



DOI: [10.29298/rmcf.v16i90.1544](https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1544)

Artículo de investigación

Evaluación de ensayos de progenie de *Cedrela odorata* L. en distintas regiones de México

Evaluation of progeny tests of *Cedrela odorata* L. in different regions of Mexico

Eliana Molar Peña¹, Marcos Jiménez Casas^{1*}, Miguel Ángel López López¹,
José Pastor Parra Piedra², José Vidal Cob Uicab³

Fecha de recepción/Reception date: 16 de diciembre de 2024.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 27 de mayo de 2025.

¹Colegio de Postgraduados, Posgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo, México.

²Ruby Canyon México a TÜV SÜD Company, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Chetumal, México.

*Autor para correspondencia; correo-e: marcosjc@colpos.mx

*Corresponding author; e-mail: marcosjc@colpos.mx

Resumen

Los ensayos de progenie proporcionan información sobre el desempeño de los genotipos, estabilidad y adaptación en diferentes ambientes, con la finalidad de depurar y convertirlos en huertos semilleros que produzcan semilla de alta calidad y diversidad genética. En tres ensayos de progenie de *Cedrela odorata* establecidos en Venustiano Carranza, Puebla, Tihuatlán, Veracruz y Tamazunchale, San Luis Potosí se planteó evaluar la variación morfológica entre sitios y familias, e identificar las familias con mejor desarrollo y crecimiento. Los ensayos se establecieron con las mismas familias, en 16 bloques completos al azar con 64 familias por bloque. A los tres años se registró el porcentaje de supervivencia, la altura, diámetro normal, altura de fuste limpio, forma de fuste, bifurcación e incidencia de *Hypsipyla grandella*; con estas variables se clasificó ordinalmente a las familias. Diferencias significativas se observaron entre sitios en supervivencia, altura y diámetro. Los porcentajes de supervivencia fueron 80 % en Tamazunchale, 77 % en Venustiano Carranza y 35 % en Tihuatlán. Respecto a la altura y diámetro normal, Tamazunchale tuvo los mejores promedios (5.8 m y 7.1 cm, respectivamente), seguido por Venustiano Carranza (3.5 m y 4.2 cm) y Tihuatlán (2.5 m y 2.5 cm). Dentro de los sitios, las familias 7, 45 y 62 presentaron desempeño sobresaliente y estable en los tres ambientes probados. Aunque no se detectó variación entre familias, las condiciones de cada sitio influyeron sobre el rendimiento de los árboles, destacó el ensayo de Tamazunchale con el mejor desempeño y características comerciales.

Palabras clave: Cedro rojo, clasificación ordinal, ensayos de progenie, familias, variación ambiental, variación morfológica.

Abstract

Progeny trials provide information on genotype performance, stability and adaptation in different environments, with the aim of refining and converting them into seed orchards that produce high-quality seed and genetic diversity. In three *Cedrela odorata* progeny trials established in Venustiano Carranza, state of Puebla, Tihuatlán, state of Veracruz and Tamazunchale, state of San Luis Potosí, the objective of this study was to evaluate the morphological variation

between sites and families, and to identify the families with the best development and growth. The trials were established with the same families, in 16 complete randomized blocks with 64 families per block. After three years, the survival percentage, height, normal diameter, clean stem height, stem shape, bifurcation and incidence of *Hypsipyla grandella* were recorded; using these variables, the families were ordinally classified. Significant differences were observed between sites in survival, height and diameter. Survival rates were 80 % in *Tamazunchale*, 77 % in *Venustiano Carranza* and 35 % in *Tihuatlán*. Regarding height and normal diameter, *Tamazunchale* had the best averages (5.8 m and 7.1 cm, respectively), followed by *Venustiano Carranza* (3.5 m and 4.2 cm) and *Tihuatlán* (2.5 m and 2.5 cm). Within sites, families 7, 45, and 62 had outstanding and stable performance in the three environments tested. Although no variation was detected between families, the conditions of each site influenced the performance of the trees, with the *Tamazunchale* trial standing out with the best performance and commercial characteristics.

Keywords: Red cedar, ordinal ranking, progeny trials, families, environmental variation, morphological variation.

Introducción

En el ámbito del mejoramiento genético de especies forestales, los ensayos de procedencias y progenies tienen como objetivo principal obtener ganancias genéticas con base en la selección de los mejores fenotipos y genotipos (White et al., 2007). Estos ensayos inician con la selección de árboles superiores en función de su fenotipo; es decir, aquellos que presentan rendimiento sobresaliente en características evaluadas y de interés comercial en comparación con el promedio de la población natural (Zobel & Talbert, 1988).

La selección fenotípica permite elegir características de interés y predecir la ganancia genética para su posterior utilización en la formación de bosques más productivos y mejor adaptados (White et al., 2007). Estas características no se limitan únicamente al crecimiento rápido, sino que también abarcan aspectos relevantes como supervivencia, resistencia a factores ambientales adversos, calidad de la madera y producción de semillas (Flores-Flores et al., 2014). La cuantificación de la variabilidad del carácter, estimación de parámetros genéticos y heredabilidad por diferencial de selección son elementos clave en el proceso de mejoramiento genético de especies forestales (Flores-Flores et al., 2014). Además, proporcionan información valiosa para el manejo de

huertos semilleros y guían a los programas de mejoramiento genético forestal (White et al., 2007).

La evaluación de la variación morfológica en ensayos de progenies es relevante para identificar individuos con características fenotípicas deseables y conocer su adaptabilidad en diferentes condiciones (Quijada, 1984; White et al., 2007). La interacción genotipo-ambiente resulta especialmente importante en especies con una amplia distribución natural como *Cedrela odorata* L., ya que las progenies o procedencias pueden comportarse de manera diferente en ambientes distintos (Flores-Flores et al., 2014). Por lo tanto, es deseable que los genotipos mantengan estabilidad en sus caracteres morfológicos en diferentes ambientes, ya que al tener un comportamiento relativamente bueno y previsible demuestran potencial para responder de manera favorable en diferentes sitios considerados para establecer plantaciones más productivas (Falconer & Mackay, 1996; Quijada, 1984; Zobel & Talbert, 1988). Sin embargo, obtener genotipos con estabilidad en diferentes ambientes es complicado. Por citar algún estudio, en ensayos de progenie establecidos en dos condiciones contrastantes, con más de 40 familias de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*, solo se identificaron cuatro familias con alta estabilidad en caracteres morfológicos de interés, lo cual indica el nivel de adaptación de las familias a su ambiente y limita su potencial productivo a la condición del sitio de plantación (Pagliarini et al., 2016).

El comportamiento de las familias, en los ensayos de progenie, durante los primeros años refleja la variación de la expresión de diversas características, las cuales están influenciadas por la calidad del sitio, el manejo y la interacción con factores bióticos y abióticos (Rodríguez-Vásquez et al., 2021).

En áreas tropicales y subtropicales, *C. odorata* tiene un alto valor económico por la calidad de su madera (Olvera-Moreno et al., 2022). En México, ocupa el segundo lugar en términos de establecimiento de plantaciones forestales comerciales, después del género *Eucalyptus* spp., con una extensión de 20 705 ha (Velázquez Martínez et al., 2011). En conjunto, representan 60 % de la superficie plantada en el país, especialmente en los

estados de Veracruz, Tabasco y Campeche (Palma-López *et al.*, 2007). Por lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron: (1) evaluar la variación en características morfológicas y de crecimiento entre familias establecidas en tres ensayos de progenie de *C. odorata* bajo diferentes condiciones ambientales, y (2) identificar las familias con mejor desempeño.

Materiales y Métodos

Los ensayos se establecieron en el año 2018, en las localidades Tamazunchale, en el estado de San Luis Potosí; Tihuatlán en Veracruz; y Venustiano Carranza en Puebla (Cuadro 1), que corresponden a lugares con características contrastantes entre sí (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2010a, 2010b, 2010c). En cada ensayo se consideraron 64 familias procedentes de Veracruz (23 familias), Puebla (17 familias), San Luis Potosí (11 familias), Tamaulipas (3 familias) e Hidalgo (10 familias).

Cuadro 1. Ubicación geográfica y características de los sitios de establecimiento de los ensayos de progenie de *Cedrela odorata* L.

Ubicación	Latitud N y longitud O	Altitud (msnm)	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Tipo de suelo	Exposición
Venustiano Carranza, Puebla	20°28'26.3" 97°41'59.0"	330	22-26	1 400 a 1 600	Vertisol	Cenital
Tihuatlán, Veracruz	20°33'44.9" 97°29'6.2"	164	24-26	1 100 a 1 300	Regosol	Cenital
Tamazunchale, San Luis Potosí	21°28'39" 98°58'45"	140	20-24	1 500 a 3 000	Leptosol	Cenital-norte

Entre marzo y mayo de 2018 se establecieron los tres ensayos con plantas de las 64 familias de entre 6 y 8 meses de edad, con una altura de 30 a 40 cm y un diámetro al cuello de la raíz de 35 a 50 mm.

La planta se produjo en tubetes de plástico de 680 mL, llenados con una mezcla de *Peat moss*[®] (60 %), vermiculita (20 %), perlita (20 %) y *Osmocote*[®] 9-45-15 (3 g por cada 680 g de sustrato). El riego se aplicó cada tres o cuatro días, mediante un sistema de riego robotizado, con fertilización programada una vez por semana con fertilizante marca *Peters*[®] 20-10-20 (3 g L⁻¹). Se siguió un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA), con una planta por familia por bloque como unidad experimental, a un espaciamiento de 4×4 m en 16 bloques. Por lo tanto, en cada bloque se incorporaron 64 plantas y por ensayo, un total de 1 024 ejemplares.

Variables evaluadas

Al momento de la evaluación, solo se consideraron 57 de las 64 familias en el análisis, ya que siete se descartaron por presentar 100 % de árboles muertos.

En cada ensayo se determinó el porcentaje de supervivencia (*SUP*) (vivo: árboles en pie con hojas verdes y brotes en crecimiento en las copas; muerto: árboles sin tejidos vivos en pie o derribados con ausencia de hojas y brotes en las copas), la altura total (*ALT*; m) (pértiga telescópica±1 cm, sin marca registrada), altura de fuste limpio (*AFL*; cm) (pértiga telescópica±1 cm, sin marca registrada) y diámetro normal (*DN*; mm) (vernier digital±0.05 mm, *Mitutoyo*[®] modelo 573-282). La forma del fuste (*FOR*) se determinó con base en cuatro categorías: (1) Muy torcido, (2) Torcido, (3) Ligeramente torcido, y (4) Recto; bifurcaciones (*BIF*): (1) Bifurcada desde un tercio inferior, (2) Bifurcada desde un tercio medio, (3) Bifurcada solo en un tercio superior, y (4) No bifurcada; e incidencia de ataque por *Hypsipyla grandella* (Zeller) (*NIV*) con base en la cantidad de perforaciones en el árbol: (1) Alta: en todo el fuste, brotes y ramas, (2) Media: en brotes y ramas, y (3) Baja: solo en brotes.

Análisis estadístico

La verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se determinaron mediante la prueba *Shapiro-Wilk* con el procedimiento *UNIVARIATE* de SAS[®] versión 9.1 (SAS Institute Inc., 2004) para las variables *SUP* ($p=0.9342$), *ALT* ($p=0.9556$) y *DN* ($p=0.9678$). Se realizó un análisis de varianza ($\alpha < 0.05$) con el procedimiento *GLM* de SAS[®] (SAS Institute Inc., 2004). El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \beta_{j(i)} + F_k + SF_{ik} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado en el individuo de la k -ésima familia, en el j -ésimo bloque anidado en el i -ésimo sitio

μ = Media general

S_i = Efecto fijo del i -ésimo sitio

$\beta_{j(i)}$ = Efecto fijo del j -ésimo bloque anidado en el i -ésimo sitio

F_k = Efecto aleatorio de la k -ésima familia $\sim NID(0, \sigma^2_f)$

SF_{ik} = Efecto aleatorio de la interacción sitio \times familia $\sim NID(0, \sigma^2_{sf})$

e_{ijk} = Error experimental $\sim NID(0, \sigma^2_e)$

$i = 1, 2$ y 3 (sitios)

$j = 1, \dots, 16$ (bloques)

$k = 1, \dots, 57$ (familias)

Posteriormente, se llevó a cabo la separación de medias mediante la prueba de *Tukey* ($\alpha < 0.05$) (SAS Institute Inc., 2004). La clasificación de las familias se hizo mediante el procedimiento sugerido por Dlamini et al. (2017) y Edward et al. (2014) y a cada variable evaluada (*SUP*, *ALT*, *AFL*, *DN*, *FOR*, *BIF* y *NIV*) se le asignó un valor categórico continuo, los cuales variaron desde el mejor (con 1 punto asignado) y sucesivamente hasta el peor (con 57 puntos asignados) por cada familia. Entonces, los datos por variable fueron promediados para obtener el promedio general (*MEDIA*) de las siete variables en cada familia. Posteriormente, las familias se agruparon y clasificaron (*CLAS*) con base en los promedios (*MEDIA*), de manera descendente, usando el procedimiento *PROC RANK* de SAS[®] (SAS Institute Inc., 2004).

Resultados y Discusión

El factor sitio influyó significativamente ($p < 0.0001$) sobre la supervivencia, altura y diámetro; sin embargo, no se obtuvo significancia entre familias, ni en la interacción entre ambos factores (Cuadro 2).

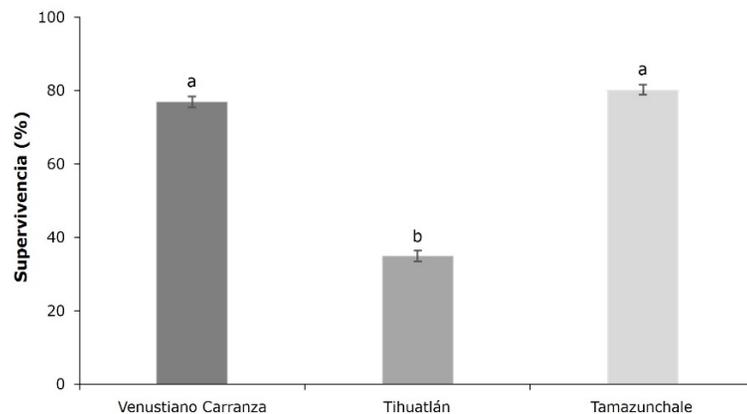
Cuadro 2. Valores de probabilidad (*P*) obtenidos en el análisis de varianza para las variables de supervivencia, altura y diámetro de familias de *Cedrela odorata* L.

FV	GL	Supervivencia	ALT	DN
Sitio	2	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Familia	56	0.3297	0.6775	0.9572
Sitio×Familia	112	0.1106	0.9364	0.9897

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad; ALT = Altura total; DN = Diámetro normal.

Efecto del sitio en la supervivencia

El porcentaje promedio de supervivencia entre los tres ensayos fue superior a 60 %. Los árboles de los ensayos de Venustiano Carranza y Tamazunchale tuvieron mayor supervivencia (>70 %) que los de Tihuatlán (35 %) (Figura 1). En estudios anteriores se ha observado que la mortalidad en las plantaciones está, principalmente, asociada con las condiciones ambientales y prácticas de silvicultura de cada sitio, así como con la falta de protección adecuada (Grignola *et al.*, 2014).



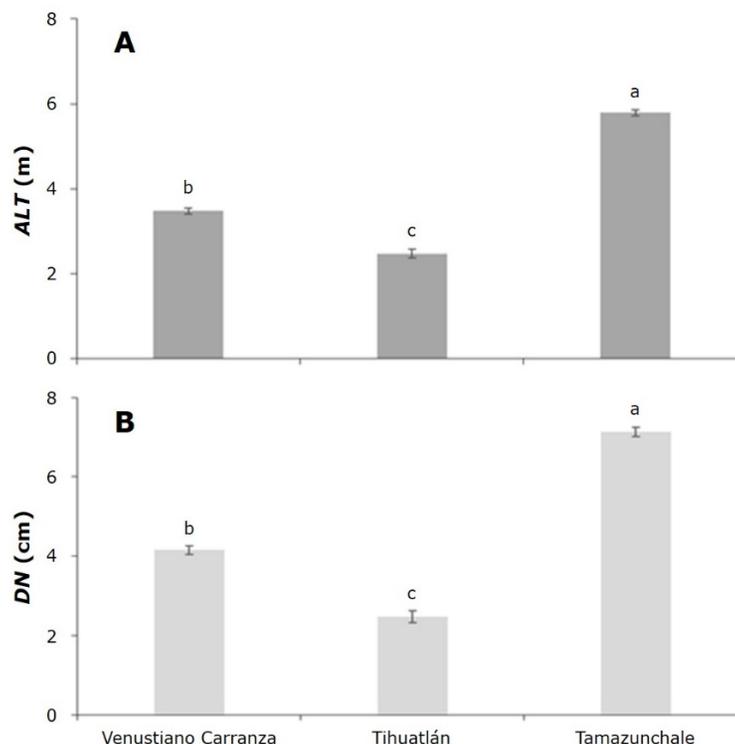
Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes con $p \leq 0.05$. Error estándar representado en las líneas ubicadas por encima de las barras.

Figura 1. Efecto del sitio en los porcentajes de supervivencia de los árboles de *Cedrela odorata* L.

En el ensayo de Tihuatlán se registró una supervivencia de 35 % debido a las condiciones del terreno, en donde se presentaron problemas de anegamiento excesivo del suelo, lo que provocó hipoxia y anoxia que afectan negativamente las funciones de la planta, incluida la fotosíntesis (Lee *et al.*, 2011; Peña-Castro, 2014). Otros factores asociados fueron la competencia con malezas y la presencia de plantas trepadoras, las cuales suprimieron el crecimiento de los árboles de *C. odorata*, los cuales una vez debilitados fueron más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades (Da Ponte Canova & Salas, 2009).

Efecto del sitio en altura y diámetro

Los árboles establecidos en Tamazunchale alcanzaron alturas significativamente mayores que los de Venustiano Carranza y Tihuatlán, con una diferencia de aproximadamente 2.3 y 3.3 m, respectivamente (Figura 2A). En cuanto al *DN*, los árboles en el ensayo de Tamazunchale exhibieron diámetros superiores a 5.5 cm, y superaron en más de 2.8 y 4.6 cm a los árboles de Venustiano Carranza y Tihuatlán, respectivamente (Figura 2B).



A = Altura total (*ALT*; m); B = Diámetro normal (*DN*; cm). Medias con letra diferente son estadísticamente diferentes con $\alpha \leq 0.05$. Las líneas ubicadas por encima de las barras representan el error estándar.

Figura 2. Efecto del sitio sobre la altura total y el diámetro normal de árboles de *Cedrela odorata* L.

Las condiciones de menor altitud, mayor precipitación anual, suelo con buen drenaje (Leptosol) y la exposición norte en Tamazunchale favorecieron el crecimiento en altura (*ALT*) y diámetro (*DN*) de los árboles, en contraste con los de Venustiano Carranza y Tihuatlán. En condiciones óptimas de precipitación (1 200 a 3 000 mm), la especie presenta altas tasas de crecimiento en altura (Alonso-Báez *et al.*, 2020).

El crecimiento de los árboles y su adaptación a las condiciones ambientales son aspectos importantes para comprender tanto su respuesta al clima, como las estrategias de adaptación genética (Mondino, 2014). Además, en este mismo ensayo se realizaron labores culturales en lo relativo al control de malezas y podas, a diferencia de los otros dos ensayos. Es recomendable llevar a cabo prácticas regulares de control de malezas para evitar la competencia entre individuos durante los primeros tres años de establecimiento de la plantación (Toro Vergara, 2004).

La presencia del barrenador *Hypsipyra grandella* representa un riesgo significativo para las plantaciones, ya que afecta el crecimiento de los árboles y la calidad de la madera (Cornelius & Watt, 2003; Santos Murgas *et al.*, 2015). El monitoreo regular y la implementación de medidas de control como las prácticas culturales son fundamentales para mitigar este problema. En particular, en Tihuatlán, con menor precipitación, prácticas culturales escasas y algunas zonas de la plantación con drenaje deficiente, que permiten inundaciones frecuentes durante la temporada de lluvias, generaron condiciones estresantes para los árboles. Aunque *C. odorata* puede crecer en diferentes ambientes, se sabe que las características del suelo determinan su establecimiento, crecimiento y desarrollo; los mejores crecimientos de la especie se han registrado en suelos con buen drenaje y fertilidad (Cintron, 1990).

Clasificación ordinal de familias

En la clasificación general, 39 % de las familias están dentro de los primeros cinco lugares (Cuadro 3). Esto indica una respuesta importante y positiva de la mayoría de

las familias a los tres sitios; a pesar de que la selección fenotípica de los árboles superiores se realizó con los residuos de las poblaciones naturales de *C. odorata*, en ocasiones con densidades de árboles reducidas y en otros casos, solo con relictos donde no había muchos individuos para hacer una mejor selección.

Cuadro 3. Clasificación ordinal de las familias en los tres ensayos de progenie de *Cedrela odorata* L.

Familia	SUP	ALT	AFL	DN	FOR	BIF	NIV	MEDIA	CLAS
62	11	2	9	3	11	7	7	7	1
7	21	4	5	6	5	5	5	7	1
45	27	1	6	2	1	9	6	7	1
20	24	4	3	8	5	5	5	8	2
37	14	5	10	6	7	5	9	8	2
71	39	1	4	2	6	5	2	8	2
26	10	3	19	5	11	6	5	8	2
48	3	6	21	6	8	6	9	8	2
18	25	6	1	7	15	1	9	9	3
51	19	6	12	7	9	6	5	9	3
63	35	7	7	10	2	2	2	9	3
34	1	6	14	10	18	5	11	9	3
77	29	3	17	3	2	4	9	10	4
59	3	8	31	8	8	3	7	10	4
65	23	8	8	10	9	5	5	10	4
72	17	7	29	6	5	2	3	10	4
80	25	7	11	9	9	3	9	10	4
8	46	5	2	4	10	4	4	11	5
10	6	6	25	13	9	6	11	11	5
3	2	8	35	13	7	8	5	11	5
61	16	7	28	8	9	1	9	11	5
55	25	6	15	9	12	3	9	11	5
33	13	8	20	10	16	7	9	12	6
78	4	9	33	14	16	5	4	12	6

19	18	4	36	10	10	7	1	12	6
46	20	7	22	8	10	8	11	12	6
29	9	5	39	8	8	9	10	13	7
54	8	7	40	12	10	9	2	13	7
13	7	8	45	12	7	5	5	13	7
5	15	8	32	10	9	4	11	13	7
12	22	8	23	14	9	4	11	13	7
42	35	7	13	9	10	10	8	13	7
36	38	5	26	1	14	5	7	14	8
58	26	11	26	14	13	3	5	14	8
69	44	9	18	9	12	3	4	14	8
23	35	11	16	16	11	1	11	14	8
60	5	6	52	7	13	7	11	14	8
39	30	7	30	13	7	4	11	15	9
76	43	5	27	6	13	4	4	15	9
70	35	10	24	13	8	7	6	15	9
66	12	9	56	12	8	11	5	16	10
35	28	5	42	11	11	7	11	16	10
28	39	9	34	7	17	6	4	17	11
43	34	9	49	11	7	6	4	17	11
79	25	10	46	15	12	8	4	17	11
68	37	9	41	11	12	9	5	18	12
22	33	10	44	11	14	7	7	18	12
11	40	10	43	12	11	4	8	18	12
47	41	9	38	15	11	8	7	18	12
21	49	6	47	10	3	6	10	19	13
49	31	10	48	17	9	6	11	19	13
32	42	9	51	14	6	7	5	19	13
64	32	9	50	13	15	10	5	19	13
50	47	5	55	4	12	8	4	19	13
41	45	7	37	13	18	11	4	19	13
25	48	4	54	8	4	7	11	19	13
24	36	9	53	16	5	8	11	20	14

SUP = Supervivencia; *ALT* = Altura total; *AFL* = Altura de fuste limpio; *DN* = Diámetro normal; *FOR* = Forma de fuste; *BIF* = Bifurcaciones; *NIV* = Nivel de incidencia de *Hypsipyla grandella*; *MEDIA* = Promedio de los siete atributos; *CLAS* = Clasificación. La sombra indica las 22 mejores familias (arriba) y las 17 peores (abajo), sin sombras familias intermedias.

Los resultados revelaron que las familias 7, 45 y 62 exhibieron una notable estabilidad en los tres sitios analizados, principalmente en Venustiano Carranza y Tamazunchale. La familia 45 se mantuvo dentro de los primeros cinco lugares, y mostró consistencia en cada uno de los tres sitios; destacaron en *ALT*, *DN* y *FOR* (con las primeras posiciones 1, 2, 1, respectivamente) que corresponden a las variables de mayor interés comercial. También resalta la familia 62, la cual sobresalió en *ALT* y *DN* (posiciones 2 y 3, respectivamente), y conservó una posición relevante en ambos lugares. La familia 7 exhibió la mayor consistencia en las características de crecimiento, bifurcación, forma de fuste e incidencia de *Hypsipyla grandella*, siempre entre las posiciones 4 a 6 (Cuadro 3).

Las características destacadas de estas tres familias en los sitios evaluados indican su capacidad de respuesta a las diferentes condiciones presentes en cada uno de ellos. Sin embargo, es necesario complementar estos resultados con la estimación de parámetros genéticos y la evaluación de interacción genotipo-ambiente. En estudios similares de ensayos de *C. odorata*, pero con planta injertada, se indicó que la heterogeneidad ambiental entre sitios fue la causa principal de la baja heredabilidad en variables de crecimiento, además de que la interacción genotipo-ambiente resultó de baja a moderada (Olvera-Moreno et al., 2022).

Estos parámetros ayudan a recomendar planes de manejo en los ensayos y a seleccionar genotipos superiores con fines de mejoramiento genético de la especie en cada uno de los sitios. El desarrollo y crecimiento de los genotipos está relacionado con su genética y todas las condiciones ambientales presentes de cada ensayo,

particularmente los factores edáficos, climáticos y bióticos (Kimmins, 2004). Por lo tanto, la variabilidad observada representa la diversidad de genotipos presentes y es un parámetro fundamental para los programas de mejoramiento genético (Murillo et al., 2017). Esta variabilidad se manifiesta a nivel morfológico en los árboles, afecta características como la altura, diámetro, rectitud y calidad del fuste.

En México, con estudios como el aquí documentado, se están logrando avances significativos en el campo del mejoramiento genético de *C. odorata*, con el objetivo de desarrollar materiales mejorados que presenten características estables y distintivas en diferentes ubicaciones (Rodríguez-Vásquez et al., 2021). En el presente estudio, las evaluaciones realizadas en los tres sitios con condiciones ambientales contrastantes permiten conocer el comportamiento y variación en características de crecimiento y morfológicas del fuste en las familias. Lo anterior contribuirá a determinar la adaptabilidad y estabilidad del material plantado (Olvera Moreno et al., 2022); pero estudios de variación genética serán necesarios para realizar los aclareos genéticos en los ensayos y su transformación a huertos semilleros.

En el presente estudio, a los tres años de edad de establecidas las plantaciones, a nivel de familias, los árboles de *C. odorata* no exhibieron una marcada diferenciación morfológica.

Conclusiones

A los tres años de establecidos los ensayos, la variación morfológica esperada entre las familias de *C. odorata* no se verificó, a pesar de la diversidad de condiciones de su origen en Veracruz, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas e Hidalgo. Sin embargo, el factor sitio influyó en la supervivencia y caracteres de crecimiento de los árboles. En particular, los árboles establecidos en Tamazunchale, San Luis Potosí destacaron en relación con los otros dos ensayos por su alta supervivencia y características comerciales, como altura y diámetro normal; el sitio presenta una precipitación media anual muy superior al de los otros dos, y tiene un suelo tipo Leptosol, diferente al

Vertisol y al Regosol existentes en Venustiano Carranza y Tihuatlán, respectivamente; ambos son factores que inciden en la variación descrita. Finalmente, las familias 7, 45 y 62 se identifican como las de mejor desarrollo y crecimiento, de acuerdo a la clasificación basada en los atributos morfológicos considerados en este estudio.

La continuidad de la evaluación será importante para corroborar los resultados en el mediano y largo plazo. Además, se recomienda estudiar y analizar el grado de control genético presente en los caracteres morfológicos, con la finalidad de conocer su relevancia en la adaptación y domesticación de las familias en diferentes ambientes.

Agradecimientos

Agradecemos al Colegio de Postgraduados (Colpos) por su apoyo y facilitación de recursos para llevar a cabo esta investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada a Eliana Molar Peña para realizar estudios de Maestría en Ciencias.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Contribución por autor

Eliana Molar Peña: desarrollo de la investigación, toma de datos, análisis estadístico, estructura y diseño del manuscrito; Marcos Jiménez Casas: diseño, supervisión del experimento, análisis de los resultados, redacción y corrección del manuscrito; Miguel Ángel López López: diseño, supervisión del experimento y corrección del manuscrito;

José Pastor Parra Piedra: supervisión y corrección del manuscrito; José Vidal Cob Uicab: supervisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- Alonso-Báez, M., Avendaño-Arrazate, C. H., y Alonso-López, B. L. (2020, April). Spatial distribution of precipitation over the initial growth of red cedar (*Cedrela odorata* L.). *Agro productividad*, 13(4), 25-32. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1626>
- Cintron, B. B. (1990). *Cedrela odorata* L. Cedro Hembra, Spanish Cedar. In R. M. Burns & B. H. Honkala (Tech. Coords.), *Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods* (pp. 250-257). United States Department of Agriculture. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/1548>
- Cornelius, J. P., & Watt, A. D. (2003). Genetic variation in a *Hypsipyla*-attacked clonal trial of *Cedrela odorata* under two pruning regimes. *Forest Ecology and Management*, 183(1-3), 341-349. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00142-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00142-7)
- Da Ponte Canova, E., & Salas, P. (2009). Control de malezas en plantaciones forestales con el uso de glyphosato y sulfato de amonio. *Investigación Agraria*, 11(1), 54-59. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/41>
- Dlamini, L. N., Pipatwattanakul, D., & Maelim, S. (2017). Growth variation and heritability in a second-generation *Eucalyptus urophylla* progeny test at Lad Krating Plantation, Chachoengsao province, Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 51(3), 158-162. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.12.005>
- Edward, E., Chamshama, S. A. O., Ngaga, Y. M., & Mndolwa, M. A. (2014). Survival, growth and biomass production of *Moringa oleifera* provenances at Gairo inland plateau and Ruvu Coastal Region in Tanzania. *African Journal of Plant Science*, 8(1), 54-64. <https://doi.org/10.5897/AJPS12.158>
- Falconer, D. S., & Mackay, T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics* (4th ed.). Pearson. <https://archive.org/details/IntroductionToQuantitativeGenetics>

- Flores Flores, C., López Upton, J., y Valencia Manzo, S. (2014). *Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies* (1ra ed.). Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/0Manual%20Te%CC%81cnico%20para%20el%20Establecimiento%20de%20Ensayos.pdf>
- Grignola, J., Acreche, M., Di Rienzo, J., Gatto, M., y Fornes, L. (2014, diciembre). Potencialidad de especies y procedencias de *Cedrela* para el establecimiento de plantaciones sustentables en diferentes ambientes del Noroeste Argentino. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 40(3), 260-268. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86432857003>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010a). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tamazunchale, San Luis Potosí clave geoestadística 24037*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/24/24037.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010b). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tihuatlán, Veracruz de Ignacio de la Llave clave geoestadística 30175*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30175.pdf
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2010c). *Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Venustiano Carranza, Puebla clave geoestadística 21194*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21194.pdf

- Kimmins, J. P. (2004). *Forest ecology: A foundation for sustainable management and environmental ethics in forestry* (3rd ed.). Prentice Hall. https://books.google.com.mx/books/about/Forest_Ecology.html?id=0LEsAQAAMAAJ&redir_esc=y
- Lee, S. C., Mustroph, A., Sasidharan, R., Vashisht, D., Pedersen, O., Oosumi, T. Voesenek, L. A. C. J., & Bailey-Serres, J. (2011, April). Molecular characterization of the submergence response of the *Arabidopsis thaliana* ecotype Columbia. *New Phytologist*, 190(2), 457-471. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03590.x>
- Mondino, V. A. (2014). *Variación geográfica y genética en caracteres adaptativos iniciales de Nothofagus pumilio (Poepp. et Endl.) Krasser en una zona de alta heterogeneidad ambiental* [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Buenos Aires]. Repositorio institucional INTA Digital. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/1400/INTA_CRPatagoniaSur_EEAEsquel_Mondino_VA_Variacion_geografica_y_genetica_en_caracteres_adaptativos.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Murillo, O., Espitia, M., y Castillo, C. (2017). *Conceptos del mejoramiento genético forestal*. Universidad Nacional de Ciencias Forestales y Banco Centroamericano de integración Económica. https://fondohondurasespana.bcie.org/fileadmin/fhe/espanol/archivos/publicaciones/Educacion_Superior/4_Mejoramiento_Genetico_Forestal_Fusion.pdf
- Olvera Moreno, S., López Upton, J., Sánchez-Monsalvo, V., y Jiménez Casas, M. (2022). Repeatability of useful characteristics as morphological descriptors in *Cedrela odorata* L. clones. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(69), 4-30. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.938>
- Olvera-Moreno, S., López-Upton, J., Sánchez-Monsalvo, V., y Jiménez-Casas, M. (2022, primavera). Parámetros genéticos e interacción genotipo-ambiente en ensayos clonales de *Cedrela odorata* L. *Madera y Bosques*, 28(1), Artículo e2812318. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812318>

- Pagliarini, M. K., Kieras, W. S., Moreira, J. P., Sousa, V. A., Shimizu, J. Y., Moraes, M. L. T., Furlani Jr., E., & Aguiar, A. V. (2016). Adaptability, stability, productivity and genetic parameters in slash pine second-generation families in early age. *Silvae Genetica*, 65(1), 71-82. <https://doi.org/10.1515/SG-2016-0010>
- Palma-López, D. J., Cisneros Domínguez, J., Moreno Cáliz, E., y Rincón Ramírez, J. A. (2007). *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable* (1ra ed.). Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. https://www.researchgate.net/publication/293958380_Suelos_de_Tabasco_Su_Uso_y_Manejo_Sustentable
- Peña-Castro, J. M. (2014). Respuesta molecular de las plantas ante el estrés por inundación: lecciones aprendidas del gen *SUB1A*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 37(4), 325-337. <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/37-4/4a.pdf>
- Quijada R., M. (1984). Ensayos de progenie. En Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Ed.), *Mejora Genética de Árboles Forestales* (Estudio FAO Montes 20) (pp. 224-230.). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/4/ae236s/ae236s00.pdf>
- Rodríguez-Vásquez, M. E., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-Del Valle, J. R., Campos-Ángeles, G. V., Velasco-Velasco, V. A., y Hernández-Hernández, A. (2021). Ensayos de progenies y huertos semilleros de especies forestales en México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 8(1), 79-88. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/273>
- Santos Murgas, A., Barrios Velazco, H. E., y López C., O. G. (2015, marzo). Bioecología de *Hypsipyra grandella* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) e incidencia en *Cedrela odorata* L. (Meliaceae), Panamá. *Revista Científica CENTROS*, 4, 25-43. https://www.researchgate.net/publication/303450924_Bioecologia_de_Hypsipyra_grandella_ZELLER_LEPIDOPTERA_PYRALIDAE_e_incidencia_en_Cedrela_odorata_L_Meliaceae_Panama

- SAS Institute Inc. (2004). *SAS/STAT 9.1 User's Guide*. SAS Institute Inc. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/91pdf/sasdoc_91/stat_ug_7313.pdf
- Toro Vergara, J. (2004). Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque*, 25(2), 101-113. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002004000200010>
- Velázquez Martínez, A., Fierros González, A. M., Aldrete, A., Gómez Guerrero, A., Fernández Cázares, S., de los Santos Posadas, H., Llanderal Ocampo, T., González, M. de J., López Upton, J., y Ramírez Herrera, C. (2011). *Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México* [Libro blanco]. Comisión Nacional Forestal y Colegio de Postgraduados. <http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=434>
- White, T. L., Adams, W. T., & Neale, D. B. (2007). *Forest Genetics*. Centre for Agriculture and Bioscience International. <https://doi.org/10.1079/9781845932855.0000>
- Zobel, B., y Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. Limusa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/517>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.