

Capítulo 12

Efecto del gradiente de sombra sobre variables morfológicas en plántulas de cacao (*theobroma cacao l.*) en un clima cálido seco

*Jaime Esteban Haas Tzuc*⁶⁵

*Frida Idaly Bautista Alegría*⁶⁶

*Edith González Lazo*⁶⁷

*Benito Bernardo Dzib Castillo*⁶⁸

*Rodolfo Ángel Uc Dzib*⁶⁹

*Gustavo Enrique Mendoza Arroyo*⁷⁰

DOI: <https://doi.org/10.61728/AE26000305>



⁶⁵ Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, jaime.ht@china.tecnm.mx.

⁶⁶ Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

⁶⁷ Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico Superior de Escárcega, 85 s/n Unidad Esfuerzo y Trabajo 1, Escárcega, Camp., México.

⁶⁸ Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche, bernadzib@ahoo.es.

⁶⁹ Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

⁷⁰ Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, San Francisco de Campeche, Campeche.

Resumen

El presente estudio determinó el efecto de cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 %, 90 %) sobre el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. variedad Guayaquil) durante 45 días en condiciones de vivero en Campeche, México. Se midieron altura, diámetro del tallo y número de hojas cada dos semanas, calculándose posteriormente las tasas de crecimiento. Los datos se analizaron mediante Kruskal-Wallis seguido de prueba de Dunn debido a los tamaños muestrales desiguales. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) en altura y diámetro finales, siendo el 90 % de sombra el tratamiento que produjo plantas más altas (24.1 ± 1.0 cm) y el 35 % el que generó mayor diámetro (4.4 ± 0.2 mm). El análisis de tasas de crecimiento encontró que, mientras las tasas de altura fueron similares entre tratamientos ($p = 0.743$), las tasas de diámetro presentaron diferencias significativas ($p = 0.0227$), siendo el tratamiento de 35 % sombra el de mayor velocidad de engrosamiento (0.025 mm/día). Se concluye que la variedad Guayaquil ajusta su patrón de crecimiento de manera diferenciada frente a gradientes lumínicos, asignando prioridad al crecimiento en altura bajo sombra alta y al engrosamiento del tallo bajo sombra moderada. Se recomienda 35-50 % de sombra para la producción de plantas robustas en vivero.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.), especie umbrófila de gran relevancia económica y sociocultural, presenta adaptaciones fenotípicas que le permiten aclimatarse a gradientes de luz, manifestadas en ajustes morfofisiológicos para la captura y uso eficiente de la radiación (Almeida y Valle, 2007; Daymond et al., 2011; Lahive et al., 2019).

En vivero, el manejo de la sombra es crucial para la calidad de las plántulas (Lahive et al., 2019). Tanto la sombra insuficiente como el

exceso pueden provocar estrés o crecimiento desbalanceado, afectando la aclimatación post-trasplante (Niether et al., 2020). Sin embargo, determinar el nivel óptimo es complejo, ya que muchos estudios se basan en medidas finales estáticas, las cuales pueden ocultar las dinámicas de crecimiento diario (Poorter y Garnier, 2007). El análisis de tasas de crecimiento ofrece una visión más precisa de las estrategias de adaptación bajo distintas condiciones lumínicas (Garnier, 1991).

Este estudio evaluó el efecto de cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 % y 90 %) sobre el crecimiento de plántulas de cacao ‘Guayaquil’ en vivero. Se compararon tanto los valores finales (altura, diámetro, número de hojas) como sus tasas de crecimiento, con el objetivo de identificar el nivel de sombra que optimice la producción de plantas robustas.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de Chiná, en Campeche, México, ubicado a 20 msnm (19°45' N, 90°29' O). El clima de la zona se clasifica como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 26 °C y precipitación entre 1100 y 2000 mm anuales concentrada entre junio y octubre (García, 2004). Se utilizaron semillas de cacao de la variedad “Guayaquil” procedentes de Chiapas, sembradas en bolsas de polietileno negro con tierra de monte como sustrato. En el experimento se evaluaron cuatro niveles de sombra artificial (0 %, 35 %, 50 % y 90 %) empleando mallas raschel. Las estructuras de sombra, de 1.5 m de altura, cubrían parcelas individuales, en donde se estableció un diseño experimental completamente al azar con un número desigual de repeticiones por tratamiento debido a variaciones en la germinación: 0 % (n=3), 35 % (n=9), 50 % (n=16) y 90 % (n=14). Cada plántula constituyó una unidad experimental.

Las variables evaluadas fueron altura (cm), diámetro del tallo (mm) y número de hojas expandidas. Las mediciones se realizaron cada 14 días durante 45 días. A partir de estos datos se calculó la tasa de crecimiento absoluta (TCA) mediante la fórmula: $TCA = (\text{Valor final} - \text{Valor inicial}) / 45 \text{ días}$. Debido al reducido tamaño muestral en algunos tratamientos y

la naturaleza de las variables, se utilizaron pruebas no paramétricas. La comparación entre tratamientos se realizó con la prueba de Kruskal-Wallis y, cuando fue significativa ($p < 0.01$), se aplicó la prueba post-hoc de Dunn. Los análisis se llevaron a cabo en R (versión 4.3.1) y los resultados se expresaron como media \pm error estándar.

Resultados y discusión

La respuesta morfométrica al gradiente de sombra reveló estrategias de crecimiento contrastantes (Cuadro 1). Se confirmaron diferencias significativas ($p < 0.01$) en altura y diámetro, pero no en el número de hojas, lo que muestra la capacidad del cacao para modificar su forma en respuesta a la luz (Almeida y Valle, 2007).

La mayor altura final se obtuvo bajo 90 % de sombra, siendo superior a 35 % y 50 % (Figura 1), lo que coincide con la estrategia de escape a la sombra mediante elongación del tallo (Poorter y Garnier, 2007). Sin embargo, la tasa de crecimiento en altura fue similar entre tratamientos (~ 0.13 cm/día; Figura 2). Esto indica que las plantas crecieron al mismo ritmo durante el estudio, por lo que las diferencias observadas en la altura final probablemente se deban a variaciones en la altura inicial al momento de comenzar las mediciones.

Por el contrario, los mayores diámetros se registraron en sombra moderada (35-50 %), siendo significativamente superiores a 90 % de sombra (Figura 3). Este patrón se respaldó por la tasa de crecimiento en diámetro (TCD), que fue mayor en 35 % de sombra (0.025 mm/día) y triplicó la tasa bajo 90 % (0.008 mm/día; Figura 2). Esta respuesta indica una estrategia de aclimatación que favorece el engrosamiento del tallo bajo luz moderada, mejorando la robustez y preparación para el trasplante (Daymond et al., 2011; Niether et al., 2020).

La altura y el grosor del tallo respondieron de manera distinta a la sombra en esta variedad: mientras la altura dependió principalmente del tiempo de crecimiento bajo sombra, el grosor del tallo varió directamente con la cantidad de luz disponible, creciendo más rápido o más lento según la luminosidad. Este análisis de tasas de crecimiento demostró ser una herramienta más informativa que la comparación de valores finales,

ya que permitió identificar con precisión las estrategias de aclimatación (Garnier, 1991), optimizando así el manejo agronómico en vivero.

Cuadros y figuras

Cuadro 1

Valores finales de crecimiento (media \pm error estándar) de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. *Guayaquil*) bajo diferentes niveles de sombra artificial.

Tratamiento (% Sombra)	*n*	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Hojas (*n*)
0 %	3	19.3 \pm 2.0	3.7 \pm 0.1	7.7 \pm 0.9
35 %	9	19.0 \pm 1.1	4.4 \pm 0.2	6.4 \pm 0.4
50 %	16	20.5 \pm 0.9	4.2 \pm 0.2	7.1 \pm 0.4
90 %	14	24.1 \pm 1.0	3.5 \pm 0.1	6.3 \pm 0.5

Nota: Valores en negrita indican el máximo para cada variable. Diferencias estadísticas detalladas en el texto.

Figura 1

Altura final de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. *Guayaquil*) bajo diferentes porcentajes de sombra.

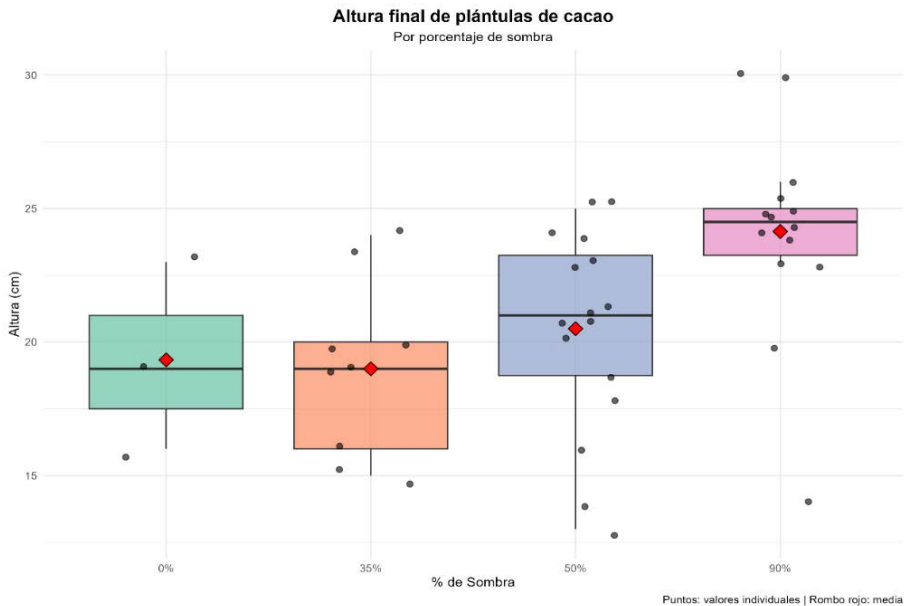


Figura 2

Tasas de crecimiento en altura y diámetro de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. Guayaquil) bajo diferentes porcentajes de sombra.

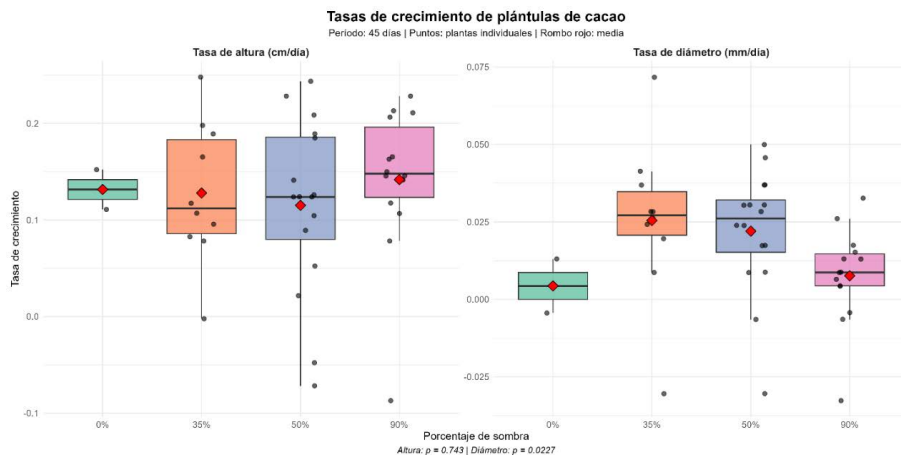
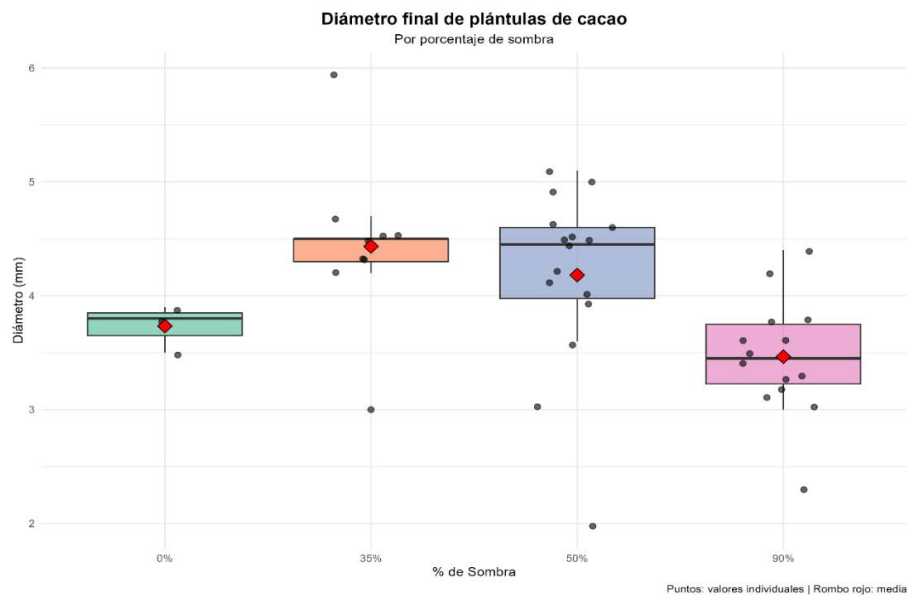


Figura 3

Diámetro final de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L. var. Guayaquil) bajo diferentes porcentajes de sombra.



Conclusiones

El presente estudio demuestra que la variedad ‘Guayaquil’ de cacao ajusta su forma de crecer de manera distinta frente a un gradiente de sombra en vivero. Mientras que la sombra alta (90 %) promueve plantas de mayor altura final, la sombra moderada (35-50 %) favorece el engrosamiento del tallo, tanto en su valor final como en su tasa de crecimiento. El análisis de tasas reveló que ambas variables responden de manera distinta: la altura dependió del tiempo de crecimiento bajo sombra, mientras que el grosor del tallo varió directamente con la cantidad de luz disponible. Para la producción de plantas robustas y estructuralmente competentes, se recomienda un rango de 35-50 % de sombra artificial. Estos hallazgos subrayan la utilidad del análisis de tasas de crecimiento como una herramienta diagnóstica más fina para el manejo agronómico en vivero.

Referencias

- Almeida, A.-A. F., & Valle, R. R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425–448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>
- Daymond, A. J., Tricker, P. J., & Hadley, P. (2011). Genotypic variation in photosynthesis in cacao is correlated with stomatal conductance and leaf nitrogen. *Biologia Plantarum*, 55(1), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s10535-011-0013-y>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (5a ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. <https://publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251>
- Garnier, E. (1991). Resource capture, biomass allocation and growth in herbaceous plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 6(4), 126–131. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90091-B](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90091-B)
- Lahive, F., Hadley, P., & Daymond, A. J. (2019). The physiological responses of cacao to the environment and the implications for climate change resilience. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 39(1), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0552-0>

- Niether, W., Glawe, A., Pfohl, K., & Gerold, G. (2020). The effect of short-term vs. long-term soil moisture stress on the physiological response of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 92(3), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00638-9>
- Poorter, H., & Garnier, E. (2007). Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. En F. I. Pugnaire & F. Valladares (Eds.), *Functional Plant Ecology* (2nd ed., pp. 67–100). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420007626>