obtuvo resultados estadísticamente similares. La concentración de P y de S, pueden aumentar al suministrar

Cuadro 6. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva sobre la longitud de raíz (lr) y el diámetro de raíz (diar) a 270 días después del trasplante (ddt) en tres especies de pitahaya cultivadas en condiciones de invernadero e hidroponía.
Table 6. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution on root length (LR) and root diameter (diar) at 270 days after transplanting (dat) in three pitahaya species grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	lr cm	diar mm
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	18.43±1.09 abcd	8.16±0.31 b
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	20.13±0.48 ab	10.53±0.32 ab
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	16.33±0.56 abcde	11.93±0.44
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	18.43±0.68 abcd	12.23±0.67 a
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	19.03±0.26 abc	9.43±0.49 ab
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	15.56±0.39 bcde	9.13±0.48 ab
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	18.46±2.19 abcd	9.10±0.55 ab
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	16.73±0.88 abcde	8.13±0.17 b
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	20.06±0.97 ab	8.23±0.55 b
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	20.73±1.44 a	9.66±0.37 ab
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	13.33±0.60 e	12.26±1.33 a
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	14.50±0.47 cde	10.60±0.64 ab
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	13.90±0.45 de	10.03±0.98 ab
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	13.46±0.56 e	10.53±1.35 ab
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	16.80±0.37 abcde	9.10±0.65 ab
Pr_F			< 0001	0.0009
R ²			0.78	0.64
CV			9.21	12.35
DMSH			4.73	3.6965

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Cuadro 7. Análisis de varianza del efecto de los factores especie de pitahaya, relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y su interacción sobre las variables distancia entre caras del esqueje (Edistm), diámetro de las costillas del esqueje (ediam), altura total de la planta (alt), distancia entre caras del tallo (bdistm), diámetro de las costillas del tallo (bdiam) y número total de brotes (numbt).

Table 7. Analysis of variance of the effect of pitahaya species, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio, and their interaction on the variable distance between ribs of the cutting (edistm), rib diameter of the cutting (ediam), total plant height (alt), distance between stem ribs (bdistm), rib stem diameter (bdiam), and total number of shoots (numbt).

FV	Variables					
	edistm	ediam	alt [†]	bdistm	bdiam	numbt
Especie	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**
SN	0.3363ns	0.0772ns	0.2552ns	0.1127ns	0.1780ns	0.0037**
Esp x SN	0.0160*	0.0588ns	0.0219*	0.9839ns	0.0940ns	0.0006**

*significativo al 5% de probabilidad, **significativo al 1% de probabilidad, ns = no significativo. FV = fuente de variación; Esp = especie; SN = relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva; alt[†] = para su análisis estadístico se utilizaron valores convertidos a ln.

*significant at 5% probability, **significant at 1% probability, ns = not significant. FV = source of variation; Esp = species; SN = $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution; alt[†] = values converted to ln were used for statistical analysis.

Cuadro 8. Análisis de varianza del efecto de los factores especie de pitahaya, relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y su interacción sobre las variables materia fresca aérea (mfa), materia seca aérea (msa), materia fresca de raíz (mfr), materia seca de raíz (msr), longitud de raíz (lr) y diámetro de raíz (diar).

Table 8. Analysis of variance of the effect of pitahaya species, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio, and their interaction on the variables aerial fresh matter (mfa), aerial dry matter (msa), root fresh matter (mfr), root dry matter (msr), root length (lr), and root diameter (diar).

FV	Variables					
	mfa	msa	mfr	msr	lr	diar
Especie	0.0002**	0.0002**	< 0001**	0.2299ns	< 0001**	0.0010**
SN	0.5577ns	0.8129ns	0.0804ns	0.3297ns	0.0006**	0.5868ns
Esp x SN	0.0031**	0.0469*	0.6510ns	0.5792ns	0.0920ns	0.0016**

*significativo al 5% de probabilidad, **significativo al 1% de probabilidad, ns = no significativo. FV = fuente de variación; Esp = especie; SN = relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva; msr^t = para su análisis estadístico se utilizaron valores convertidos a ln.

*significant at 5% probability, **significant at 1% probability, ns = not significant. FV = source of variation; Esp = species; SN = $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution; msr^t = values converted to ln were used for statistical analysis.

Cuadro 9. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva en la concentración de los macronutrientes P, Mg y S en tallos de tres especies de pitahaya en etapa vegetativa (270 ddt), producidas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 9. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution on the concentration of macronutrients P, Mg, and S in the stems of three pitahaya species in the vegetative stage (270 DAT), grown under greenhouse and hydroponic condition.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	P ^t	Mg	S ^t
----- g kg ⁻¹ -----					
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	0.20±0.01 gh	0.65±0.01 efg	0.62±0.00 b
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	0.18±0.00 hi	0.57±0.02 ij	0.52±0.01 d
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	0.64±0.01 e	0.61±0.00 ghi	0.44±0.00 f
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	0.95±0.01 c	0.60±0.01 ghij	0.45±0.00 f
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	0.90±0.02 c	0.56±0.01 j	0.41±0.01 g
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	0.17±0.00 i	0.78±0.01 c	0.33±0.00 i
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	0.11±0.00 j	0.59±0.00 hij	0.38±0.00 gh
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	0.69±0.01 de	0.71±0.00 d	0.50±0.01 de
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	1.18±0.01 b	0.93±0.00 b	0.68±0.01 a
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	1.53±0.02 a	0.99±0.02 a	0.69±0.01 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	0.21±0.00 g	0.76±0.01 c	0.37±0.00 h
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	0.16±0.00 i	0.67±0.00 def	0.39±0.01 gh
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	0.47±0.00 f	0.62±0.00 fgh	0.34±0.01 i
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	0.77±0.03 d	0.69±0.00 de	0.47±0.05 ef
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	0.70±0.02 de	0.61±0.01 ghi	0.57±0.02 c
Pr_F			< 0001	< 0001	< 0001
R ²			0.99	0.98	0.99
CV			-4.62	2.30	-3.32
DMSH			0.1129	0.0481	0.0754

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); P^t y S^t = se presentan los datos originales, para su análisis estadístico se convirtieron a ln Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta.

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); P^t and S^t = original data are presented; statistical analysis analyses were converted to ln Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

N en forma amoniacal debido a la necesidad de mantener el equilibrio de aniones y cationes en la planta (Rengel, Cakmak y White, 2022). Este efecto se puede observar en la concentración de P en las tres especies de pitahaya estudiadas, pero en el caso del S, la especie *Selenicereus undatus* mostró un comportamiento que difiere con lo mencionado, ya que al predominar la forma amoniacal en la solución nutritiva disminuyó la concentración de S, lo que podría estar influido por la especie y las condiciones ambientales.

Urbina-Sánchez et al., (2020) han demostrado que un aumento en la concentración de N amoniacal reduce la concentración de Mg en las hojas en su estudio realizado en plantas de chile (*Capsicum annuum* L.). Esto coincide con los efectos observados en las especies *Selenicereus undatus* y *Selenicereus ocamponis* cuando al aumentar la concentración de la forma amoniacal resultó en una menor concentración de Mg. Sin embargo, en *Selenicereus* sp. incrementó la acumulación de Mg al predominar el NH_4^+ en la solución nutritiva.

El análisis no paramétrico Kruskal-Wallis, realizado en los macronutrientes N, K y Ca, también encontró diferencias significativas (Cuadro 10). La mayor concentración de N se obtuvo al suministrar la relación 75/25 en la especie *Selenicereus ocamponis* con la relación 75/25. En *Selenicereus undatus* se observó un incremento de la concentración de N cuando se combinaron ambas formas de N, mientras que, al suministrar una sola fuente de N, se encontró una disminución de la concentración de N total, aunque fue mayor cuando se suministró N en forma amoniacal. En *Selenicereus* sp. y *Selenicereus ocamponis* se observó un aumento de la concentración de N conforme la concentración de N en forma amoniacal predominó. Los resultados difieren con los de Gallegos-Vázquez, Olivares, Vázquez y Zavala (2000), quienes observaron una mayor concentración de N en los tratamientos que incluían nitrato comparado con los tratamientos que contenían amonio en plantas de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.). Según este estudio, la preferencia de la forma de N depende tanto de la especie de la planta como de los factores ambientales. Además, altas concentraciones de NH_4^+ en la solución nutritiva induce la absorción de N en forma catiónica, reduciendo la absorción del anión NO_3^- . Este proceso puede ocasionar una liberación excesiva de H^+ desde las células de la raíz para mantener el balance dentro de las plantas, lo que podría disminuir el pH de la rizosfera a niveles que pueden ocasionar daños a las plantas (Hawkesford et al., 2012).

Cuadro 10. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva y prueba de Kruskal-Wallis de la concentración de N, K y Ca en tallos de tres especies de pitahaya en etapa vegetativa (270 ddt), producidas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 10. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in nutrient solution and Kruskal-Wallis test of the concentration of N, K, and Ca in the stems of three pitahaya species in the vegetative stage (270 dat), grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	N	K	Ca
----- g kg ⁻¹ -----					
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	2.28±0.03	1.76±0.46	2.73±0.08
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	2.19±0.02	1.51±0.03	2.82±0.07
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	2.61±0.01	1.27±0.01	2.88±0.63
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	2.75±0.02	1.31±0.03	3.10±0.03
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	2.31±0.00	1.69±0.42	2.85±0.04
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	1.91±0.06	1.21±0.03	4.92±0.05
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	1.84±0.02	0.99±0.15	2.80±0.03
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	2.17±0.00	1.14±0.03	3.66±0.05
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	2.26±0.03	1.20±0.03	4.03±0.04
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	2.73±0.05	1.27±0.04	3.11±0.01
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	1.93±0.06	1.51±0.04	3.67±0.02
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	1.89±0.05	1.30±0.001	3.07±0.09
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	2.33±0.01	0.57±0.01	2.98±0.01
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	2.84±0.02	1.43±0.08	3.68±0.01
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	2.61±0.02	0.84±0.06	2.63±0.05
χ^2			42.16	33.70	40.80
P_ χ^2			0.0001	0.0022	0.0002
Significancia			*	*	*

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus* sp. * Pr_ $\chi^2 \leq 0.05$ indica significancia estadística según la prueba de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$).

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus* sp. * Pr_ $\chi^2 \leq 0.05$ indicates statistical significance according to the Kruskal-Wallis test ($P \leq 0.05$).

Respecto a la concentración del K, los tratamientos mostraron valores muy similares (Cuadro 10). La mayor acumulación de K fue con el tratamiento NT11, es decir, con la especie *Selenicereus undatus* y el suministro de N exclusivamente con nitrato. Szczerba, Britto y Kronzucker (2006) mencionan que el amonio compite con el K para ingresar a las células por lo que puede interferir en su absorción y acumulación. La mayor concentración de Ca se encontró cuando se suministró nitrato a la especie *Selenicereus sp.* Britto y Kronzucker (2002) explican que suministrar altas concentraciones de NH_4^+ puede inhibir la absorción de los cationes como K, Ca y Mg, lo que aumenta el estrés oxidativo y el gasto de energía para mantener bajos niveles de NH_4^+ en el citosol. En este estudio las concentraciones de K y Ca se elevaron cuando se el suministro fue con el 100% de N en forma de nitrato.

Micronutrientes

Para los micronutrientes Zn y Cu se encontraron diferencias significativas (Cuadro 11). La concentración de Zn fue estadísticamente significativa en *Selenicereus sp.* al suministrar el 100% de N amoniacal, lo cual fue estadísticamente significativa. Además, en esta misma especie, al combinar las formas de N se observaron concentraciones mayores de Zn estadísticamente significativas con el resto de las especies. En la especie *Selenicereus undatus* se observó que al incrementar el suministro de amonio se disminuyó la concentración de Zn. Según Fleming, Krizek y Mirecki (1987), altas cantidades de amonio puede desencadenar desordenes fisiológicos como la reducción de Zn. Por otra parte, la mayor concentración de Cu se encontró al suministrar solo la forma amoniacal en la especie *Selenicereus sp.* con diferencias significativas con las otras especies.

Cuadro 11. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva en la concentración de los micronutrientes Zn y Cu en tallos de tres especies de pitahaya en etapa vegetativa (270 ddt), producidas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 11. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution on the concentration of micronutrients Zn and Cu in the stems of three pitahaya species in the vegetative stage (270 dat), grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Zn	Cu
			----- mg kg ⁻¹ -----	
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	34.95±0.30 ef	6.21±0.35 gh
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	21.09±0.56 ij	5.48±0.34 h
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	27.56±0.45 h	7.55±0.03 efg
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	18.72±0.25 j	6.81±0.22 gh
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	15.53±0.32 k	9.50±0.04 bcd
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	39.50±0.71 d	7.57±0.17 efg
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	41.66±0.90 d	6.92±0.32 fgh
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	46.15±0.50 c	9.85±0.24 bcd
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	49.26±0.75 b	9.90±0.47 bc
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	53.14±0.16 a	11.82±0.26 a
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	36.52±0.24 e	8.60±0.01 cde
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	35.67±0.26 e	10.34±0.25 ab
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	22.48±0.48 i	6.47±0.29 gh
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	32.46±0.04 fg	10.89±0.50 ab
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	31.82±0.93 g	8.36±0.24 def
Pr_F			< 0001	< 0001
R ²			0.99	0.95
CV			2.71	5.96
DMSH			2.76	1.513

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

En cuanto al B y el Na, se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12). *Selenicereus ocamponis* obtuvo la mayor concentración de B con la relación 25/75. Sin embargo, en las especies *Selenicereus undatus* y *Selenicereus sp.* no se encontraron efectos significativos en la absorción de B. Por otra parte, la mayor acumulación de Na se obtuvo en la especie *Selenicereus ocamponis* cuando el suministro del 100% de N en forma de nitrato, esta acumulación fue un 77% mayor que la reportada por De Castro-Lima *et al.* (2019) en pitahaya roja (*Hylocereus sp.*) a los 270 días, quienes reportan 400 mg planta⁻¹. La absorción de Na es importante en especies como la pitahaya, que utilizan la vía CAM para la fijación de carbono, para la regeneración del fosfoenolpiruvato (Taiz, Zeiger, Moller y Muypfy, 2017).

El análisis de los micronutrientes Fe y Mn, utilizando el método no paramétrico de Kruskal-Wallis, también encontró diferencias significativas (Cuadro 13). Suministrar la relación 50/50 favoreció la concentración de Fe en la especie *Selenicereus ocamponis* con una relación 50/50, y ocurrió un efecto similar en *Selenicereus undatus*, sugiriendo que el equilibrio de las formas de N favorece la absorción de Fe en estas especies. Por otra parte, en *Selenicereus sp.*, la mayor absorción de Fe y Mn se encontró con la relación 75/25. En *Selenicereus ocamponis* la absorción de Mn incrementó con la presencia de amonio en la solución.

En el análisis factorial, se determinó que los efectos, tanto de los factores especie y relación NH₄⁺/NO₃⁻ e interacción, fueron significativos para las concentraciones de los macronutrientes (P, Mg y S), de los micronutrientes (Zn, Cu y B) y del Na (Cuadro 14).

En *Selenicereus undatus*, la acumulación de nutrientes y Na en los cladodios fue mayor con la relación 50/50, con el siguiente el orden decreciente de acumulación: Ca > N > K > P > Mg > S > Na > Fe > Mn > B > Zn > Cu.

Cuadro 12. Efecto de la relación NH₄⁺/NO₃⁻ de la solución nutritiva en la concentración de B y Na en tallos de tres especies de pitahaya en etapa vegetativa (270 ddt), producidas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 12. Effect of NH₄⁺/NO₃⁻ ratio in nutrient solution on B and Na concentration in the stems of three pitahaya species in the vegetative stage (270 dat), grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻	B	Na
----- mg kg ⁻¹ -----				
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	60.01±1.13 bcd	555.52±27.71 bc
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	61.44±0.34 bc	658.54±9.84 ab
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	61.52±1.60 bc	564.47±12.53 bc
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	60.86±1.26 bcd	580.68±36.92 bc
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	55.86±0.65 def	499.24±29.83 cd
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	55.51±1.28 def	568.40±20.69 bc
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	51.44±0.86 ef	430.09±16.10 de
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	56.83±1.02 cde	559.25±27.04 bc
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	54.20±1.40 ef	429.39±4.70 de
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	52.29±1.12 ef	533.61±31.84 dc
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	59.83±0.96 bcd	708.26±28.38 a
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	67.33±0.83 a	520.38±15.59 dc
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	50.42±0.52 f	336.80±5.09 e
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	65.13±0.77 ab	564.97±23.57 bc
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	51.55±1.22 ef	339.80±16.56 e
Pr_F			< 0001	< 0001
R ²			0.91	0.90
CV			3.17	7.46
DMSH			5.4991	117.58

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Las medias seguidas de las mismas letras en las columnas son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$), R² = coeficiente de determinación; CV = coeficiente de variación en porcentaje; DMSH = diferencia mínima significativa honesta. Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* Means followed by the same letters in the columns are statistically equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); Pr_F = ($P \leq 0.05$); R² = coefficient of determination; CV = coefficient of variation in percentage; DMSH = honest least significant difference.

Cuadro 13. Efecto de la relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ de la solución nutritiva y prueba de Kruskal-Wallis de la concentración de los micronutrientes Fe y Mn en tallos de tres especies de pitahaya en etapa vegetativa (270 ddt), producidas en condiciones de invernadero e hidroponía.

Table 13. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution and Kruskal-Wallis test of the concentration of micronutrients Fe and Mn in the stems of three pitahaya species in the vegetative stage (270 dat), grown under greenhouse and hydroponic conditions.

Tratamiento	Especie	Relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	Fe	Mn
			-----mg kg ⁻¹ -----	
NT11	<i>S. undatus</i>	0/100	71.25±1.41	37.16±2.03
NT12	<i>S. undatus</i>	25/75	107.35±3.52	47.20±0.56
NT13	<i>S. undatus</i>	50/50	155.62±27.54	84.01±0.13
NT14	<i>S. undatus</i>	75/25	105.15±7.46	83.70±0.76
NT15	<i>S. undatus</i>	100/0	95.03±1.20	79.35±0.66
NT21	<i>S. sp.</i>	0/100	126.51±7.76	51.65±0.73
NT22	<i>S. sp.</i>	25/75	128.81±2.88	69.82±0.47
NT23	<i>S. sp.</i>	50/50	131.28±1.94	82.95±5.32
NT24	<i>S. sp.</i>	75/25	148.36±4.79	116.08±0.73
NT25	<i>S. sp.</i>	100/0	128.59±9.03	91.59±2.46
NT31	<i>S. ocamponis</i>	0/100	140.94±3.29	58.56±0.62
NT32	<i>S. ocamponis</i>	25/75	138.24±3.65	57.94±0.45
NT33	<i>S. ocamponis</i>	50/50	182.92±9.81	106.00±3.02
NT34	<i>S. ocamponis</i>	75/25	115.69±1.58	94.38±2.35
NT35	<i>S. ocamponis</i>	100/0	118.26±9.74	80.61±1.07
χ^2			34.23	42.79
P_ χ^2			0.0019	< 0001
Significancia			*	*

Media ± Error estándar. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* * Pr_ χ^2 ≤ 0.05 indica significancia estadística según la prueba de Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$).

Mean ± Standard error. *S. sp.* = *Selenicereus sp.* * Pr_ χ^2 ≤ 0.05 indicates statistical significance according to the Kruskal-Wallis test ($P \leq 0.05$).

En *Selenicereus sp.*, combinar las fuentes de N favoreció el incremento de la concentración, pero se obtuvieron mayores concentraciones al suministrar únicamente amonio. Con esta fuente de N se obtuvo el siguiente orden de acumulación: Ca > N > P > K > Mg > S > Na > Fe > Mn > Zn > B > Cu. Por último, en *Selenicereus ocamponis*, la mayor acumulación de nutrientes ocurrió con la relación 75/25, siguiendo el orden: Ca > N > P > Mg > S > Na > Fe Mn > B > Zn > Cu.

Cuadro 14. Análisis de varianza del efecto de los factores especie de pitahaya, relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ y su interacción sobre las variables nutrimentales P, Mg, S, Zn, Cu, B y Na.

Table 14. Analysis of variance of the effect of pitahaya species, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio, and their interaction on the nutritional variables P, Mg, S, Zn, Cu, B, and Na.

FV	Macronutrientes			Micronutrientes			
	P [†]	Mg	S [†]	Zn	Cu	B	Na
Esp	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**
SN	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**
Esp × SN	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**	< 0001**

**significativo al 1% de probabilidad; FV = fuente de variación; Esp = especie; SN = relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ en la solución nutritiva; P[†] y S[†] = para su análisis estadístico se utilizaron valores convertidos a ln.

**significant at 1% probability; FV = source of variation; Esp = species; SN = $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio in the nutrient solution; P[†] and S[†] = for statistical analysis, values converted to ln were used.

De acuerdo con De Castro-Lima *et al.* (2019), en pitahaya roja (*Selenicereus sp.*) el orden decreciente de acumulación de nutrientes fue: K > Ca > N > P > Mg > Na > Zn > Fe > Mn > B > Cu. Los autores Granados y Castañeda (1996) mencionan que los principales macronutrientes acumulados en las cactáceas son el Ca y el K. Además, Nobel y De la Barrera (2004) resaltan que la concentración de N es importante en el estado fisiológico vegetativo e incrementa el desarrollo de *Selenicereus undatus*, lo cual explica que el N sea el segundo nutrimento más acumulado en estos estudios.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación evidencian que la forma y proporción del nitrógeno influyen de manera diferencial en el desarrollo vegetativo y el estado nutrimental de las pitahayas, dependiendo de la especie. Esto resalta la importancia de adaptar el manejo nutrimental a las particularidades fisiológicas de cada *Selenicereus*.

El suministro combinado de nitrógeno favoreció la concentración de nutrientes en los tallos, especialmente en *Selenicereus undatus* con la relación 50/50 y en *Selenicereus ocamponis* con 75/25. Por su parte, *Selenicereus sp.* mostró una alta tolerancia al amonio, con respuestas positivas incluso en la relación 100/0, lo que reflejó en un mayor crecimiento vegetativo.

Cada especie respondió de forma específica: en *Selenicereus sp.* se favorecieron variables como la distancia entre caras del tallo, la altura de la planta, el número de brotes, la materia fresca y seca aérea y longitud de raíz con relaciones ricas en amonio. En *Selenicereus undatus*, la combinación 75/25 promovió la distancia entre caras del tallo y en *Selenicereus ocamponis* la relación 0/100 incrementó el diámetro de raíz.

El análisis factorial evidencio efectos significativos del factor especie en la distancia entre caras del esqueje y del tallo, diámetro de las costillas del esqueje y del tallo, altura de la planta, número de brotes, materia fresca y seca aérea y de raíz, longitud y diámetro de raíz. Mientras que el factor relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ mostró efectos significativos en las variables número total de brotes y longitud de raíz. En las variables nutrimentales fue evidente el efecto de tanto de los factores especie y relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ así como de su interacción.

En conjunto, *Selenicereus sp.* destacó por su vigor vegetativo bajo nutrición amoniacal, lo que la posiciona como una especie prometedora para estrategias de manejo nutrimental diferenciado en pitahaya.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Colegio de Postgraduados presupuesto de investigación de los coautores.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: M.S.V. Metodología: M.S.V. y A.M.L. Software: J.L.G.C. Validación: A.S.B., Y.L.F.P., M.S.V. y J.L.G.C. Análisis formal: A.S.B. y Y.L.F.P. Investigación: A.S.B. Recursos: Y.L.F.P. y M.S.V. Curación de datos: A.S.B. y J.L.G.C. Escritura: preparación del borrador original, A.S.B. y Y.L.F.P. Escritura: revisión y edición, A.S.B., Y.L.F.P., M.S.V., A.M.L. y J.L.G.C.; visualización, A.S.B.; supervisión, Y.L.F.P.; administración del proyecto, Y.L.F.P. y M.S.V.; adquisición de fondos, Y.L.F.P. y M.S.V.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al CONAHCYT por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría. Agradecimiento al Colegio de Postgraduados por los auspicios para llevar a cabo el experimento. Agradecimientos al Rancho "Los 15 Girasoles" y a la Ing. Xochilt Sierra Balbuena por la donación del material vegetal utilizado para esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal: guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Chapingo, Estado de México, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Boudsocq, S., Niboyet, A., Lata, J. C., Raynaud, X., Loeuille, N., Mathieu, J., ... & Barot, S. (2012). Plant preference for ammonium versus nitrate: a neglected determinant of ecosystem functioning? *The American Naturalist*, *180*(1), 60-69.
- Bittsánszky, A., Pilinszky, K., Gyulai, G., & Komives, T. (2015). Overcoming ammonium toxicity. *Plant Science*, *231*, 184-190. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.12.005>
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2002). NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, *159*(6), 567-584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2013). Ecological significance and complexity of N-source preference in plants. *Annals of Botany*, *112*(6), 957-963. <https://doi.org/10.1093/aob/mct157>
- Campos-García, T., Sánchez-García, P., Alcántar-González, G., & Calderón-Zavala, G. (2016). Respuesta agronómica y nutrimental de fresa a soluciones nutritivas con diferente relación $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *7*(3), 509-606. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.319>
- Costa, A. C., Ramos, J. D., dos Reis Silva, F. O., de Menezes, T. P., Moreira, R. A., & Duarte, M. H. (2015). Adubação orgânica e Lithothamnium no cultivo da pitaya vermelha. *Semina: Ciências Agrárias*, *36*(1), 77-87.
- Chalk, P., & Smith, C. (2021). On inorganic N uptake by vascular plants: can ^{15}N tracer techniques resolve the NH_4^+ versus NO_3^- "preference" conundrum? *European Journal of Soil Science*, *72*(4), 1762-1779.
- Chowdhury, A., & Das, A. (2015). Nitrate accumulation and vegetable quality. *International Journal of Science and Research*, *4*, 1668-1672.
- Da Silva, J. R., Junior, J. A. R., Neto, J. A. P., Andrade, F. C., Reis, L. L. D., & De Araújo, J. R. (2023). Vegetative growth and flowering of dragon fruit species according to branch pruning management and application of superabsorbent polymer. *Revista Agrogeoambiental*, *15*, e20231797. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v15nunico20231797>
- De Castro-Lima, D., Mendes, N. V. B., De Medeiros-Corrêa, M. C., Taniguchi, C. A. K., Queiroz, R. F., & Natale, W. (2019). Growth and nutrient accumulation in the aerial part of red Pitaya (*Hylocereus* sp.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, *41*(5). <https://doi.org/10.1590/0100-29452019030>
- Degiovanni-Beltramo, V. M., Martínez-Racines, C. P., & Motta, F. (2010). *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Esquivel, P., & Quesada, A. Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, *3*(1), 113-129.
- Fernandes, D. R., Moreira, R. A., Da Cruz, M. D. C. M., Rabelo, J. M., & De Oliveira, J. (2018). Improvement of production and fruit quality of pitayas with potassium fertilization. *Acta Scientiarum Agronomy*, *40*(1), 35290. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35290>
- Fleming, A. L., Krizek, D. T., & Mirecki, R. M. (1987). Nitrogen: Influence of ammonium nutrition on the growth and mineral composition of two chrysanthemum cultivars differing in drought tolerance. *Journal of Plant Nutrition*, *10*(9-16), 1869-1881.
- Gallegos-Vázquez, C., Olivares-Sáenz, E., Vázquez-Alvarado, R., & Zavala-García, F. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, *18*(2), 133-139.
- Ganmore-Neumann, R., & Kafkafi, U. (1985). The effect of root temperature and nitrate/ammonium ratio on strawberry plants. II. Nitrogen uptake, mineral ions, and carboxylate concentrations. *Agronomy Journal*, *77*(6), 835-840.
- Granados, D. S., & Castañeda, P. A. D. (1996). *El nopal, historia, fisiología, genética e importancia frutícola*. D. F., México: Ed. Tillas.
- Hawkesford, M., Horts, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. In P. Marschner (Ed.), *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 135-189). San Diego, CA, USA: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00006-6>
- Hussain, M. I., Farooq, M., Muscolo, A., & Rehman, A. (2020). Crop diversification and saline water irrigation as potential strategies to save freshwater resources and reclamation of marginal soils - a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(23), 28695-28729. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09111-6>
- Ibrahim, S. R. M., Mohamed, G. A., Khedr, A. I. M., Zayed, M. F., & El-Kholy, A. A. E. S. (2018). Genus *Hylocereus*: Beneficial phytochemicals, nutritional importance, and biological relevance - A review. *Journal of Food Biochemistry*, *42*, e12491. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12491>
- Liu, C. W., Sung, Y., Chen, B. C., & Lai, H. Y. (2014). Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *11*(4), 4427-4440. <https://doi.org/10.3390/ijerph110404427>
- Miller, A. J., & Cramer, M. D. (2005) Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant and Soil*, *274*, 1-36. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0965-1>
- Nobel, P. S., & De la Barrera, E. (2004). CO_2 uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals Of Applied Biology*, *144*, 1-8. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2004.tb00310.x>
- Parmar, M. Y., Pore, D., Sharma, S. K., Singh, T., & Pandya, N. (2019). Health Benefits of Dragon Fruit. *Nutrition & Food Science International Journal*, *8*(4), 1-3.
- Parra-Terraza, S., Lara-Murrieta, P., Villarreal-Romero, M., & Hernández-Verdugo, S. (2012). Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *35*(2), 143-153.
- Patwary, M. A., Rahman, M. H., Barua, H., Sarkar, S., & Alam, M. S. (2013). Study on the growth and development of two dragon fruit (*Hylocereus undatus*) genotypes. *The Agriculturists*, *11*(2), 52-57.
- Rengel, Z., Cakmak, I., & White, P. J. (2022). *Marschner's Mineral Nutrition of Plants*. Cambridge, MA, USA: Academic Press.

- Rodrigues, M. G. F., Ferreira, A. F. A., Da Silva Malagutti, E., Pinto, M. D. S., Monteiro, L. N. H., & De Sá, M. E. (2021). Cladode size and collection time for pitahaya propagation. *Ciência e Agrotecnologia*, 45, 1-7. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145004821>
- SAS Institute Inc. (2013). *SAS software User's guide version 9.4*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Agricultura. Producción anual de pitahaya. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Consultado el 20 de marzo, 2024, desde <https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In International Society for Soilless Culture. In *Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen, The Netherland: ISOSC. ISBN: 9789070976040.
- Stintzing, F. C., Schieber, A. & Carle, R. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *European Food Research and Technology*, 216(4), 303-311.
- Szczerba, M. W., Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2006). The face value of ion fluxes: the challenge of determining influx in the low-affinity transport range. *Journal of Experimental Botany*, 57(12), 3293-3300.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant Physiology and Development*. Porto Alegre, Brasil: Artmed.
- Torres, A. N., Flores, J. V., Magdaleno, H. F., & Pineda, J. P. (2023). Evaluación agronómica de cinco soluciones nutritivas sobre el desarrollo vegetativo de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en invernadero. *Nova Scientia*, 15(31), 1-13. <https://doi.org/10.21640/ns.v15i31.3288>
- Urbina-Sánchez, E., Cuevas-Jiménez, A., Reyes-Alemán, J. C., Alejo-Santiago, G., Valdez-Aguilar, L. A., & Vázquez-García, L. M. (2020). Solución nutritiva adicionada con NH₄⁺ para producción hidropónica de chile huacle (*Capsicum annum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(3), 291-298.