

Fertilización de “candelabro” (*Pachycereus weberi* (Bravo) Backeb.) en Tuxpan, Guerrero, México

Cesario Catalán Heverástico¹; Antonio Martínez Flores¹; Claudia Martínez Alonso¹; Yesenia Suastegui Salinas¹; Alejandro Sotelo Aguilar¹

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero.

Autor de correspondencia: catalanc@hotmail.com

Resumen

Las poblaciones de *Pachycereus weberi* en la Cañada del Zopilote, Guerrero, enfrentan una disminución crítica debido al pastoreo, la extracción ilegal y el aprovechamiento maderero. Ante esta problemática, se evaluó el efecto de la fertilización edáfica para promover el crecimiento de esta cactácea en condiciones de cultivo. El estudio se realizó en plantas cultivadas en maceta bajo un diseño experimental completamente al azar, con tres tratamientos y 20 repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación del fertilizante Triple-16 en dosis de 1, 2 y 4 g L⁻¹ mediante riego quincenal durante seis meses. Las variables de estudio evaluadas fueron: Diámetro inferior y superior del tallo, altura de planta y peso total, registradas a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt). El análisis estadístico incluyó un ANOVA y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) mediante el software SAS. *P. weberi* mostró una respuesta positiva dependiente de la dosis. Los resultados indican que la dosis de 4 g L⁻¹ generó diferencias altamente significativas en todas las variables. A los 90 ddt, las plantas tratadas con la dosis máxima superaron estadísticamente a las de 1 y 2 g L⁻¹ en altura y biomasa. Se concluye que la fertilización con 4 g L⁻¹ de Triple-16 es una estrategia efectiva para optimizar el desarrollo inicial de la especie, facilitando programas de propagación y conservación *ex situ*.

Palabras clave: Cañada del Zopilote, Cactácea, Selva baja caducifolia, Extracción ilegal.

Abstract

Populations of *Pachycereus weberi* in Cañada del Zopilote, Guerrero, face a critical decline due to overgrazing, illegal extraction, and timber harvesting. To address this issue, the effect of soil fertilization on the growth of this cactus under cultivation conditions was evaluated. The study was conducted on pot-grown plants using a completely randomized experimental design with three treatments and 20 replicates. Treatments consisted of applying Triple-16 fertilizer at doses of 1, 2, and 4 g L⁻¹ via biweekly irrigation for six months. The study variables included: lower and upper stem diameter, plant height, and total weight, recorded at 30, 60, and 90 days after transplanting (DAT). Statistical analysis involved ANOVA and Tukey's mean comparison tests ($\alpha = 0.05$) using SAS software. Results indicated that *P. weberi* showed a positive dose-dependent response. The 4 g L⁻¹ dose generated highly significant differences across all variables. By 90 DAT, plants treated with the maximum dose statistically outperformed those at 1 and 2 g L⁻¹ in height and biomass. It is concluded that fertilization with 4 g L⁻¹ of Triple-16 is an effective strategy to optimize the initial development of the species, facilitating *ex situ* propagation and conservation programs.

Keywords: Cañada del Zopilote, Cactácea, Tropical dry forest, Illegal extraction.

Introducción

En las zonas áridas y semiáridas de México, las cactáceas constituyen uno de los grupos vegetales más emblemáticos y ecológicamente significativos. Estas especies desempeñan un papel crucial en la estabilidad de los ecosistemas, particularmente en el estado de Guerrero, cuya riqueza biológica depende de la integridad de estas poblaciones. Más allá de su valor intrínseco, las cactáceas mantienen interacciones simbióticas directas con la fauna silvestre; por ejemplo, diversas aves dependen de sus flores, frutos y semillas para alimentarse, actuando a su vez como agentes dispersores fundamentales para la regeneración natural del paisaje.

Sin embargo, esta dinámica ecológica se encuentra bajo una amenaza severa. Factores antropogénicos como la extracción ilegal de plántulas, el cambio de uso de suelo para pastoreo y la explotación de madera para la industria mueblera han provocado la degradación y fragmentación de las selvas bajas caducifolias. Estas perturbaciones impactan negativamente las tasas de germinación, así como las condiciones de crecimiento y supervivencia de especies clave como *Pachycereus weberi*.

Ante este escenario de vulnerabilidad, el planteamiento central de esta investigación se enfoca en la necesidad de generar protocolos de manejo que aceleren la recuperación de la especie. El presente estudio evaluó el efecto de la fertilización edáfica con Triple-16 en el desarrollo de plantas de *P. weberi* cultivadas en maceta. El propósito es establecer bases técnicas que permitan la producción masiva de individuos vigorosos para futuras estrategias de

restauración ecológica y reforestación en las áreas degradadas de la Cañada del Zopilote.

Fundamentos teóricos

La horticultura ornamental representa una de las principales vías de invasión biológica y una amenaza crítica para la biodiversidad vegetal global (Novoa, 2017). Dentro de este panorama, la familia Cactaceae se posiciona como el quinto grupo taxonómico más amenazado del mundo, albergando simultáneamente algunas de las especies invasoras más perjudiciales y registrando una alta demanda comercial (Novoa, 2017). La recolección excesiva e ilegal orientada al mercado internacional de plantas ornamentales constituye su mayor factor de vulnerabilidad (Goettsch *et al.*, 2015). Según la Evaluación Global de Cactus de la UICN, el 31% de estas especies enfrenta riesgo de extinción, y el 47% se ve directamente afectado por la extracción destinada a colecciones privadas y comercio hortícola (Goettsch *et al.*, 2015). A nivel mundial, la afición por estas plantas ha consolidado grandes comunidades de coleccionistas organizadas en sociedades formales como la CSSA o la BCSS cuya fuerte inclinación hacia el grupo puede derivar en conductas transgresoras o ilícitas para la adquisición de ejemplares exclusivos (Magliocca *et al.*, 2021).

En el estado de Guerrero (particularmente en Venta Vieja y Xalitla), el uso de la madera de *P. weberi* (conocido localmente como "candelabro") sustenta una economía basada en talleres de carpintería dedicados a la manufactura de muebles y artesanías variadas (Figuras 1 y 2). Si bien esta actividad maderera genera ingresos cruciales para el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales, la persistencia de prácticas de extracción ilegal de plántulas para su venta, sumada a la tala de ejemplares adultos para la construcción y carpintería, configuran

una amenaza latente que compromete seriamente la viabilidad y conservación a largo plazo de la especie.



Figura 1. Sillas elaboradas con madera de *P. weberi*.



Figura 2. Bases para comedor hechas con madera de *P. weberi*.

Materiales y métodos

Ubicación y condiciones ambientales

La investigación se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Iguala, Guerrero (18° 20' 34.1" N; 99° 30' 10.7" O; 766 msnm). El sitio presenta un clima Aw₀(w)(i')g, definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura media anual de 25 °C y una precipitación media de 977.15 mm (García, 1983).

Unidades experimentales y establecimiento

Se utilizaron 60 ejemplares de *P. weberi* de 2.5 años de edad, obtenidos por semilla y seleccionados por su homogeneidad morfológica. Las plantas se establecieron en macetas de 6 pulgadas con un sustrato

compuesto por aserrín de guamúchil (*Pithecellobium dulce*), lama y tierra de campo (30:30:40 %). Posterior al trasplante, se aplicó un riego a saturación y se mantuvo un régimen hídrico de 250 mL cada 24 horas. El control de arvenses se realizó de forma manual para evitar interferencias en la absorción de nutrientes.

Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos y 20 repeticiones. Los tratamientos consistieron en la aplicación edáfica de fertilizante Triple-16 (16-16-16) en dosis de 1, 2 y 4 g L⁻¹ (Cuadro 1). Las soluciones se aplicaron cada quince días en un volumen de 250 mL por planta durante un periodo de seis meses.

Tratamiento	Fertilizante	Dosis (g L ⁻¹)
T1	Triple - 16	1
T2	Triple - 16	2
T3	Triple - 16	4

Cuadro 1. Lista de los Tratamientos de estudio.

Variables de estudio y análisis estadístico

Se evaluaron las siguientes variables morfológicas: Altura de la planta, Diámetro inferior y superior del tallo (Figura 3) (medidos con vernier digital) y Peso total de la planta. Los datos fueron procesados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), utilizando el software estadístico SAS versión 9.2.



Figura 3. Medición del Diámetro superior.

Resultados y discusión

Los análisis de varianza (ANOVA) revelaron diferencias altamente significativas ($P = 0.001$) entre las dosis de fertilización para todas las variables evaluadas a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) (Cuadro 2).

El coeficiente de determinación (R^2) alcanzó su valor máximo (0.61) en las variables de Diámetro inferior y superior del tallo a los 90 ddt. En contraste, para el Diámetro inferior a los 30 ddt, el R^2 fue de 0.20, indicando una menor influencia de los tratamientos sobre la variabilidad total en la etapa inicial del experimento.

Cuadro 2. Análisis de varianza para las variables de estudio evaluadas en la fertilización de *Pachycereus weberi*.

Variable	F. V.	Sig. Exp.	C. D. (R^2)	C. V. (%)	Media
DIT (30 ddt)	Dosis	0.0017**	0.20	7.17	27.91 mm
DIT (60 ddt)	Dosis	<.0001**	0.33	5.93	30.61 mm
DIT (90 ddt)	Dosis	<.0001**	0.61	5.09	31.83 mm
DST (60 ddt)	Dosis	<.0001**	0.51	5.77	39.86 mm
DST (90 ddt)	Dosis	<.0001**	0.61	5.09	31.83 mm
AP (90 ddt)	Dosis	<.0001**	0.44	4.82	16.76 cm
PTP (90 ddt)	Dosis	<.0001**	0.59	21.05	267.50 g

DIT = Diámetro inferior de tallo. DST = Diámetro superior de tallo. AP = Altura de planta. PTP = Peso total de la planta. ddt = Días después del trasplante. F. V. = Fuente de variación. Sig. Exp. Significancia experimental. C. D. = Coeficiente de determinación. C. V. = Coeficiente de variación.

De acuerdo con la prueba de comparación de medias (Cuadro 3), la dosis de 4 g L⁻¹ obtuvo los valores más altos en todas las dimensiones morfológicas:

Diámetro del tallo: En las mediciones inferior y superior (60 y 90 ddt), el tratamiento de 4 g L⁻¹ superó estadísticamente ($P = 0.05$) a las dosis de 1 y 2 g L⁻¹. Altura y Peso: La dosis máxima (4 g L⁻¹) registró el mayor crecimiento vertical y acumulación de biomasa, mostrando una superioridad estadística consistente

frente al resto de los tratamientos al finalizar el periodo de estudio.

Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$) de las variables evaluadas en la fertilización de *Pachycereus weberi*.

Variable	Dosis	Medias	Grupo de Tukey	DMS
DIT (30 ddt)	4	29.30	A	1.52 mm
	2	27.30	B	
	1	27.15	B	
DIT (60 ddt)	4	32.3	A	1.52 mm
	2	30.05	B	
	1	29.4	B	
DIT (90 ddt)	4	34.50	A	1.23 mm
	2	31.35	B	
	1	29.65	C	
DST (60 ddt)	4	42.9	A	1.75 mm
	2	39.4	B	
	1	37.2	C	
DST (90 ddt)	4	50.45	A	1.75 mm
	2	42.70	B	
	1	37.65	C	
AP (90 ddt)	4	17.76	A	0.61 cm
	1	16.28	B	
	2	16.24	B	
PTP (90 ddt)	4	360.15	A	42.86 g
	1	231.70	B	
	2	210.65	B	

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

DIT = Diámetro inferior de tallo. DST = Diámetro superior de tallo. AP = Altura de planta. PP = Peso total de la planta. ddt = Días después del trasplante. DMS = Diferencia mínima significativa.

La respuesta positiva de *Pachycereus weberi* a la dosis de 4 g L⁻¹ de Triple-16 sugiere que el aporte óptimo de nutrientes acelera significativamente el desarrollo vegetativo de esta cactácea. La progresión del coeficiente de determinación (R^2) de 0.20 a los 30 ddt frente a 0.61 a los 90 ddt) demuestra que la influencia

de la fertilización edáfica se acentúa conforme la planta se establece, reduciendo la dependencia de factores ambientales no controlados como la radiación solar y la temperatura. Este incremento en el diámetro, altura y peso es biológicamente relevante para la conservación de la especie. En su hábitat natural, *P. weberi* se caracteriza por un crecimiento extremadamente lento, con tasas reportadas de apenas 1 cm por año. Los resultados obtenidos indican que una estrategia de fertilización dirigida permite optimizar la tasa de crecimiento e incrementar la biomasa en un tiempo reducido. Lo anterior es fundamental para mejorar la competitividad de las plántulas y garantizar una mayor probabilidad de supervivencia tras su establecimiento en campo en programas de reforestación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que la adición de fertilizantes compuestos ejerce un efecto modulador positivo sobre los atributos morfológicos clave de la especie evaluada, específicamente en la Altura de la planta y el Diámetro del tallo a los 90 días después del trasplante (ddt). Esta respuesta de coincide con lo reportado por Muñiz (2017) en *Swietenia humilis*, quien determinó que la aplicación de 4 g L⁻¹ de fertilizante granulado Triple-17 optimizó tanto la altura como el diámetro de tallo. Desde una perspectiva fisiológica, la concordancia entre ambos estudios radica en el suministro equilibrado de macronutrientes esenciales (N-P-K). El nitrógeno (N) estimula la división y elongación celular a través de la síntesis de aminoácidos y proteínas estructurales, impactando directamente en el desarrollo de la altura foliar y el área fotosintética activa. Por su parte, el potasio (K) regula la turgencia celular y la activación enzimática, mientras que el fósforo (P) provee la energía metabólica (en forma de ATP)

necesaria para sostener las altas tasas de crecimiento al inicio de la fase de establecimiento pos-trasplante.

Asimismo, la respuesta observada a los 90 ddt guarda una estrecha relación temporal y morfométrica con los hallazgos de Alanis (2017) en *Taxodium mucronatum*. Este autor registró incrementos significativos en altura y diámetro a los 48 ddt mediante la aplicación de 8 g L⁻¹ de Triple-17. Al contrastar esto con el presente estudio, donde se empleó la formulación Triple-16 (Suastegui, 2017), se evidencia que las especies forestales y leñosas responden de manera consistente a regímenes de fertilización balanceada completa, independientemente de ligeras variaciones en la concentración de las fuentes (17-17-17 vs. 16-16-16). La precocidad observada por Alanis (2017) a los 48 ddt, en comparación con nuestros 90 ddt, podría atribuirse a diferencias intrínsecas en la tasa de absorción de nutrientes, la dinámica de crecimiento de cada taxón y la dosificación utilizada, sugiriendo que concentraciones más elevadas pueden acelerar la respuesta vegetativa inicial si el sustrato posee la capacidad de amortiguamiento adecuada.

La sensibilidad del crecimiento en función de la dosis de nutrientes compuestos aplicada es un fenómeno ampliamente documentado en el ámbito forestal. Esto coincide con las evaluaciones a largo plazo realizadas por Ecosistemas S.A.S. (2013) en *Pinus oocarpa*, donde el incremento volumétrico y longitudinal fue dosis-dependiente, mostrando un aumento del 40% con la dosis máxima (110 g / árbol) frente a solo un 11% con la dosis baja (55 g / árbol) tras 24 meses de evaluación. Agronómicamente, esto confirma la ley del mínimo de Liebig y la teoría del rendimiento decreciente: la optimización del crecimiento requiere alcanzar un umbral crítico de nutrientes en la rizósfera. No obstante, a diferencia de los esquemas de liberación

prolongada o dosis masivas en campo abierto como el de *P. oocarpa*, los sistemas de producción en vivero o etapas tempranas pos-trasplante evaluados aquí exigen una dosificación más controlada para evitar desequilibrios osmóticos en la raíz.

Finalmente, la sinergia entre la nutrición mineral y los reguladores de crecimiento vegetal añade una dimensión crucial a la interpretación fisiológica. Martínez (2015) demostró en *Hippocratea excelsa* que la combinación de una dosis baja de fertilizante (1 g L⁻¹ de Triple-16) complementada con ácido giberélico (0.5 g L⁻¹) favoreció sustancialmente la altura y el número de hojas, coincidiendo con el estímulo en altura reportado en este trabajo. Fisiológicamente, los nutrientes minerales actúan como el sustrato material para la construcción de nuevos tejidos, mientras que las giberelinas operan como señales químicas que desencadenan la hidrólisis de reservas de almidón y promueven la extensibilidad de la pared celular. Esta interacción resalta que la altura de la planta no solo depende de la disponibilidad de iones en el suelo, sino también de la capacidad endógena o inducida de la planta para translocar dichos recursos hacia los meristemos apicales.

En síntesis, la aplicación dirigida de fertilizantes equilibrados en especies leñosas y de interés forestal genera un incremento robusto en los indicadores de vigor morfológico (altura y diámetro). Estos cambios no deben interpretarse de manera aislada, ya que un mayor diámetro provee la resistencia mecánica necesaria contra el vuelco y optimiza el sistema vascular (xilema y floema) para el transporte de agua y fotoasimilados, garantizando un mayor índice de calidad y supervivencia de la planta en su sitio de establecimiento final.

Conclusiones

El desarrollo morfológico y la acumulación de biomasa en *Pachycereus weberi* (Diámetro inferior y superior del tallo, Altura y Peso total) son directamente proporcionales al incremento de la fertilización, siendo la dosis de 4 g L⁻¹ de Triple 16 la que optimiza significativamente todas las variables evaluadas en comparación con las dosis inferiores.

Este estudio demuestra que la manipulación nutricional acelera el crecimiento vigoroso de *P. weberi*, permitiendo la producción de plantas de mayor porte y biomasa en un menor tiempo. Este avance técnico es clave para optimizar las estrategias de producción *ex situ*, garantizando ejemplares con características morfológicas idóneas para incrementar su tasa de supervivencia y éxito de establecimiento en programas de reforestación en su hábitat natural.

Referencias bibliográficas

1. Alanis, B. M. de la P., Catalán H. C., Correa L. A. de J., & Luna L. C. (2020). Fertilización de *Taxodium mucronatum* Ten., “ahuehuete” o “sabino” en Tuxpan, Guerrero, México. *Foro de Estudios sobre Guerrero*, 5(6), 624-633.
2. SAS Institute. (2009). SAS/STAT User's guide, version 9.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
3. Ecosistemas SAS. (2013). Fertilización en plantaciones forestales en el trópico. Artículo. <http://ecosistemas-sa.com/ecosistemas/wp-content/uploads/2013/09/fertilizacion.pdf>. Consultado 06 Junio 2025. Consultado el 25 de febrero de 2024.
4. García, A. (1983). Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. En Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. México D.F: Instituto de geografía UNAM.

5. Goettsch, B., Hilton-Taylor, C., Cruz-Piñón, G., Duffy, J. P., Frances, A., Hernández, H. M., & Gaston, K. J. (2015). High proportion of cactus species endangered. *Nature Plants*, 1(10), 1–7.
6. Magliocca, N., Torres, A., Margulies, J., McSweeney, K., Arroyo-Quiroz, I., Carter, N., & Tellman, E. (2021). Comparative analysis of illicit supply network structure and operations: Cocaine, wildlife, and sand. *Journal of Illicit Economies and Development*, 3(1), 50–73.
7. Martínez, F. A., Catalán H. C., Correa L. A. de J., & Ávila S. P. (2018). Germinación de semillas de “cancerina” (*Hippocratea excelsa* H.B.K.) y respuesta de plántulas a la fertilización y uso de bioestimulantes. *Foro de Estudios sobre Guerrero*, 3(4), 671-678.
8. Muñiz, V. A. E. (2017). Producción de “árbol del zopilote” *Swietenia humilis* Zucc., en respuesta a la fertilización, en Tuxpan, Guerrero, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 57 p.
9. Novoa, A., Le Roux, J. J., Richardson, D. M., & Wilson, J. R. U. 2017. Level of environmental threat posed by horticultural trade in Cactaceae. *Conservation Biology*, 31(5), 1066–1075. <https://doi.org/10.1111/cobi.12892>. Consultado el 25 de febrero de 2024.
10. Suastegui, S. Y. (2017). Fertilización de *Pachycereus weberi* (Bravo) Backeb., en Tuxpan, Guerrero, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia, Guerrero, México. 36 p.