

Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México

Production of seeds and reproductive indicators in *Pinus martinezii* from two provenances in the state of Michoacán, Mexico

Jesús Morales-Hernández ^a, Mariela Gómez-Romero ^b, Nahum M Sánchez-Vargas ^c,
Crisanto Velázquez-Becerra ^a, José Cruz-de-León ^a, Enrique Ambriz ^{a*}

* Autor de correspondencia: ^a Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Edificio D, Ciudad Universitaria, Francisco J. Mujica s/n, CP 58030, Morelia, Michoacán, México, tel.: (443) 322-3500, ext. 3064, jorge.ambriz@umich.mx

^b Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Biología, Morelia, Michoacán, México.

^c Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Morelia, Michoacán, México.

SUMMARY

Most pine species produce high amounts of viable seeds, and this characteristic varies according to number of trees and soil conditions. The assessment of reproductive indicators under such conditions has been documented. However, in species such as *Pinus martinezii*, whose populations are small, scattered and fragmented, information on such reproductive characteristics is limited. The objective of this work was to evaluate cone size, reproductive indicators and inbreeding index of *P. martinezii* from sites with different degrees of soil degradation. Thirty cones were collected from eight trees at two sites in the state of Michoacán. The data were analyzed using a two-way ANOVA, whose factors were provenance, family and the interaction between them. In addition, a correlation was made between reproductive parameters and cone size. The values obtained per cone were: 80.6 to 129.6 potential seeds, 15.7 to 79 % developed seeds, 8.6 to 50.6 % full seeds, 39 to 91.1 % vain seeds, 20.9 to 99 % abortive ovules and 0.39 to 0.91 inbreeding index. A significant difference was observed between provenances and families in most of the evaluated variables. Reproductive indicators show a substantial loss of seeds due to abortive ovules and vain seeds, which indicates reproductive problems due to the low number of individuals. This situation is exacerbated by soil degradation.

Keywords: efficiency, inbreeding, reproductive indicators, seed.

RESUMEN

Las especies de pino son competitivas debido a que producen grandes cantidades de semillas viables y esto varía de acuerdo al número de individuos y a las condiciones de suelo. La valoración de los indicadores reproductivos en tales condiciones ha sido documentada. Sin embargo, en otras especies como *Pinus martinezii*, cuyas poblaciones son pequeñas, dispersas y fragmentadas, la información de tales aspectos reproductivos es reducida. El objetivo del presente trabajo fue evaluar tamaño de cono, indicadores reproductivos e índice de endogamia de *P. martinezii* procedente de sitios con diferente grado de deterioro de suelo. Se recolectaron 30 conos de ocho árboles en dos sitios en el estado de Michoacán. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías, cuyos factores fueron procedencia, familia y la interacción entre ellos. Además, se hizo una correlación entre parámetros reproductivos y el tamaño del cono. Los valores obtenidos por cono fueron: entre 80,6 y 129,6 semillas potenciales, de 15,7 a 79 % de semillas desarrolladas, de 8,6 y 50,6 % de semillas llenas, de 39 a 91,1 % de semillas vanas, de 20,9 a 99 % de óvulos abortivos y de entre 0,39 a 0,91 % de índice de endogamia. Se observó diferencia significativa entre procedencias y entre familias en la mayoría de las variables. Los indicadores reproductivos muestran una gran pérdida de semillas por óvulos abortivos y semillas vanas, lo cual indica problemas reproductivos debido al bajo número de individuos y esta situación se agrava con la degradación del suelo.

Palabras clave: pino, endogamia, conos, semillas desarrolladas.

INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de contar con semillas forestales, en cantidad y calidad, suficientes para poder revertir

los procesos de deforestación, obliga a realizar estudios sobre indicadores productivos de semillas de acuerdo a su origen, lo cual es un factor fundamental para la estrategia de restauración y conservación de los recursos. Los indica-

dores reproductivos en especies de *Pinus* de amplia distribución (Eguiluz-Piedra 1982) son diferentes significativamente entre familias y entre procedencias (Gómez-Jiménez *et al.* 2010, Bustamante-García *et al.* 2012, Rodríguez-Laguna *et al.* 2012, Quiroz-Vázquez *et al.* 2017, Aragón-Peralta *et al.* 2020) y en todos los casos dichas diferencias se atribuyen a factores genéticos y ambientales. Respecto a *Pinus martinezii* Larsen, los trabajos relacionados con estos parámetros reproductivos son escasos. De esta especie solo se han realizado investigaciones relacionadas a su distribución y ecología (Silva-Farías 2005), a aspectos analíticos de la madera (Álvarez-Moreno 1987), sitios potenciales para su establecimiento (Leal-Nares *et al.* 2012), así como información sobre su germinación y crecimiento (Morales-Hernández 2014, Morales *et al.* 2017). Por ello, es necesario contar con conocimiento sobre su potencial de producción de semilla que permitirá conocer su estado reproductivo para un manejo adecuado dada su condición de especie en riesgo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2010).

En Michoacán, se tiene registradas 31 poblaciones de *P. martinezii* en la provincia del Eje Neovolcánico Transversal y específicamente al interior de la cuenca de Cuitzeo se han documentado seis poblaciones. La mayoría de las poblaciones se localizan a altitudes que van desde los 1.400 a 2.800 m s.n.m., en suelos profundos y son pequeñas, fragmentadas y afectadas por factores antropogénicos como la agricultura, el pastoreo, los incendios y la corta de árboles para obtener madera (Silva-Farías 2005). Para esta especie se considera que los sitios menos conservados tienen entre 190 y 262 individuos por hectárea y los sitios deteriorados presentan entre 26 y 43 individuos por hectárea (Leal-Nares 2008). La fragmentación en poblaciones genera problemas de polinización, una escasa dispersión, un flujo reducido de genes entre poblaciones y un grado alto de autofecundación (Frankham 1998), así como una reducida variabilidad genética, con altos niveles de endogamia y baja capacidad reproductiva (Mosseler *et al.* 2000). Además, la capacidad reproductiva se ve afectada por la calidad de sitio, como el tipo de suelo (Rodríguez-Laguna *et al.* 2012), humedad y nutrientes (Ayari y Khouja 2014) y por el origen geográfico de la semilla (Bustamante-García *et al.* 2012, Quiroz-Vázquez *et al.* 2017). En especies de coníferas con baja densidad de población se presenta una disminuida producción de semillas llenas y un aumento en la cantidad de semillas vanas (Flores-López *et al.* 2005, Mápula-Larreta *et al.* 2007).

Por tanto, la hipótesis es que los indicadores reproductivos en *P. martinezii* son bajos y varían en función de la procedencia y de la familia, tomando en consideración que esta especie se encuentran asociada y dominada por otras especies arbóreas como pinos y encinos (Madrigal-Sánchez 1982) y que presenta una baja densidad en su población. El objetivo es evaluar los indicadores reproductivos y características de los conos de *P. martinezii* de dos sitios con características ambientales contrastantes, así como la

correlación entre variables para verificar si existe alguna relación entre el tamaño de cono y los indicadores reproductivos.

MÉTODOS

La colecta de los conos en árboles de *P. martinezii* se realizó en dos sitios, Los Azufres (19° 48' 34" N - 100° 40' 05" O) y Maravatío (19° 51' 03" N - 100° 44' 09" O), los cuales pertenecen a la Cuenca de Cuitzeo. El sitio de los Azufres se encuentra a 2.950 m s.n.m. caracterizada como bosque de pino-encino, suelo profundo, abundante materia orgánica, con pastoreo, con presencia de sotobosque y aprovechamiento de resina. El sitio de Maravatío se encuentra a 2.326 m s.n.m. caracterizada como bosque de pino-encino, con aprovechamiento de resina, con pastoreo, sin presencia de sotobosque, con suelo erosionado y carente de materia orgánica. En cada sitio se estableció un rodal que contempló un área de 50 x 50 metros, esto considerando que la especie de estudio se presenta de forma natural en manchones irregulares. Se identificaron 11 árboles en promedio para los sitios de estudio en el periodo de septiembre 2012 a diciembre de 2015. Del total de árboles identificados cuatro presentaron conos para el sitio Los Azufres y cuatro para el sitio Maravatío en diciembre de 2014 y 2015. Todos los individuos estaban libres de plagas, enfermedades y de aprovechamiento de resina. Treinta conos por árbol se colectaron en diferentes partes de la copa del árbol utilizando una garrocha corta ramas y los cuatro árboles en cada sitio tuvieron quince metros de distancia como mínimo entre árboles. Los conos se depositaron en bolsas de papel estraza y cada bolsa fue identificada con el nombre de la procedencia, número de árbol, número de cono y fecha de colecta.

Indicadores reproductivos. Los conos colectados se dejaron secar a temperatura ambiente durante un mes y con exposición al sol. Las variables morfológicas de largo y ancho del cono se midieron cinco días después de la colecta cuando los conos estaban aún cerrados. La medición de estas variables se realizó con el apoyo de un vernier digital con aproximación de 0,1 milímetros (Ultra tech®, México). La medición del largo del cono (LC) se realizó desde la base hasta el ápice del cono y el ancho del cono (AC) se obtuvo tomando las dos medidas perpendiculares entre sí en la parte más gruesa del cono y promediando ambas medidas (Espinoza *et al.* 2009).

Los indicadores reproductivos que se evaluaron fueron de acuerdo con el método de Bramlett *et al.* (1977): número de escamas fértiles (NEF), escamas que presentaron una o dos marcas dejadas por las semillas desarrolladas y el número de semillas desarrolladas (SD) que comprende semillas llenas (SLL), vanas (SVA); las semillas vanas (flotaron) se separaron de las llenas (precipitación) por flotación en agua corriente durante un minuto y dañadas por insectos (visual), estas últimas se caracterizan por tener

una perforación en la testa producida por larvas. El número potencial de semillas (NPS) se calculó como número de escamas fértiles $\times 2$. El porcentaje de eficiencia de semillas (ES) se calculó como semillas llenas en relación al potencial de semillas; el porcentaje de semillas vanas, llenas y dañadas por insectos como la proporción entre cada una de ellas respecto al total de semillas desarrolladas; el número de óvulos abortivos (NOA), los cuales se identifican por ser óvulos rudimentarios abortivos antes de que inicie el crecimiento del cono y son de un tamaño menor al de una semilla llena y se determinó mediante la diferencia entre el potencial de semillas y el número de semillas desarrolladas y su porcentaje como óvulos abortivos entre el potencial de semillas.

El índice de endogamia (IE) se consideró como la proporción del número de semillas vanas respecto al total de las semillas desarrolladas de todos los individuos (Mosserler *et al.* 2000). El IE oscila entre 0 y 1 y los valores más altos indican una mayor consanguinidad, lo cual está basado en estudios de autopolinización controlada (Sorensen y Miles 1974, Fowler y Park 1983).

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA de dos vías), siendo un diseño factorial cuyos factores son la procedencia, la familia y la interacción entre ellos. La prueba de Tukey se utilizó para la comparación de medias. Por otro lado, para identificar la relación entre los parámetros reproductivos y el tamaño de cono se hizo una correlación de Pearson. Todos los análisis se hicieron con un nivel de significancia de $\leq 0,05$. El paquete estadístico utilizado fue el S-plus (Tibco Software Inc., 2000, EE UU).

RESULTADOS

Los valores promedio se presentan en el cuadro 1 para los diferentes parámetros analizados en conos y semillas de *P. martinezii* Larsen por familia y por sitio. En ambos casos se presentaron diferencias significativas. A nivel de familia se presentó una diferencia significativa entre la familia tres y las familias uno y cuatro para el sitio Los Azúfres y entre la familia cinco y las familias siete y ocho para el sitio Maravatío, en ambos casos en la mayoría de las variables evaluadas. Las semillas llenas y la eficiencia de semilla no presentaron diferencias significativas entre familias para el sitio Maravatío. La longitud y ancho del cono fueron mayores en la procedencia de Los Azúfres comparados a los de Maravatío. Para el caso de los indicadores reproductivos, el 62,5 % de los parámetros fueron mayores en Los Azúfres respecto a los de Maravatío. Entre ellos están el número de escamas fértiles por cono, el potencial de producción de semillas y porcentaje de semillas desarrolladas. En sentido opuesto, la proporción de óvulos abortivos por cono, Maravatío representó más del doble que la procedencia Los Azúfres. El número de semillas desarrolladas por cono (llenas, vanas y dañadas) para Los Azúfres fue de 2,5 veces mayor al de Maravatío. Los

valores del coeficiente de endogamia promedio fue similar entre procedencias de 0,67 y 0,71 para Los Azúfres y Maravatío respectivamente.

En el análisis de varianza aplicado, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre sitio, familia e interacción para las variables de conos y semillas de *P. martinezii*. El 82 % de las variables presentó diferencia significativa para el factor sitio y el 90 % para el factor familia y la interacción sitio-familia. Las variables que no presentaron diferencia significativa fueron ancho de cono entre familias, semillas vanas y en el coeficiente de endogamia entre sitios y semillas dañadas en la interacción sitio-familia (cuadro 2).

Las correlaciones más importantes entre las variables de cono y semilla se muestran en el cuadro 3. La correlación entre el tamaño de cono (largo y ancho de cono) y las semillas llenas fue positiva y significativa ($r = 0,60$ y $0,56$, $P < 0,05$). Lo mismo ocurrió para el tamaño de cono y otras variables tales como el número de escamas fértiles, el número potencial de semillas y la eficiencia de semillas. Por otro lado, la correlación del tamaño de cono y el número de óvulos abortivos fue negativa y significativa ($r = -0,50$ y $-0,56$, $P < 0,05$).

DISCUSIÓN

La longitud y ancho de cono de *P. martinezii* presentó variación significativa entre procedencias y familias. Estos resultados coinciden con lo reportado para otras especies de pinos como en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw y en *Pinus greggii* Engelm. (Munive-Martínez *et al.* 2008, Rodríguez-Laguna *et al.* 2012). Los autores citados concluyen que el ambiente tiene un efecto significativo sobre las características, lo cual explica el menor tamaño de conos para la procedencia denominada Maravatío debido a su alto grado de erosión.

Los indicadores reproductivos presentaron diferencia significativa entre sitios y familias y menores valores para el sitio Maravatío. Además, estos indicadores varían en comparación con otras especies de coníferas. El número potencial de semillas, el número de semillas desarrolladas (llenas, vanas y dañadas) y la eficiencia de semillas son superiores a los valores reportados para *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. (61, 16,6 y 1,97 % respectivamente) (Morales-Velázquez *et al.* 2010), similares a *Pinus patula* Schl. et Cham. y *Pinus rzedowski* Madrigal et Caballero (80 - 130, 60 y 18 - 39 % respectivamente) (Ochoa-Hernández *et al.* 2013, Castilleja-Sánchez *et al.* 2016) e inferiores a *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus engelmannii* Carr., *Pinus pinceana* Gordon y *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Mápula-Larreta *et al.* 2007, Bustamante-García *et al.* 2012, Quiroz-Vázquez *et al.* 2017). En otro estudio realizado con la misma especie (Morales-Hernández *et al.* 2017), reportan valores similares en las variables SD, SLL y SVA (47, 24 y 22 % respectivamente), con los obtenidos en este estudio. Dichos indicadores varían sig-

Cuadro 1. Valores promedio de las características reproductivas de conos y semillas de ocho familias de *P. martinzii* procedentes de dos sitios. Mean values of reproductive characteristics of cones and seeds from eight families of *P. martinzii* from two provenances.

Sitio	Familia	LC (cm)	AC (cm)	NEF	NPS	SD (%)	SDA (%)	SVA (%)	SLL (%)	ES (%)	NOA	IE
Los Azufres	1	10,7±0,88 a	4,3±0,26 a	55,7±10,92 b	111,5±21,8 b	77,3±11,43 a	10,3±12,77 bc	39,0±10,04 f	50,6±11,42 a	39,1±10,87 a	22,6±11,43 e	0,39±0,1 f
	2	10,5±0,98 a	4,3±0,32 a	57,8±11,22 ab	115,6±22,4 ab	73,2±7,6 ab	9,4±13,73 bcd	68,0±21,89 cde	22,5±18,02 bc	16,3±12,93 c	26,7±7,61 e	0,68±0,21 cde
	3	9,2±1,10 b	4,0±0,31 b	64,8±10,86 a	129,6±21,7 a	61,8±21,50 bc	0,2±0,66 d	91,1±11,89 a	8,6±11,90 d	6,5±8,91 d	38,1±21,50 d	0,91±0,11 a
	4	9,2±0,84 b	4,0±0,29 b	56,9±7,96 ab	113,8±15,9 ab	79,0±13,18 a	0,0±0,00 d	69,7±20,43 bcde	30,2±20,43 b	24,5±17,83 b	20,9±13,18 e	0,69±0,20 bcde
	Total	9,97±0,96	4,20±0,30	58,84±10,25	117,68±20,49	72,89±13,43	5,00±6,80	66,98±16,07	28,0±15,45	21,64±12,63	27,11±13,43	0,67±0,16
Maravatío	5	7,5±0,63 c	3,3±0,24 e	56,9±9,11 e	80,6±18,2 e	41,3±18,56 d	16,0±17,14 a	57,7±19,75 e	19,5±16,07 bcd	8,6±9,84 d	52,0±18,56 c	0,57±0,19 e
	6	8,1±1,24 c	3,4±0,36 de	40,3±7,45 ce	92,4±14,9 ce	32,1±19,38 e	13,0±11,84 bc	75,0±12,03 bcd	11,8±10,15 cd	4,8±5,98 d	67,8±19,38 b	0,75±0,12 bcd
	7	7,9±0,58 c	3,8±0,21 bc	46,2±9,13 bcd	101,5±18,2 bcd	51,4±13,78 cd	5,3±8,36 bcd	81,8±8,95 abc	13,0±5,43 d	5,6±2,92 d	48,5±13,78 cd	0,82±0,09 abc
	8	7,9±0,84 c	3,6±0,27 cd	50,7±7,11 bcd	103,9±14,2 bcd	15,7±12,52 f	8,5±17,20 bcd	69,4±28,46 bcde	18,6±16,52 cd	2,9±3,13 d	99,0±2,13 a	0,69±0,28 bcde
	Total	7,94±0,82	3,57±0,27	47,32±8,21	94,65±16,41	35,90±16,06	11,46±13,64	71,01±17,30	15,77±12,05	5,53±5,47	66,88±13,46	0,71±0,17

LC = Longitud de cono; AC = Ancho de cono; NEF = Número de escamas fértiles; NPS = Número potencial de semillas; SD = Semillas desarrolladas; SDA = Semillas dañadas; SVA = Semillas vanas; SLL = Semillas llenas; ES = Eficiencia de semillas; NOA = Número de óvulos abortivos por cono; IE = Índice de endogamia; Total = Valores promedio por sitio. ± Desviación estándar. Letras diferentes por fila existe diferencia significativa ($P \leq 0,05$).

Cuadro 2. Análisis de varianza de dos vías aplicado a características reproductivas en conos y semillas de *P. martinzii*.

Two-way analysis of variance applied to reproductive characteristics in cones and seeds of *P. martinzii*.

Factor	GL	SC	CM	F calculada	P
Longitud de cono					
Procedencia	1	240,119	240,119	286,242	6,68x10 ⁻⁴⁶
Familia	3	23,478	7,826	9,329	1,41x10 ⁻⁰⁶
Procedencia-Familia	3	45,723	15,241	18,168	8,57x10 ⁻¹¹
Ancho de cono					
Procedencia	1	2,301	23,301	274,091	5,09x10 ⁻⁴²
Familia	3	0,513	0,171	2,012	0,0938
Procedencia-Familia	3	7,104	0,085	27,856	9,65x10 ⁻¹⁶
Número de escamas fértiles					
Procedencia	1	6.830,210	6.830,209	78,047	1,76x10 ⁻¹³
Familia	3	2.210,570	634,393	8,419	0,0004
Procedencia-Familia	3	724,540	241,512	2,759	6,84x10 ⁻⁰⁸
Número potencial de semillas					
Procedencia	1	27.320,84	27.320,84	78,047	2,40x10 ⁻¹⁶
Familia	3	8.842,27	2.947,42	8,419	3,46x10 ⁻⁰⁶
Procedencia-Familia	3	2.898,15	966,05	2,759	0,0247
Semillas desarrolladas					
Procedencia	1	160.884,5	160.884,5	365,267	1,36x10 ⁻⁴⁷
Familia	3	7.026,5	2.342,2	5,317	0,0003
Procedencia-Familia	3	13.602,2	4.533,7	10,293	1,09x10 ⁻¹⁵
Semillas dañadas					
Procedencia	1	68,466	68,466	1,759	0,0001
Familia	3	1.610,173	536,724	13,792	5,60x10 ⁻⁰⁷
Procedencia-Familia	3	719,351	239,783	6,161	0,7077
Semillas vanas					
Procedencia	1	57.301,62	57.301,62	166,8476	0,095
Familia	3	27.252,78	9.084,26	26,4510	7,29x10 ⁻²²
Procedencia-Familia	3	12.755,92	4.251,97	12,3807	0,0005
Semillas llenas					
Procedencia	1	23.547,55	23.547,55	157,2629	2,92x10 ⁻⁰⁹
Familia	3	10.933,33	3.644,44	24,3395	2,92x10 ⁻¹⁵
Procedencia-Familia	3	7.969,83	2.656,61	17,7422	4,31x10 ⁻⁰⁸
Eficiencia de semillas					
Procedencia	1	15.568,853	15.568,853	3,881	7,24x10 ⁻²⁷
Familia	3	10.254,252	3.418,084	2,643	1,00x10 ⁻¹⁷
Procedencia-Familia	3	7.323,783	2.441,261	2,643	2,72x10 ⁻¹³

Continúa

Número de óvulos abortivos por cono					
Procedencia	1	70.867,65	70.867,65	234,6219	4,52x10 ⁻⁵²
Familia	3	20.388,19	6.796,06	22,4998	4,77x10 ⁻¹³
Procedencia-Familia	3	46.793,51	15.597,84	51,6398	2,42x10 ⁻²⁵
Índice de endogamia					
Procedencia	1	0,358335	0,358335	11,89834	0,0958
Familia	3	4,188857	1,047214	34,77226	7,29x10 ⁻²²
Procedencia-Familia	3	0,817557	0,272519	9,04887	0,0005

GL = grados de libertad, SC = suma de cuadrados, CM = cuadrados medios, P = probabilidad.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación de Pearson de conos y características reproductivas de dos procedencias de *P. martinezii*.
 Pearson correlation coefficient of cones and reproductive characteristics of two provenances of *P. martinezii*.

Variables	LC	AC	NEF	NPS	SVA	SLL	ES	NOA	IE
LC	1	0,89*	0,60*	0,60*	0,20	0,60*	0,60*	-0,50*	-0,31
AC		1	0,62*	0,62*	0,31	0,56*	0,56*	-0,56*	-0,21
NEF			1	1,00*	0,24	0,25	0,25	-0,27	0,02
NPS				1	0,24	0,25	0,25	-0,27	0,02
SVA					1	0,01	0,01	-0,70*	0,52*
SLL						1	1,00*	-0,61*	-0,66*
ES							1	-0,61*	-0,66*
NOA								1	0,15
IE									1

LC: longitud de cono, AC: ancho de cono, NEF: número de escamas fértiles, NPS: número potencial de semillas, SD: semillas desarrolladas, SVA: semillas vanas, SLL: semillas llenas, ES: eficiencia de semilla, NOA: número de óvulos abortivos por cono, IE: índice de endogamia. * = $P < 0,05$.

nificativamente en el espacio y esta variación podría estar asociada con factores ambientales y con la calidad del sitio (Alba-Landa *et al.* 2005, Mendizábal-Hernández *et al.* 2010, Ayari and Khouja 2014).

El elevado porcentaje de semillas vanas en ambas procedencias de *P. martinezii* se puede interpretar como consecuencia de la escasez de polen o a la elevada consanguinidad por su bajo número de árboles en estado reproductivo, en relación a una determinada área, lo cual también se ha observado en otras especies de pinos (Mosser *et al.* 2000). *P. martinezii* se clasifica como especie con baja densidad debido a que, en promedio, se encontraron 4 árboles por cada 1.000 m², tal como se ha documentado en previos trabajos para sitios con baja presencia de individuos (Silva-Farías 2005, Leal-Nares *et al.* 2012).

La proporción de óvulos abortivos en este estudio, presentó un patrón opuesto a los parámetros antes menciona-

dos, la procedencia Maravatio tuvo 2,5 veces más óvulos abortivos que la procedencia Los Azufres. Esta situación se debe probablemente a la calidad de sitio, dado que la procedencia Maravatio proviene de un sitio erosionado. Esta relación coincide con lo reportado por Hernández-Zaragoza *et al.* (2016), quienes observaron una baja calidad de sitio y una alta proporción de óvulos abortivos. La procedencia Los Azufres tuvo óvulos abortivos en la misma proporción que *P. engelmannii* (29,74 %) en tres rodales naturales Bustamante-García *et al.* (2012) y el sitio Maravatio su proporción de óvulos abortivos fue similar a *P. leiophylla* (72,9 %) (Morales-Velázquez *et al.* 2010) y *P. menziesii* (34 %) (Mápula-Larreta *et al.* 2007).

El alto nivel de endogamia de *P. martinezii* es similar al registrado en otras especies de coníferas en peligro de extinción (valores entre 0,67 y 0,84) como *Pinus rzedowskii* (Castilleja-Sánchez *et al.* 2016), *Picea martinezii* T. F.

Patterson (Flores-López *et al.* 2012) y *Picea mexicana* Martínez (Flores-López *et al.* 2005). Estos valores contrastan con lo obtenido en especies con poblaciones fragmentadas, pero ampliamente distribuidas (valores de 0,21 a 0,50) como en *Pinus patula* (Mendoza-Hernández *et al.* 2018) y *P. leiophylla* (Gómez-Jiménez *et al.* 2010). El indicador de endogamia obtenido en los sitios estudiados para *P. martinezii* es el resultado de una autopolinización debido a que existe muy poca densidad del arbolado como se ha observado en poblaciones pequeñas de *Picea rubens* Sarg. (Mosseler *et al.* 2000). Por el contrario, rodales densos producen abundante cantidad de polen, reduciendo así la autopolinización, y por tanto la tasa de endogamia (Schemske y Lande 1985).

El tamaño de cono está relacionado con la polinización, ya que, en los pinos, los conos son más grandes cuando hay una polinización adecuada (Bramlett *et al.* 1977). En este estudio el tamaño del cono (longitud y ancho) se relacionó en forma significativa con la proporción de semillas llenas, apoyando la relación entre tamaño de cono y polinización. Esta correlación también ha sido documentada en *Pinus cembroides* (González-Ávalos *et al.* 2006) y en *Picea mexicana* (Flores-López *et al.* 2005). Por otra parte, la correlación negativa entre tamaño de cono y NOA se debe a la baja producción de polen por área, asociada a la baja densidad de árboles de *P. martinezii*, como lo evidencian los resultados de Morales-Velázquez *et al.* (2010) en *P. leiophylla*, quienes obtuvieron valores reproductivos bajos, atribuyéndole a la escasez de polen por la baja densidad de población. Este hecho también ha sido observado en coníferas con poblaciones disminuidas y dispersas de *P. menziesii* (Mápula-Larreta *et al.* 2007), así como en *Picea mexicana* Martínez (Flores-López *et al.* 2005) y *P. martinezii* (Flores-López *et al.* 2012).

CONCLUSIONES

Los resultados muestran que las procedencias estudiadas de *P. martinezii* presentan valores bajos en los indicadores reproductivos, los cuales están asociados positivamente con el tamaño de los conos y con las condiciones ambientales de los sitios. Las familias procedentes de sitios degradados tienen conos de menor tamaño, con una alta producción de semillas vanas y una baja eficiencia en la producción de semillas llenas. Además, en la mayoría de las variables evaluadas se presentó una diferencia significativa entre familias y en ambas procedencias los niveles de endogamia son altos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera y del Medio Ambiente (LACOPREMA) por permitir el desarrollo del trabajo en sus instalaciones y a la M.C. Irenka Fabián Plesníková y al M.C. Alejandro Reyes Ramos por su apoyo en la colecta del material.

REFERENCIAS

- Alba-Landa J, J Márquez-Ramírez, HS Bárcenas-Cortinas. 2005. Potencial de producción de semillas de *Pinus greggi* engelm., en tres cosechas de una población ubicada en Carrizal Chico, Zacualpan Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(2): 37-40. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770206>
- Álvarez-Moreno RJ. 1987. Anatomía y secado en árboles resinados y no resinados de *Pinus martinezii* Larsen. Tesis Ingeniería en Tecnología de la Madera. Morelia, México. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 63 p.
- Aragón-Peralta RD, G Rodríguez-Ortiz, JJ Vargas-Hernández, JR Enríquez del Valle, A Hernández-Hernández, GV Campos-Ángeles. 2020. Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrabus* var. *oaxacana* (Mirov) SG Harrison. *Revista mexicana de ciencias forestales* 11(59): 118-140. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700>
- Ayari A, ML Khouja. 2014. Ecophysiological variables influencing Aleppo pine seed and cone production: A review. *Tree Physiology* 34: 426-437. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu022>
- Bramlett DL, EW Jr Belcher, GL DeBarr, JL Hertel, RP Karrefalt, CE Lantz, T Miller, KD Ware, H OIII Yates. 1977. Cone Analysis of Southern Pines: A Guide Book. General Technical Report SE-13. Asheville, North Carolina. USDA-Forest Service. 28 p. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_se013.pdf
- Bustamante-García V, JA Prieto-Ruiz, E Merlin-Bermudes, R Álvarez-Zagoya, A Carrillo-Parra, JC Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18(3): 7-21. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v18n3/v18n3a2.pdf>
- Castilleja-Sánchez P, P Delgado-Valerio, C Sáenz-Romero, Y Herrerías-Diego. 2016. Reproductive Success and Inbreeding Differ in Fragmented Populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, Two Endemic Mexican Pines under Threat. *Forests* 178(7): 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/f7080178>.
- Eguiluz-Piedra T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal* 38(7): 30-43.
- Espinoza M, J Márquez-Ramírez, J Alejandro-Rosas, H Cruz-Jiménez. 2009. Estudio de conos de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en un relicto de la localidad el Paso, municipio de la Perla, Veracruz México. *Foresta Veracruzana* 11(1): 33-38. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49711999006>
- Flores-López C, J López-Uptón, JJ Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea Mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39(1): 117-126. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239111>
- Flores-López C, G Geada-López, J López-Uptón, E López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. *Revista Forestal Barco* 31(2): 49-58. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/286777475_Produccion_de

[semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinézii* TF Patterson](#)

- Fowler DP, YS Park. 1983. Population studies of white spruce. I. Effects of self-pollination. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 1133-1138. DOI: <https://doi.org/10.1139/x83-151>
- Frankham R. 1998. Inbreeding and extinction: Island Populations. *Conservation Biology* 12(3): 665-675. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.96456.x>
- González-Ávalos J, E García-Moya, JJ Vargas-Hernández, A Trinidad-santos, A Romero-Manzanares, VM Cetina-Alcalá. 2006. Evaluación de la producción y análisis de semillas de *Pinus cembroides* Zucc. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(2): 133-138. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62912206>
- Gómez-Jiménez DM, C Ramírez-Herrera, J Jasso-Mata, J López-Upton. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4): 297-304. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61015520003>
- Hernández-Zaragoza O, J López-Upton, JJ Vargas-Hernández, M Jiménez-Casas. 2016. Variación clonal de la fenología reproductiva en un huerto semillero de *Pinus patula*. *Bosque* 37(2): 255-264. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200004>
- Leal-Nares O, ME Mendoza, D Pérez-Salicrup, D Geneletti, E López-Granados, E Carranza. 2012. Distribución potencial de *Pinus martinézii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83: 1162-1170. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.27199>
- Leal-Nares OA. 2008. Aspectos ecológicos y patrones de distribución potencial de *Pinus martinézii* Larsen en la cuenca del lago de Cuitzeo, México: Un modelo de distribución potencial aplicado a la conservación. Tesis de Maestría. Ciudad de México, México. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 182 p. Disponible en: https://repositorio.unam.mx/contenidos/aspectos-ecologicos-y-patrones-de-distribucion-de-pinus-martinézii-larsen-en-la-cuenca-del-lago-de-cuitzeo-mexico-un-mo-75705?c=4vP9EW&d=false&q=*&i=230&v=1&t=search_0&as=0
- Madrigal-Sánchez X. 1982. Claves para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Distrito Federal, México. Ministry of Agriculture and Water Resources. 100 p. (Boletín Divulgativo N° 58)
- Mápula-Larreta M, J López-Upton, JJ Vargas-Hernández, A Hernández-Livera. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16: 727-742. DOI: 10.1007/s10531-005-5821-y
- Mendizábal-Hernández L, J Alba-Landa, H Cruz-Jiménez, V Tejada-Landero. 2010. Potencial de producción de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en el paso, municipio de La Perla, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 12(1): 33-38. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49720264005>
- Mendoza-Hernández NB, C Ramírez-Herrera, J López-Upton, V Reyes-Hernández, P Antonio-López. 2018. Variación de características reproductivas de árboles de *Pinus patula* en un huerto semillero sexual. *Agrociencia* 52(2): 279-291. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n2/2521-9766-agro-52-02-279.pdf>
- Morales-Hernández J. 2014. Desarrollo de estrategias de propagación in vivo para la conservación de *Pinus martinézii* Larsen. Tesis Maestro en Ciencias. Morelia, México. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 88 p. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/192
- Morales-Hernández J, S Zepeda-Guzmán, J Cruz-de León, M Gómez-Romero, JE Ambriz-Parra. 2017. Descripción macroscópica y germinación de semillas de *Pinus martinézii* Larsen del estado de Michoacán. *Foresta Veracruzana* 19(1): 23-28. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49751522005>
- Morales-Velázquez MG, CA Ramírez-Mandujano, P Delgado-Valerio, J López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(1): 31-38. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v1n2/v1n2a3.pdf>
- Mosseler A, JE Major, JD Simpson, B Daigle, K Lange, YS Park, KH Johnsen, OP Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal Botany* 78: 928-940. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=18232>
- Munive-Martínez E, O Vázquez-Cuecuecha, E Zamora-Campos, E Fernández-Pedraza, E García-Gallegos. 2008. Variación de conos y semillas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* shaw de dos procedencias del estado de Tlaxcala. *Foresta Veracruzana* 10(1): 39-46. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49711434005>
- Ochoa-Hernández M, J Márquez-Ramírez, L Mendizábal-Hernández, H Cruz-Jiménez, J Alba-Landa, E Ramírez-García. 2013. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus patula* Schl. et Cham., de una prueba de progenies en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 15(2): 37-44. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://redalyc.org/journal/497/49748829006/html>
- Quiroz-Vázquez RI, J López-Upton, VM Cetina-Alcalá, G Ángeles-Pérez. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pincheana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia* 51(1): 91-104. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n1/1405-3195-agro-51-01-00091.pdf>
- Rodríguez-Laguna R, R Razo-Zárate, J Juárez-Muñoz, J Capulín-Grande, R Soto-Gutiérrez. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(4): 289-298. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n4/v35n4a5.pdf>
- Schemske DW, R Lande. 1985. The Evolution of Self-Fertilization and Inbreeding Depression in Plants. II. Empirical Observations. *Evolution* 39(1): 41-52. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1985.tb04077.x>

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MX). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación 2010.
- Silva-Farías MA. 2005. Distribución y aspectos ecológicos de *Pinus Martinezii* Larsen, en el eje Neovolcanico, estado de Michoacán, México. Tesis Licenciado en Biología. Morelia, México. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 88 p.
- Sorensen FC, RS Miles. 1974. Self-pollination effects on Douglas-fir ponderosa pine seeds and seedlings. *Silvae Genetica* 23(5): 135-138. Consultado 25 noviembre 2022. Disponible en: <https://docslib.org/doc/3322786/self-pollination-effects-on-douglas-fir-and>

Recibido: 12.06.21
Aceptado: 01.10.22

