



VARIACIÓN GENÉTICA ALTITUDINAL DE LA MORFOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE *Enterolobium cyclocarpum* EN OAXACA, MÉXICO

ALTITUDINAL GENETIC VARIATION OF SEEDLING MORPHOLOGY OF *Enterolobium cyclocarpum* IN OAXACA, MEXICO

Mario Valerio Velasco-García¹, Karen Quino-Pascual², Héctor Viveros-Viveros^{3*}, Gabriela Sánchez-Viveros², Cuauhtémoc Sáenz-Romero⁴, María Luisa Hernández-Hernández⁵, Jorge Alberto Pineda-Posadas⁶ y Rolando Galán-Larrea⁵

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas, Ciudad de México, México. ²Universidad Veracruzana (UV), Campus Xalapa, Facultad de Ciencias Agrícolas, Xalapa, Veracruz, México. ³UV, Instituto de Investigaciones Forestales, Parque Ecológico "El Haya", Xalapa, Veracruz, México. ⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Morelia, Michoacán, México. ⁵Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, Puerto Escondido, Oaxaca, México. ⁶Instituto Tecnológico Superior de Perote, Perote, Veracruz, México.

* Autor por correspondencia (heviveros@gmail.com).

RESUMEN

Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. es un árbol que se usa en programas de reforestación y restauración ecológica; sin embargo, se desconoce la variación altitudinal de la morfología de las plántulas, la cual puede ser un indicador de la adaptación de la especie a las condiciones ambientales de los sitios donde se puede establecer de manera exitosa. Los objetivos de este estudio fueron evaluar la variación morfológica de plántulas de *E. cyclocarpum* y determinar su relación con la altitud y con variables climáticas del sitio de origen de la semilla. Once variables morfológicas de plántulas de 10 procedencias se evaluaron en vivero. Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre procedencias se detectaron en nueve variables. En promedio, la aportación de las procedencias a la varianza total fue de 5.08 %. La asociación entre la altura de las plántulas con los grados día del sitio de origen fue negativa, lo mismo entre el ancho de las hojas verdaderas con la temperatura mínima y grados día $> 5^\circ\text{C}$ del sitio de las procedencias. La altura y el diámetro a la altura de hipocótilo de las plántulas tuvieron asociación lineal positiva con la elevación del sitio de origen ($R^2 = 0.55$, $P = 0.0136$; $R^2 = 0.41$, $P = 0.0456$, respectivamente). Las semillas procedentes de mayor altitud originan plántulas de mayor tamaño, lo que se puede deber a una respuesta adaptativa de la especie o a efectos maternos relacionados con el tamaño de las semillas.

Palabras clave: Efectos maternos, epicótilo, hipocótilo, hojas, variación adaptativa.

SUMMARY

Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. is a tree that is used in reforestation and ecological restoration programs; however, the altitudinal variation of seedling morphology is unknown, which may be an indicator of the adaptation of the species to the environmental conditions of the sites where it can be successfully established. The objectives of this study were to evaluate the morphological variation of *E. cyclocarpum* seedlings and determine its relationship with altitude and climatic variables of the site of seed provenance. Eleven morphological traits of seedling from 10 provenances were evaluated in the nursery. Significant differences between provenances ($P \leq 0.05$) were detected in nine traits. On average, the contribution of provenances to the total variance was 5.08 %. The association between seedling height and the degree days of the site of origin was negative, as was the width of true leaves

with the minimum temperature and degree days $> 5^\circ\text{C}$ of the provenance site. Seedling height and diameter at the hypocotyl height had a positive linear association with elevation of the site of origin ($R^2 = 0.55$, $P = 0.0136$; $R^2 = 0.41$, $P = 0.0456$, respectively). Seeds from higher altitudes produce larger seedlings, which may be due to an adaptive response of the species or to maternal effects related to seed size.

Index words: Adaptive variation, epicotyl, hypocotyl, leaves, maternal effects.

INTRODUCCIÓN

Enterolobium cyclocarpum (Jacq.) Griseb. es originaria de las regiones tropicales húmedas y subtropicales secas de América. Su área de distribución va desde México (23° latitud N), Centroamérica y se extiende hasta Sudamérica, en países como Colombia, Venezuela y el extremo norte de Brasil (cerca de los 7° latitud N); además, está presente en países caribeños como Jamaica, Cuba y Trinidad y Tobago (Pennington y Sarukhán, 2005). En México, esta especie se distribuye desde el sur de Tamaulipas hasta la Península de Yucatán y desde Sinaloa hasta la depresión central de Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005). *Enterolobium cyclocarpum* es una especie que prospera desde el nivel mar hasta los 900 m de altitud (Niembro et al., 2010).

Enterolobium cyclocarpum tiene importancia ecológica, económica y social por ser un árbol de usos múltiples en sistemas agroforestales y proporcionar productos utilizables en forma de bienes y servicios en las regiones rurales; su madera se considera como preciosa, sus semillas tienen potencial para uso alimenticio, industrial y medicinal (Martínez et al., 2012). El extracto de sus semillas posee propiedades anticancerígenas (Gamal-Eldeen et al., 2020).

Dada sus características, *E. cyclocarpum* se utiliza para restaurar sitios degradados y en plantaciones agroforestales y comerciales (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). Para asegurar el éxito de las plantaciones, previamente se debe generar conocimiento sobre el crecimiento y el acoplamiento de diversas fuentes de germoplasma (procedencias) a las condiciones de los sitios a plantar. Lo anterior se logra a través del establecimiento y de la evaluación de ensayos de procedencias (White *et al.*, 2007).

Los ensayos de procedencia y estudios de variación de características morfológicas permiten evaluar la magnitud y patrón espacial de variación genética en características de valor adaptativo. Si ese patrón espacial está asociado con algún factor ambiental (climático, geográfico, edáfico, etc.), entonces se puede utilizar ese patrón para establecer una zonificación con base en la variación adaptativa. Se han realizado ensayos de procedencias en diferentes especies tropicales, en las que se han evaluado algunas características en edades tempranas; por ejemplo, Weber y Sotelo (2008) no encontraron diferencias significativas entre procedencias en la altura de la planta de *Guazuma crinita* Mart. a los 6, 18 y 30 meses de edad; en contraste, Rochon *et al.* (2007) encontraron diferencias significativas entre procedencias para el diámetro del tallo medido a 10 cm por encima del suelo y la altura a los 12 meses de edad en *G. crinita*; además, las plantas de las procedencias de mayor altitud mostraron los mayores valores en diámetro y altura con respecto a las procedencias de altitudes bajas e intermedias. Por otra parte, Monteuiis *et al.* (2011) y Chaix *et al.* (2011) reportaron diferencias significativas entre procedencias en la altura de la planta de *Tectona grandis* L.f. a los 13 y 15 meses de edad, respectivamente; así mismo, Derero *et al.* (2017) reportaron diferencias significativas entre procedencias en diámetro basal y altura de la planta de *Cordia africana* Lamb. a los nueve meses de edad, y Navarro *et al.* (2004) reportaron diferencias significativas entre procedencias para el diámetro basal y altura de la planta de *Cedrela odorata* L. a los 25 meses de edad. Después de la germinación, el hipocótilo y epicótilo se desarrollan, dando forma al eje principal de las plántulas, por lo que son importante para evaluar el crecimiento inicial de las plántulas; además, se ha identificado que estas dos estructuras de las plántulas varían de acuerdo con gradientes de luz (Taiz y Zeiger, 2006). También se han reportado diferencias significativas entre procedencias para el tamaño de las hojas de *Metrosideros polymorpha* Gaudich.; las diferencias estuvieron asociadas negativamente con la altitud de origen de los sitios de recolección de las semillas (Cordell *et al.*, 1998).

La variación morfológica puede indicar plasticidad fenotípica, como un mecanismo para la adaptación de los organismos ante ambientes heterogéneos (Chevin *et al.*, 2010; Franiel y Wieski, 2005), o bien puede ser resultado de efectos maternos relacionados con el tamaño de las semillas (Vivas *et al.*, 2015).

Para *E. cyclocarpum*, se tiene el antecedente de que Hernández-Hernández *et al.* (2019) evaluaron en campo el crecimiento y la supervivencia de plántulas de las procedencias consideradas en el presente trabajo, pero falta por determinar el patrón de variación asociado con variables geográficas, como la altitud; por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: a) cuantificar la variación genética de la morfología entre procedencias de plántulas de *E. cyclocarpum* y b) determinar la asociación entre la morfología de las plántulas con variables geográficas y climáticas del sitio de origen. Por los antecedentes mencionados, se espera que el tamaño de las plántulas de *E. cyclocarpum* presente asociación positiva con la altitud, y las características foliares asociación negativa con la altitud.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolecta, manejo y germinación de semillas

Las semillas se recolectaron de marzo a mayo de 2008 en 10 procedencias de la región Costa de Oaxaca (Hernández-Hernández *et al.*, 2019; Figura 1). En cada procedencia se seleccionaron de siete a 12 árboles con características fenotípicas deseables; es decir, árboles con fuste recto y limpio, mayor de 2 m de altura, libre de plagas y enfermedades. El beneficio y almacenamiento de las semillas se realizó como se indica en Hernández-Hernández *et al.* (2019); para su almacenamiento, las semillas se agruparon en lotes masales por procedencia. En 2011, por cada procedencia se seleccionaron 400 semillas viables mediante la prueba de flotación en agua. En seguida cada semilla se sometió a un proceso físico de escarificación con lija (Viveros *et al.*, 2015); después, cuatro réplicas de 100 semillas de cada una de las 10 procedencias se colocaron para su germinación en rollos de papel absorbente a temperatura ambiente (28 a 30 °C) en charolas de plástico de dimensiones 13 × 12 × 7 cm,

Producción de planta y diseño experimental

Una semana después de la germinación, las plántulas fueron trasplantadas a bolsas de polietileno de 20 × 30 cm, calibre 400, las cuales se llenaron con 500 g de sustrato compuesto por suelo de monte (35 %), corteza de árbol (35 %) y aserrín (30 %). Dado que el sustrato no se esterilizó, para evitar la aparición de hongos, en los primeros días

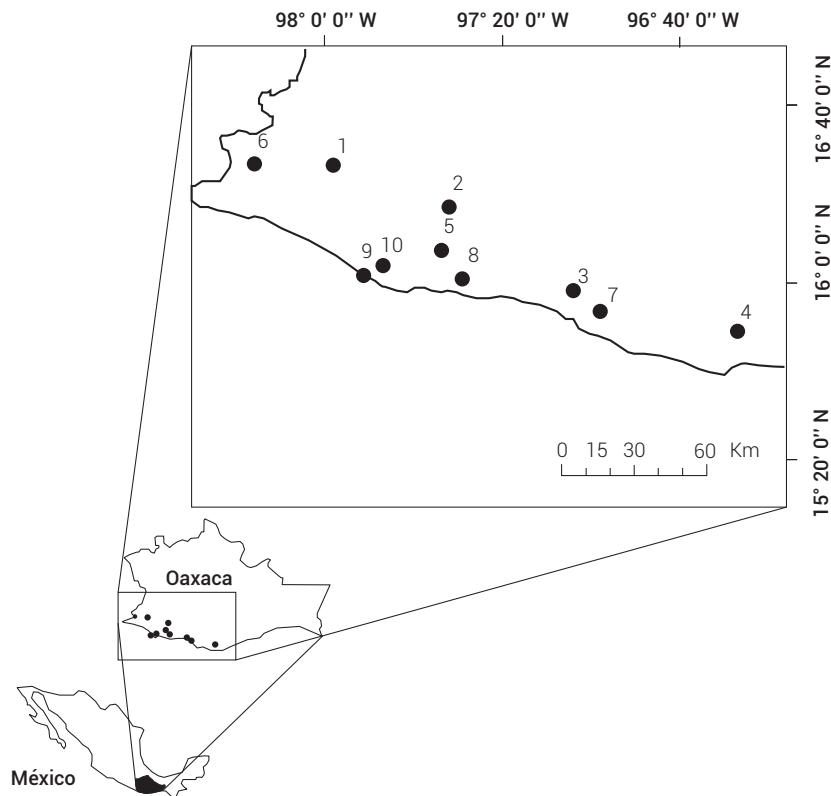


Figura 1. Localización geográfica de 10 procedencias de *Enterolobium cyclocarpum* recolectadas en la región Costa de Oaxaca, México. 1: Pinotepa de Don Luis (420 msnm), 2: Tataltepec (370 msnm), 3: San Pedro (240 msnm), 4: Pochutla (234 msnm), 5: San Francisco (67 msnm), 6: Cortijo (59 msnm), 7: Colotepec (37 msnm), 8: Los Limones (23 msnm), 9: La Tuza (15 msnm), 10: El Zarzal (14 msnm).

después del trasplante se realizaron riegos con Captan®, [ingrediente activo Captan N-(triclorometilto) ciclohex-4-en-1,2-dicarboxim] en solución acuosa (10 g L⁻¹), durante dos semanas. El diseño experimental fue bloques completos al azar con 10 poblaciones (procedencias), 10 repeticiones (bloques) y unidad de experimental de cuatro plantas.

Variables evaluadas

A los 36 días después del trasplante se evaluó la altura total (cm), altura del hipocótilo (cm), altura del epicótilo (cm), diámetro a la altura del hipocótilo (mm), longitud de hojas cotiledonares (cm), amplitud de hojas cotiledonares (cm), longitud de peciolo de la hoja cotiledonar (cm), longitud de hojas verdaderas (cm), amplitud de hojas verdaderas (cm), longitud de peciolo de hoja verdadera (cm) y longitud de raquis (cm). A esta edad las plántulas presentaron una altura promedio de 26 cm, un diámetro promedio a la altura del hipocótilo de 3.32 mm y de tres a cinco hojas verdaderas, de las cuales al menos dos ya estaban maduras, sobre estas últimas se realizaron las

mediciones. La medición de las hojas cotiledonares y de las verdaderas se realizó con regla sobre el raquis principal de las hojas y abarcó desde la inserción del peciolo con la base de la hoja hasta el ápice de las hojas. La amplitud de las hojas cotiledonares y verdaderas se realizó en la parte más ancha de las hojas. La longitud del peciolo se realizó en dos hojas verdaderas.

A partir de la información de la ubicación geográfica y la altitud sobre el nivel del mar de cada procedencia, se obtuvieron las siguientes normales climáticas con importancia ecológica y geográfica de las plantas del Laboratorio de Ciencias Forestales de Moscow, Idaho, USA (<http://forest.moscowsl.wsu.edu/climate/cutomData/>), para el período de referencia 1961-1990: temperatura máxima promedio anual (°C), temperatura media anual (°C), temperatura mínima promedio anual (°C), precipitación total anual promedio (mm, PMA), precipitación total en verano (PTV, de junio a septiembre, mm) y grados día > 5°C en el año (GD5). De las variables anteriores se derivaron el índice anual de aridez (IAA2) y la proporción de la precipitación total durante el verano (PPV):

$$IAA2 = \sqrt{\frac{GD5}{PMA}}$$

$$PPV = \frac{PTV}{PMA}$$

Los valores de las variables climáticas se pueden consultar en Viveros-Viveros *et al.* (2017).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para cada característica morfológica evaluada con el siguiente modelo estadístico, que considera valores individuales:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + P_j + \beta_i \times P_j + E_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} es el valor de la ijk -ésima observación, μ es la media general, β_i es el efecto del i -ésimo bloque, P_j es el efecto de la j -ésima procedencia, $\beta_i \times P_j$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo bloque y la j -ésima procedencia (error experimental) y E_{ijk} es el error de muestreo (dentro de parcelas).

Los análisis se realizaron con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2013). Cuando hubo diferencias significativas entre procedencias se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se estimaron los componentes de varianza asociados con cada fuente de variación y su contribución a la varianza total, mediante el procedimiento VARCOMP, opción REML.

Para conocer la asociación entre las características morfológicas de las plantas con las variables geográficas y climáticas de cada procedencia se realizó un análisis de correlación simple con el procedimiento CORR de SAS (SAS Institute, 2013), y para conocer el patrón que sigue esta asociación se utilizó un modelo lineal simple con el procedimiento REG de SAS (SAS Institute, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación geográfica de la morfología de plántulas

Diferencias significativas entre procedencias existieron para nueve de las 11 variables evaluadas ($P \leq 0.05$). La longitud de las hojas verdaderas y la longitud del raquis no mostraron diferencias significativas entre procedencias (Cuadro 1). Estas procedencias presentaron diferencias significativas en la dinámica de germinación de la semilla y el crecimiento de las plantas durante los primeros 24 meses en campo (Hernández-Hernández *et al.*, 2019; Viveros-Viveros *et al.*, 2017). En otras especies forestales tropicales se han encontrado diferencias significativas en

caracteres cuantitativos de plántulas a temprana edad; por ejemplo, Rochon *et al.* (2007) reportaron diferencias significativas entre procedencias para diámetro del tallo medido a 10 cm por encima del suelo y la altura de la planta a los 12 meses de edad en *G. crinita*; Monteuiis *et al.* (2011) y Chaix *et al.* (2011) reportaron diferencias significativas entre procedencias en altura de la planta de *T. grandis* a los 13 y 15 meses de edad, respectivamente, y Derero *et al.* (2017) reportaron diferencias significativas entre procedencias en el diámetro basal y la altura de la planta de *C. africana* a los nueve meses de edad.

En promedio, las procedencias aportaron cerca de 5 % de la varianza total, la interacción bloques $\times$ procedencias un poco más de 5 % y el error de muestreo fue de aproximadamente 88 % (Cuadro 1). En longitud de las hojas cotiledonares fue donde se tuvo la mayor contribución de las procedencias (cercana a 11 %), mientras que en la longitud del raquis la contribución de las procedencias a la varianza total fue nula (Cuadro 1). La contribución de las procedencias a la varianza total en este estudio fue menor a la contribución reportada para parámetros germinativos (50 a 94.34 %) de las mismas procedencias (Viveros-Viveros *et al.*, 2017), lo que significa que, para esta especie, hay mayor diferenciación entre las procedencias en las características de germinación que en la morfología de las plántulas.

Estos resultados no concuerdan totalmente con estudios previos realizados con las mismas procedencias de esta especie; las procedencias La Tuza, Pochutla y San Pedro, las más sobresalientes en el presente estudio (Cuadro 2), presentaron valores intermedios y bajos en parámetros germinativos (Viveros-Viveros *et al.*, 2017) y crecimiento en campo hasta los 24 meses de edad (Hernández-Hernández *et al.*, 2019). En concordancia con los resultados de este estudio, las procedencias de Pinotepa de Don Luis y Tataltepec presentaron los valores más altos y bajos, respectivamente, de parámetros germinativos (Viveros-Viveros *et al.*, 2017) y de crecimiento en campo (Hernández-Hernández *et al.*, 2019).

Asociación de variables de crecimiento con las variables geográficas y climáticas

La altura total de la plántula y el diámetro a la altura del hipocótilo presentaron asociación positiva y significativa con la elevación de las procedencias de *E. cyclocarpum* ($r = 0.74$, $P = 0.0136$; $r = 0.64$, $P = 0.0456$, respectivamente), lo que significa que hubo un patrón significativo de variación, donde las plántulas provenientes de semillas recolectadas en localidades de mayor elevación presentaron mayor tamaño en altura ($R^2 = 0.55$, $P = 0.0136$) (Figura 2A) y diámetro a la altura del hipocótilo ($R^2 = 0.41$, $P = 0.0456$)

Cuadro 1. Niveles de significancia (P) y componentes de varianza fenotípica (%) de las características de las plántulas de 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la región Costa de Oaxaca, México.

Variables	Valor P		Componentes de Varianza (%)		
	Procedencia	B × P	Proc.	B × P	Error
Altura total	0.0362	0.4642	2.43	1.43	96.14
Altura del hipocótilo	<0.0001	0.0606	7.34	16.21	76.45
Altura del epicótilo	<0.0001	0.0003	5.16	15.71	79.13
Diámetro a la altura del hipocótilo	<0.0001	0.0070	8.44	14.35	77.21
Longitud de hojas cotiledonares	<0.0001	0.1117	10.54	4.70	84.76
Amplitud de hojas cotiledonares	0.0128	0.1941	3.04	3.84	93.12
Longitud de peciolo de hoja cotiledonar	<0.0001	0.0755	7.37	9.03	83.60
Longitud de hojas verdaderas	0.0565	0.2348	1.83	1.25	96.92
Amplitud hojas verdaderas	0.0002	0.0099	4.77	11.13	84.10
Longitud de peciolo de hojas verdaderas	0.0118	0.1176	2.86	2.90	94.24
Longitud de raquis	0.8266	0.6840	0.00	0.00	100.00
Promedio (%)			4.89	7.32	87.79

B × P: interacción bloque × procedencia.

Cuadro 2. Valores promedio de las variables morfológicas y agrupamiento de 10 procedencias de *E. cyclocarpum* de la región Costa de Oaxaca, México.

Procedencias [†]	Variables morfológicas								
	AT (cm)	AH (cm)	AE (cm)	DAH (mm)	LHC (cm)	AHC (cm)	LPHC (cm)	AHV (cm)	LPV (cm)
Pinotepa de Don Luis	27.12 a	11.54 b	1.32 abc	3.42 ab	6.55 cd	3.05 ab	1.20c	9.17 b	3.67 a
San Pedro	27.11 a	11.49 b	1.40 ab	3.43 ab	6.98 ab	3.06 ab	1.22bc	9.74 a	3.55 a
Tataltepec	26.80 ab	11.43 b	1.01 d	3.45 a	6.43 cd	2.83 c	1.08d	8.75 bcd	3.56 a
Colotepec	26.68 abc	11.42 b	1.15 cd	3.35 abc	6.72 bc	3.04 ab	1.14cd	9.25 ab	3.58 a
Pochutla	26.47 abcd	12.81 a	1.52 a	3.32 abc	6.43 cd	3.00 bc	1.23abc	9.01 bcd	3.52 ab
San Francisco	26.15 abcd	11.90 b	1.22 bcd	3.27 c	7.12 a	3.05 ab	1.34a	8.64 cd	3.29 b
La Tuza	26.13 abcd	13.00 a	1.47 a	3.31 bc	7.18 a	3.18 a	1.32ab	8.94 bcd	3.51 ab
El Zarzal	25.34 bcd	11.60 b	1.24 bc	3.37 abc	6.51 cd	3.00 bc	1.13cd	8.53 d	3.45 ab
Cortijo	25.30 cd	11.67 b	1.40 ab	3.25 c	6.69 bc	3.06 ab	1.15cd	8.83 bcd	3.55 a
Los Limones	25.08 d	11.62 b	1.34 abc	3.09 d	6.21 d	2.94 bc	1.12cd	8.77 bcd	3.21 b

[†]Procedencias ordenadas de mayor a menor altura total (AT). Medias con letra distinta en las columnas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). AH: altura del hipocótilo, AE: altura del epicótilo, DAH: diámetro a la altura del hipocótilo, LHC: longitud de las hojas cotilenares, AHC: amplitud de las hojas cotilenares, LPHC: longitud de peciolo de la hoja cotilenar, AHV: amplitud de hojas verdaderas y LPV: longitud de peciolo de las hojas verdaderas.

(Figura 2B). Con base en los modelos de regresión encontrados para las variables antes mencionadas (Figura 2A y 2B), se tiene que por cada 100 m que aumente la altitud de origen de las semillas, las plántulas alcanzan 0.4 cm más de tamaño en altura y 0.4 mm en diámetro a las 36 semanas después de la germinación de las semillas. Si este patrón se mantiene a una mayor edad, cuando las procedencias se evalúen en campo, se podría realizar una zonificación altitudinal para el movimiento de semillas.

Este mismo patrón de variación se ha reportado para diámetro y altura de las plántulas de *G. crinita* a los 12 meses de edad (Rochon *et al.*, 2007). El patrón encontrado pudo deberse a una respuesta adaptativa a las altas

temperaturas, debido a que las procedencias de menor elevación presentaron mayor temperatura media anual y máxima promedio anual (Viveros-Viveros *et al.*, 2017). Otra opción es que las diferencias encontradas se deban a efectos maternos, los cuales se han reportado en características del tamaño de las semillas, germinación y en el crecimiento inicial de plántulas (Vivas *et al.*, 2015).

La altura total de la plántula y la amplitud de las hojas verdaderas de *E. cyclocarpum* presentaron asociación negativa significativa con los grados-día > 5°C ($r = -0.69$, $P = 0.025$), lo que significa que a mayor acumulación de grados-día > 5°C al año, menor será el crecimiento en altura y la amplitud de las hojas verdaderas en plántulas

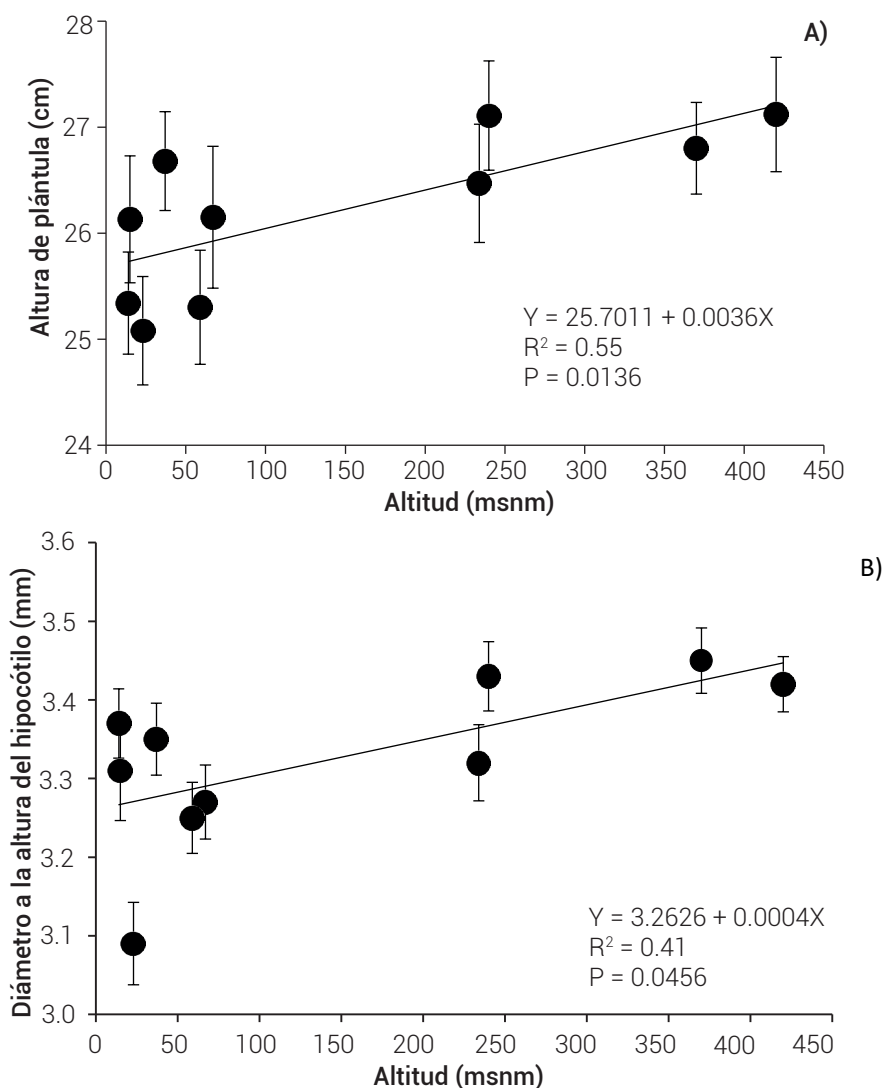


Figura 2. Relación entre A) la altura total de la plántula y B) diámetro a la altura del hipocótilo, con la altitud del sitio de origen de 10 procedencias de *E. cyclocarpum*.

de *E. cyclocarpum*; además, la amplitud de hojas verdaderas presentó asociación negativa significativa con la temperatura mínima ($r = -0.72$, $P = 0.081$). Por otro lado, ninguna de las variables morfológicas tuvo asociación significativa con el resto de las variables ambientales y geográficas ($P \geq 0.055$), esto indicó que la morfología de plántulas de *E. cyclocarpum* tiene mayor relación con variables relacionadas con la temperatura que con variables relacionadas con la precipitación y el índice de aridez.

CONCLUSIONES

Existen diferencias significativas entre procedencias en la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas y la aportación de la procedencia a la varianza total fue moderada. La asociación positiva de la altura total y el diámetro a la altura de hipocótilo con la elevación del sitio de procedencia permite concluir que las semillas provenientes de mayor elevación producen plántulas de mayor tamaño. Asimismo, la altura total de la plántula y ancho de las hojas verdaderas se asociaron con las variables climáticas relacionadas con la temperatura del sitio de origen; a mayor temperatura en el sitio de origen, menor crecimiento inicial de las plántulas en el ensayo. *Enterolobium cyclocarpum* muestra diferenciación significativa en edades muy tempranas, en caso de mantenerse esta diferenciación en edades posteriores, se podría hacer selección temprana de las mejores procedencias para realizar movimiento de semillas y establecer plantaciones forestales.

BIBLIOGRAFÍA

- Chaix G., O. Monteuiis, C. Garcia, D. Alloysius, J. Gidiman, R. Bacilieri and D. K. S. Goh (2011) Genetic variation in major phenotypic traits among diverse genetic origins of teak (*Tectona grandis* L.f.) planted in Taliwas, Sabah, East Malaysia. *Annals of Forest Science* 68:1015-1026, <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0109-8>
- Chevin L. M., R. Lande and G. M. Mace (2010) Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *PLoS Biology* 8:e1000357, <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000357>
- Cordell S., G. Goldstein, D. Mueller-Dombois, D. Webb and P.M. Vitousek (1998) Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiian tree species, along an altitudinal gradient: the role of phenotypic plasticity. *Oecologia* 113:188-196, <https://doi.org/10.1007/s004420050367>
- Derero A., G. Tesfaye and Z. Woldemariam (2017) Variation in seed traits and seedling vigour of *Cordia africana* Lam. provenances in Ethiopia. *Journal of Forestry Research* 28:925-933, <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0317-z>
- Franiel I. and K. Wieski (2005) Leaf features of silver birch (*Betula pendula* Roth). Variability within and between two populations (uncontaminated vs Pb-contaminated and Zn-contaminated site). *Trees* 19:81-88, <https://doi.org/10.1007/s00468-004-0366-3>
- Gamal-Eldeen A. M., H. Amer, A. A. Alrehaili, A. Saleh, A. E. R. A. Ghamdi, N. M. Hawsawi, ... and B. M. Raafat (2020) Cancer chemopreventive properties of sulfated *Enterolobium cyclocarpum* extract. *Nutrition and Cancer* 73:856-868, <https://doi.org/10.1080/01635581.2020.1773512>
- Hernández-Hernández M. L., M. V. Velasco-García, J. López-Upton, R. Galán-Larrea, C. Ramírez-Herrera y H. Viveros-Viveros (2019) Crecimiento y supervivencia de procedencias de *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque* 40:173-183, <https://doi.org/10.4067/S0717-92002019000200173>
- Martínez P. M. M., R. E. Del Río, A. Flores G., R. E. Martínez M., O. A. Ron E. and D. Raya G. (2012) *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.: the biotechnological profile of a tropical tree. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 11:385-399.
- Monteuuis O., D. K. S. Goh, C. Garcia, D. Alloysius, J. Gidiman, R. Bacilieri and G. Chaix (2011) Genetic variation of growth and tree quality traits among 42 diverse genetic origins of *Tectona grandis* planted under humid tropical conditions in Sabah, East Malaysia. *Tree Genetics & Genomes* 7:1263-1275, <https://doi.org/10.1007/s11295-011-0411-5>
- Navarro C., F. Montagnini and G. Hernández (2004) Genetic variability of *Cedrela odorata* Linnaeus: results of early performance of provenances and families from Mesoamerica grown in association with coffee. *Forest Ecology and Management* 192:217-227, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.01.037>
- Niembro R. A., M. Vázquez T. y O. Sánchez S. (2010) Árboles de Veracruz. 100 Especies para la Reforestación Estratégica. Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 253 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán (2005) Árboles Tropicales de México. Manual para la Identificación de las Principales Especies. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 523 p.
- Rochon C., H. A. Margolis and J. C. Weber (2007) Genetic variation in growth of *Guazuma crinita* (Mart.) trees at an early age in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management* 243:291-298, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.025>
- SAS Institute (2013) SAS/STAT Guide for Personal Computers. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 378 p.
- Taiz L. y E. Zeiger (2006) Fisiología Vegetal. Vol. 2. Universitat Jaume I. Castellón de la Plana, España. 1338 p.
- Vivas M., M. Kemler and B. Slippers (2015) Maternal effects on tree phenotypes: considering the microbiome. *Trends in Plant Science* 20:541-544, <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.06.002>
- Viveros V. H., J. D. Hernández P., M. V. Velasco G., R. Robles S., C. Ruiz M., A. Aparicio R., ... y M. L. Hernández H. (2015) Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6:52-65, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i30.207>
- Viveros-Viveros H., K. Quino-Pascual, M. V. Velasco-García, G. Sánchez-Viveros y E. Velasco-Bautista (2017) Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque* 38:317-326, <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200009>
- Weber J. C. and C. Sotelo M. (2008) Geographic variation in tree growth and wood density of *Guazuma crinita* Mart. in the Peruvian Amazon. *New Forests* 36:29-52, <https://doi.org/10.1007/s11056-007-9080-5>
- White T. L., W. T. Adams and D. B. Neale (2007) Forest Genetics. CABI Publishing. Boston, Massachusetts, USA. 682 p.

