

# PRODUCCIÓN DE SEMILLAS E INDICADORES REPRODUCTIVOS EN POBLACIONES NATURALES DE *PICEA MARTINEZII* T. F. PATTERSON

## REPRODUCTIVE INDICATORS IN NATURAL POPULATION OF *PICEA MARTINEZII* T. F. PATTERSON

ING. CELESTINO FLORES-LÓPEZ,<sup>1</sup> DR. C. GRETEL GEADA-LÓPEZ,<sup>2</sup> DR. C. JAVIER LÓPEZ-UPTON<sup>3</sup> E ING. EDITH LÓPEZ-RAMÍREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento Forestal. Ave. Antonio Narro 1923.25315, Coahuila, México, cele@prodigy.net.mx

<sup>2</sup> Universidad de Pinar del Río. Calle Martí 270 Final, C.P. 20100, Pinar del Río, Cuba

<sup>3</sup> Colegio de Posgraduados. Programa Forestal. Km 36,5 Carretera México-Texcoco, 56230, estado de México

### RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar los indicadores reproductivos y de la producción de semillas en cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*, especie endémica del noreste de México en estatus de peligro de extinción. Se evaluó el largo y peso seco del cono, escamas fértiles, potencial y eficiencia de semillas llenas, las proporciones de óvulos abortados, óvulos rudimentarios, semillas vanas y semillas llenas, también un indicador de endogamia. La especie presentó un valor promedio alto en el potencial de semillas (266 semillas por cono) y una baja eficiencia promedio de semillas de las cuatro poblaciones (7%). Existieron diferencias entre las poblaciones para gran parte de los parámetros evaluados. La de semillas varió grandemente desde valores del 13% en Cañada Puerto I hasta el 2% en La Tinaja. Los indicadores reproductivos de conos y semillas muestran que existe una gran pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas, lo que puede estar asociado a los efectos de la consanguinidad 0,75, como consecuencia de la reducción en el tamaño poblacional.

Palabras claves: *Picea martinezii*, producción de semilla, indicadores reproductivos.

### INTRODUCCIÓN

El género *Picea* en México está representado por tres especies: *Picea chihuahuaza* Martínez, *Picea martinezii* T. F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez, las que tienen una distribución natural no simpátrica en el norte del país y se ubican en poblaciones aisladas. *P. martinezii* se distribuye en la Sierra Madre Oriental en

### ABSTRACT

The aims of the study were to determine the reproductive indicators and seed production in four populations of the endangered-endemic specie *Picea martinezii*. The length and weight of the cone, scale size, empty scale, aborted seed, completed seed, reproductive efficiency as indicator of inbreeding was evaluated. The specie had a high potential of seed per cone but a low reproductive efficiency in the four populations with 7 % of completed seed. There was a remarkable differences among the population were the values of reproductive efficiency varied between 13 % in Cañada Puerto I and 2 % in La Tinaja. The inbreeding coefficient of 0,75 shows that population size could be one of the factors in the lower reproductive efficiency.

Key word: *Picea martinezii*, seed production and reproductive indicators.

el estado de Nuevo León [Ledig *et al.*, 2000a; Müller-Using y Alanis, 1985; Patterson, 1988]. Las poblaciones donde se encuentra asociada *P. martinezii* se caracterizan con elementos tropicales (bosque mesófilo de montaña). Se desarrolla en altitudes de entre 2250 y 2650 msnm, asociado con especies de coní-

feras como *Pinus*, *Abies* y *Taxus globosa* Schlendental, y también con *Quercus*, *Tilia*, *Ostrya*, *Cornus*, *Ilex*, *Juglans* y *Crataegus* [Patterson, 1988].

Estas especies de *Picea* están clasificadas en estatus de riesgo, en la categoría de peligro de extinción dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, debido a que sus áreas de distribución y el tamaño de sus poblaciones han disminuido drásticamente, poniendo en riesgo su permanencia en todo su hábitat natural [Semarnat, 2010]. El principal riesgo de las poblaciones radica en los incendios forestales [Flores et al., 2005; Alanís et al., 2004] y tala clandestina [Martínez, 2001]. Estudios de diversidad genética en esta especie demuestran que presenta diferentes grados de endogamia, lo que es crítico para el establecimiento de nuevas generaciones y la conservación de la especie, ya que afecta la regeneración [Ledig et al., 2000a,b]. En general, las poblaciones fragmentadas tienden a sufrir mayores niveles de endogamia, lo cual conlleva a una menor capacidad reproductiva y mayor riesgo de extinción [Frankham, 1998].

El conocimiento de las características biológicas de la maduración de conos y semillas es de vital importancia para tener éxito en el manejo de las poblaciones, y así programar recolectas de conos [Bramlett, 1974]. Uno de los principales problemas de producción de semillas en poblaciones naturales es la enorme cantidad de semillas vanas y abortivas causado por falta de disponibilidad de polen y la endogamia [Flores et al., 2005; Frankham, 1998]. De estos factores, la limitación de polen ha sido lo más estudiado [Vaughton y Ramsey, 1995]. En ausencia de polinización y fertilización cruzada se produce gran cantidad de semillas vanas, y las semillas desarrolladas pueden producir plántulas anormales como resultado de la depresión endogámica [Sorensen y Miles, 1974; Ledig et al., 1997; Mosseler, 1998 y Ledig et al., 2000b].

Los indicadores reproductivos son herramientas básicas para el monitoreo de las poblaciones [Bramlett et al., 1977; Mosseler, 1998; Flores et al., 2005]. La eficiencia reproductiva de las poblaciones se puede determinar evaluando características asociadas con la producción de semillas, como el tamaño del cono, número de semillas llenas y vanas por cono, proporción

de óvulos abortados, germinación de semillas, supervivencia y vigor de las plántulas [Mosseler et al., 2000]. Este trabajo se desarrolló para evaluar los indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones de *Picea martinezii* Patterson, en la cosecha de 2006.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestrearon todas las poblaciones de *Picea martinezii*. Las cuatro poblaciones están en el estado de Nuevo León, en los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza (Tabla 1).

*Selección de árboles y colecta de conos:* En octubre y noviembre de 2006 se llevó a cabo la recolecta de conos en las cuatro poblaciones. En individuos de diámetro > 20 cm solo se consideró una distancia entre árbol mayor a 50 m para reducir la probabilidad de parentesco. Posteriormente se trasladaron al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

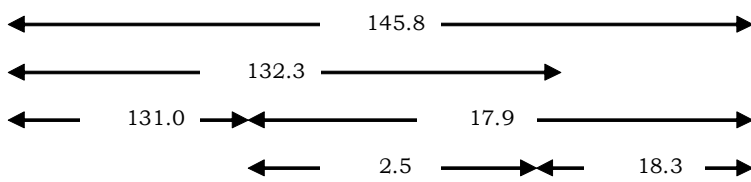
*Análisis de conos y semillas e indicadores reproductivos:* En laboratorio los conos se secaron a temperatura ambiente durante un mes y se determinó el largo y ancho del cono. La medición se realizó con el apoyo de un vernier digital con aproximación de 1 mm, el largo del cono (LC) se determinó desde la base hasta el ápice del cono, y el ancho se midió en la parte más amplia del cono (Fig. 1). La separación de las escamas del cono fue de forma sistemática, iniciando con las basales con la consecuente separación de la semilla. Se determinó el número de escamas fértiles e infértiles. En cada escama se realizó la determinación de óvulos rudimentarios (infértiles), óvulos abortados, número de semillas llenas y de vanas (Fig. 1), de acuerdo con la metodología de Bramlett et al. (1977). La determinación de semillas vanas de las semillas llenas se realizó a través de un separador de semillas por aire. Para la determinación del peso seco del cono (PSC) se secaron las escamas por cono en una estufa durante 12 h a 105 °C.

Para el cálculo de las variables utilizadas para este trabajo se aplicaron las siguientes fórmulas [Bramlett et al., 1977]: Potencial de semilla (PS) = escamas fértiles x 2, semillas desarrolladas (SD) = semillas vanas (SV) + semillas llenas (SLL), eficiencia de semillas

(ES) = (SLL / PS) x 100, proporción de semillas llenas (SLLP) = SLL/PS, proporción de semillas vanas (SVP) = SV/PS, proporción de

óvulos abortados (OAP) = OA/PS, proporción de óvulos rudimentarios (ORP) = OR/PS e indicador de endogamia (IEND) = SV/SD.

**TABLA 1**  
**Localización de las poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson**

Población	El Butano	Cañada Puerto I	Agua Fria	La Tinaja
Propiedad	Ejido La Trinidad	Propiedad privada Agua de Alardín	Propiedad privada Agua Fria	Ejido La Encantada
Municipio	Montemorelos	Aramberri	Aramberri	Zaragoza
Latitud	25° 10'41"	24° 02'34"	24° 02'17"	23° 53'24"
Longitud	100° 07'37"	99° 44'04"	99° 42'39"	99° 47'30"
Elevación (msnm)	2180	2120	1820	2515
Árboles colectados (no. de conos)	13 ( 5- 10)	11 (10)	13 (7- 0)	8 (8- 0)
Distancia recta entre poblaciones (km) <sup>a</sup>				

<sup>a</sup> Las distancias fueron calculados en ArcView GIS 3.3.

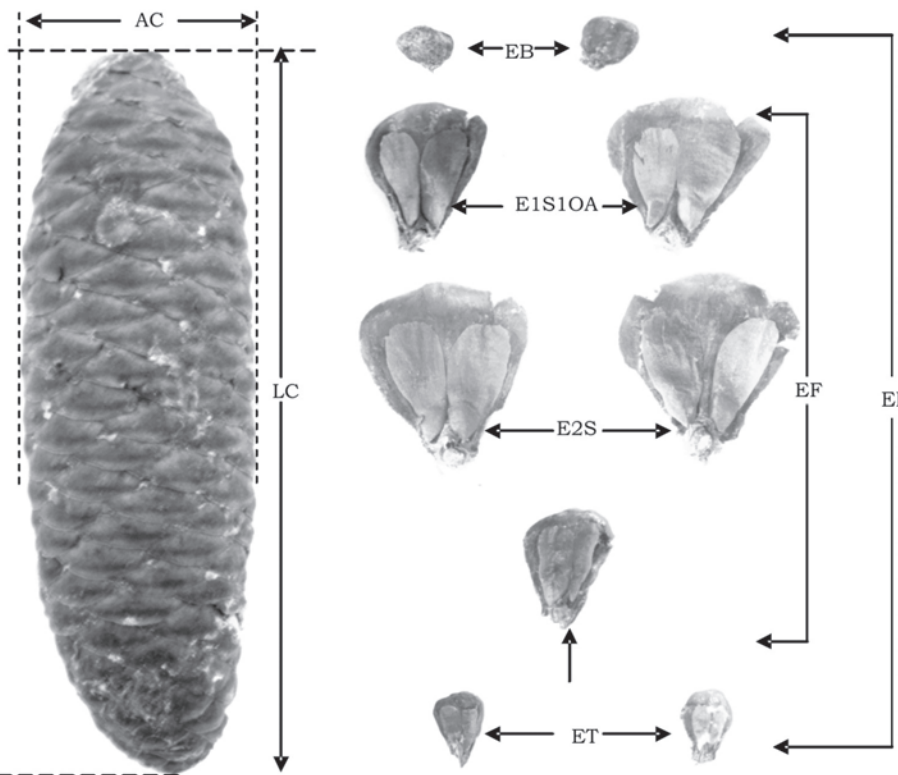


Figura 1. Características morfológicas de conos y semillas de *Picea martinezii* T. F. Patterson evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.

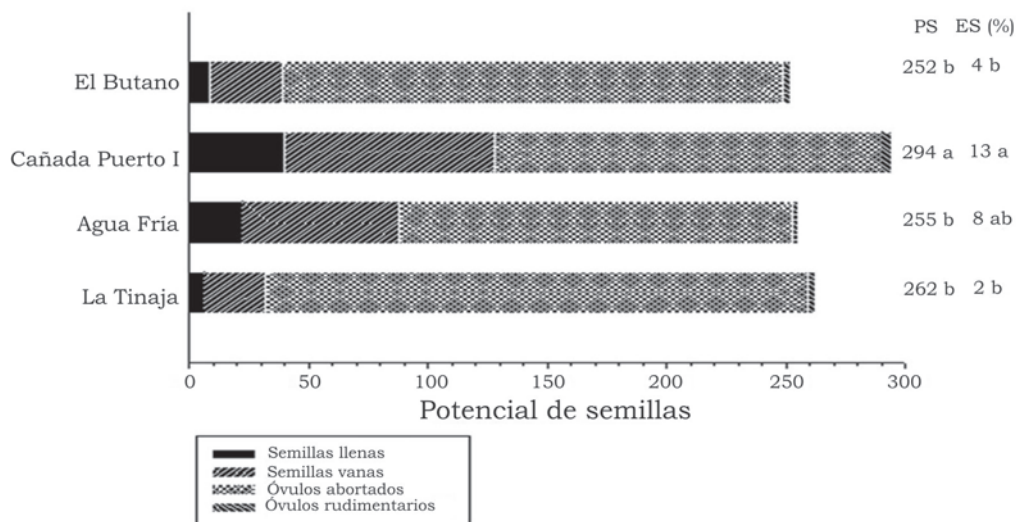
LC: Largo del cono; AC: Ancho del cono; EF: Escamas fértiles; EI: Escamas infértiles; EB: Escama basal con óvulos rudimentarios; ET: Escama terminal con óvulos rudimentarios; E1S1OR: Escama intermedia con una semilla y sin óvulo abortado (un óvulo rudimentario); E1S1OA: Escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado; E2S: Escama intermedia con dos semillas desarrolladas.

**Análisis estadístico:** Variables como las proporciones y el coeficiente de endogamia fueron transformadas, definidas con el procedimiento de Box-Cox [Box y Cox, 1964; Ott, 2005]. Se realizó el análisis de varianza utilizando un modelo aleatorio con arreglo anidado para detectar diferencias entre poblaciones. Se usó el programa SAS con el procedimiento Mixed, considerando como efecto fijo a poblaciones y aleatorio a los árboles anidado dentro de poblaciones.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Producción de semillas:** El potencial de semillas promedio de las cuatro poblaciones na-

turales de *Picea martinezii* fue de 266 semillas por cono, de las cuales los valores promedio más bajos se presentaron en El Butano con 254 y La Tinaja con 261 semillas por cono. El valor más alto y diferente al resto de las poblaciones se obtuvo en Cañada Puerto I con un promedio de 294 (Fig. 2). El potencial de semillas por cono fue variable entre las poblaciones de *Picea martinezii*. Este resultado también se ha encontrado en otros estudios como *Picea mexicana* Martínez [Flores et al., 2005], y otras coníferas (Tabla 2); la variación también se puede apreciar entre especies, por ejemplo, al comparar el potencial de semillas de *Pinus catarinae* M. F. Robert-Passini (11) con el de *Picea martinezii* (266).



Los valores de las medias en PS y ES con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Figura 2. Producción y pérdida de semillas de las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. PS: Potencial de semilla, ES: Eficiencia de semillas.

Las coníferas de zonas áridas donde hay escasa humedad tienen un potencial de semillas más bajo en comparación con las coníferas que están en mejores condiciones como *Picea martinezii*, que tiene un potencial de semillas más alto (Tabla 2). La condición de humedad puede hacer que se tenga una mayor producción de biomasa y también son las de mejor producción de semilla. En *Pinus-*

*greggii*, en once sitios a través de su área de distribución natural, se encontraron en la mayoría de las características analizadas diferencias altamente significativas entre y dentro de poblaciones, y se encontró que la longitud del cono se incrementa al aumentar la humedad y la temperatura media anual del hábitat; sin embargo, la anchura del cono y las dimensiones del cono disminuyeron [López et al., 1993].

**TABLA 2**  
**Potencial de semillas de coníferas mexicanas en diferentes localidades**

<i>Especie</i>	<i>Potencial de semillas (rango)</i>	<i>Referencia</i>
<i>Pinus catarinae</i>	11	Flores y Lemus (2000)
<i>Pinus johannis</i>	25 (18 a 25) <sup>a b</sup>	López (2005)
	26 (18 a 25) <sup>a b</sup>	
<i>Pinus patula</i>	82	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus pinceana</i>	50 (44 a 66) <sup>a</sup>	Hernández (2006)
<i>Pseudo tsugameniezii</i>	52	Zavala y Méndez (1996)
<i>Pinus arizonica</i>	90 (48 a 126) <sup>a</sup>	Narváez (2000)
<i>Picea mexicana</i>	103 (91 a 116) <sup>a b</sup>	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus cooperi</i>	103 (60 a 142) <sup>b</sup>	Prieto y Martínez (1993)
	115 (60 a 154) <sup>b</sup>	
<i>Pinus tecunumanii</i>	123	Isaza <i>et al.</i> (2002)
	127	
<i>Pinus oocarpa</i>	137 <sup>a b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus maximinoi</i>	140 <sup>a b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus greggii</i>	161 (152 a 170) <sup>a</sup>	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus oaxacana</i>	186 (76 a 242) <sup>a</sup>	Vázquez <i>et al.</i> (2004)
<i>Pinus hartwegii</i>	187	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
	199	
<i>Picea martinezii</i>	266 <sup>a</sup> ( 254 a 294)	Estudio actual

<sup>a</sup>Estudios realizados en diferentes poblaciones.

<sup>b</sup>Estudios realizados en diferentes años de colecta.

La variable más representativa de la producción de semillas es la eficiencia de semilla definida como la cantidad de semillas llenas en relación con el potencial de semillas expresadas en porcentaje [Bramlett, 1974]. En el presente estudio se encontró una eficiencia de semillas promedio del 7 % (19 semillas llenas, sll) en las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*; donde el porcentaje más bajo de eficiencia se presentó en la población La Tinaja con el 2 % (6 sll), lo que difiere para los valores de porcentaje más altos de eficiencia de las cuatro poblaciones, presentándose Agua Fría con el 8 % (22 sll) y Cañada Puerto I con el 13 % (40 sll) (Fig. 2). La cantidad de semillas llenas producidas por cono es inferior al potencial de semillas, esto a causa de que durante el proceso reproductivo parte de los óvulos abortan por falta de polen que los fertilice. Una causa principal es por madurez prematura del cono, así como la incidencia de diversos factores que dañan

las semillas desarrolladas [Brown, 1970]. También el potencial de semillas y la proporción de óvulos abortados varía de acuerdo con el tamaño del cono y a su posición en el árbol, ya que los conos más grandes se encuentran en la parte superior de la copa del árbol, y generalmente mientras más grande sea el cono es capaz de producir un mayor número de semillas llenas [Lyons, 1956].

Los valores de eficiencia de semilla hallados en *Picea martinezii* son similares a los encontrados en estudios de otras coníferas, como *Pinus maximinoi*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus johannis*, pero inferiores en muchos de los casos, por ejemplo, *Pinus greggii*, *Pinus hartwegii* (Tabla 3). La baja eficiencia de semilla se debe generalmente a tres causas: escasa polinización, presencia de genes letales y daños por insectos [Karrfalt y Belcher, 1977]. Esto se observa en los resultados registrados en varias especies de *Picea* [Caron y Powell, 1989].

**TABLA 3**  
**Comparación de la eficiencia de semillas de coníferas, en diferentes poblaciones y entre años de colecta**

<i>Especie</i>	<i>Eficiencia de semillas (rango)</i>	<i>Referencia</i>
<i>Picea martinezii</i>	7 % (2 al 13 %)	Trabajo actual
<i>Pinus maximinoi</i>	8 % <sup>a b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus tecunumanii</i>	8 % <sup>a b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus johannis</i>	8 % (4 al 12 %) <sup>b</sup>	López (2005)
<i>Picea mexicana</i>	13,5 % (9 al 18 %) <sup>a b</sup>	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus catarinae</i>	20,9 % <sup>a</sup>	Flores y Lemus (2000)
<i>Pseudotsugamenziesii</i>	24,5 % <sup>b</sup>	Zavala y Méndez (1996)
<i>Pinus pinceana</i>	35 % (0 al 54 %) <sup>a</sup>	Hernández (2006)
<i>Pinus arizonica</i>	37 % (4,4 al 80,7 %)	Narváez (2000)
<i>Pinus oocarpa</i>	13 % <sup>a b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus patula</i>	55 % <sup>b</sup>	Clements y Vallejo (1988)
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	64,6 %	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	68,8 % (65,2 al 72,4 %) <sup>a</sup>	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	71,5 % (68 al 75 %) <sup>a</sup>	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	78,9 % (70,88 al 86,96 %) <sup>b</sup>	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005)

En cuanto a la pérdida de semillas dañadas por insectos, fue nula en las poblaciones de *Picea martinezii*. Solamente se ha encontrado en *Picea chihuahuana* daño por insectos y pérdida considerable en la producción de semillas, realizadas por el barrenador *Cydiaphyllisi* Miller [Cibrián *et al.*, 1995]. El porcentaje de semillas vanas promedio fue del 20 % (53 semillas por cono), encontrándose valores desde el 10 al 31 % (Fig 2). Es importante aclarar que lo que evaluamos de la producción de semilla no estima en su totalidad las pérdidas de semilla, ya que mide solamente la semilla de conos supervivientes. La pérdida de estróbilos desde la floración hasta la madurez del cono no se consideró. Esta pérdida a menudo ha sido del 50 % o más de la cosecha de semilla. La producción de semilla total puede ser evaluada combinando las tablas de vida de la cosecha de los conos con su análisis [Bramlett *et al.*, 1977].

Los resultados muestran que existe una excesiva pérdida de semillas; sin embargo, la producción de semilla se puede incrementar teniendo en cuenta la identificación de los factores que provocan las pérdidas de semilla y aplicar métodos para su control, especialmente en la población Agua Lardín, que

fue la que presentó el potencial de semilla más alto y también la eficiencia de semilla más elevada, de acuerdo con la clave de interpretación de resultados elaborada por Bramlett *et al.* (1977).

*Indicadores reproductivos:* La longitud promedio del cono fue de 107,66 mm para las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*. Las poblaciones que tuvieron las mayores longitudes en conos fueron Agua Fría con 116,58 mm y Cañada Puerto I con un promedio de 115,71 mm por cono. En El Butano y La Tinaja se encontraron los conos de menor longitud (Tabla 4). El peso seco promedio del cono fue de 22,77 g para las cuatro poblaciones. El valor mínimo se presentó en El Butano con 19,35 g, seguido de La Tinaja con 20,55 g y Cañada Puerto I con 24,33 g. Agua Fría resultó superior y diferente al resto de las poblaciones con un promedio de 26,84 g (Tabla 4). El número de escamas fértiles promedio fue de 133 escamas. Cañada Puerto I tuvo un promedio de 147,04 escamas fértiles. Este es el valor más alto y diferente al de las otras poblaciones: La Tinaja con 131,23, Agua Fría con 127,53 escamas y El Butano con 126,13 escamas (Tabla 4).

**TABLA 4**

**Valores medios  $\pm$  error estándar de la media para las características obtenidas de los conos y semillas tomadas de las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson en 2006**

Poblaciones	<i>El Butano</i>	<i>Cañada Puerto I</i>	<i>Agua Fría</i>	<i>La Tinaja</i>	Promedio
LC (mm)	99,36 $\pm$ 1,76 <sup>b</sup> (55,34 – 140,48)	115,71 $\pm$ 1,64 <sup>a</sup> (73,88 – 164,73)	116,58 $\pm$ 1,78 <sup>a</sup> (74,05 – 160,30)	99,01 $\pm$ 2,43 <sup>b</sup> (51,37 – 134,57)	107,66 $\pm$ 1,90
PSC (gr)	19,35 $\pm$ 0,52 <sup>b</sup> (8,54 – 36,40)	24,33 $\pm$ 0,69 <sup>ab</sup> (10,29 – 45,00)	26,84 $\pm$ 0,90 <sup>a</sup> (9,09 – 49,76)	20,55 $\pm$ 0,78 <sup>b</sup> (6,63 – 34,79)	22,77 $\pm$ 0,72
EF	126,13 $\pm$ 1,31 <sup>b</sup> (93,00 – 158,00)	147,04 $\pm$ 2,38 <sup>a</sup> (95,00 – 228,00)	127,53 $\pm$ 1,71 <sup>b</sup> (90,00 – 205,00)	131,23 $\pm$ 2,11 <sup>b</sup> (96,00 – 191,00)	132,98 $\pm$ 1,88
ORP	0,01 $\pm$ 0,001 <sup>a</sup> (0,00 – 0,05)	0,01 $\pm$ 0,001 <sup>a</sup> (0,00 – 0,07)	0,01 $\pm$ 0,001 <sup>a</sup> (0,00 – 0,05)	0,01 $\pm$ 0,001 <sup>a</sup> (0,00 – 0,03)	0,01 $\pm$ 0,001
OAP	0,83 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup> (0,38 – 1,00)	0,54 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> (0,18 – 0,99)	0,65 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup> (0,19 – 1,00)	0,87 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup> (0,38 – 1,00)	0,72 $\pm$ 0,015
SVP	0,12 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup> (0,00 – 0,18)	0,31 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,00 – 0,79)	0,26 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,00 – 0,74)	0,10 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup> (0,00 – 0,59)	0,20 $\pm$ 0,01
SLLP	0,04 $\pm$ 0,003 <sup>b</sup> (0,00 – 0,18)	0,13 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup> (0,00 – 0,44)	0,08 $\pm$ 0,01 <sup>ab</sup> (0,00 – 0,46)	0,02 $\pm$ 0,003 <sup>b</sup> (0,00 – 0,16)	0,07 $\pm$ 0,006
IEND	0,74 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,00 – 1,00)	0,67 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,07 – 1,00)	0,78 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,27 – 1,00)	0,82 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup> (0,43 – 1,00)	0,75 $\pm$ 0,02

LC: Longitud del cono (mm), PSC: Peso seco del cono (g), EF: Escamas fértiles, ORP: Proporción de óvulos rudimentarios, OAP: Proporción de óvulos abortados, SVP: Proporción de semillas vanas, SLLP: Proporción de semillas llenas, IEND: Indicador de endogamia. Los valores con letras diferentes por fila son significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

**TABLA 5**

**Comparación de proporciones de óvulos abortados, semillas vanas, semillas llenas e indicador de endogamia en diferentes estudios**

Especie	SLLP	SVP	OAP	IEND	Referencias
<i>Picea martinezii</i>	0,07	0,12	0,83	0,75	Estudio actual
<i>Picea mexicana</i> <sup>c</sup>	0,13	0,46	0,41	0,80	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus johannis</i> <sup>c d</sup>	0,18	0,17	0,75	0,54	López (2005)
<i>Pinus catarinae</i> <sup>d</sup>	0,23	0,61	0,09	ND	Flores y Lemus (2000)
<i>Pinus pinceana</i> <sup>d</sup>	0,35	0,24	0,38	0,42	Hernández (2006)
<i>Pinus tecunumanii</i> <sup>c d</sup>	0,56	0,44	ND	ND	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus oocarpa</i> <sup>c d</sup>	0,60	0,40	ND	ND	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus maximinoi</i> <sup>c d</sup>	0,61	0,39	ND	ND	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus cooperi</i> <sup>d</sup>	0,69	0,31	0,33	ND	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus greggii</i> <sup>d</sup>	0,84	0,16	0,47	ND	López <i>et al.</i> (1993)

<sup>c</sup>Estudios realizados en diferentes años. <sup>d</sup>Estudios realizados en diferentes poblaciones. PSLL: Proporción de semillas llenas, PSV: Proporción de semillas vanas, POA: Proporción de óvulos abortados, IEND: Indicador de endogamia, ND: Datos no disponibles.

La proporción de óvulos abortados promedio fue de 0,72, y presentó menor proporción de óvulos abortados en Cañada Puerto I y Agua Fría, y las poblaciones de mayor proporción de óvulos abortados fueron la Tinaja y El Butano con 0,87 y 0,83, respectivamente (*Tabla 4*). La presencia de mayor proporción de óvulos abortados posiblemente se deba a problemas de polinización [Bramlett *et al.*, 1977]. En cuanto a la proporción de semillas vanas, el promedio es de 0,20. La mayor proporción de semillas vanas se presenta en Cañada Puerto I y Agua Fría con 0,31 y 0,26, respectivamente, y las poblaciones que presentan menor proporción de semillas vanas son La Tinaja con 0,10 y El Butano con 0,12 (*Tabla 4*); sin embargo, esta proporción de semillas vanas en el presente trabajo no es tan crítica como lo encontrado en estudios publicados para *Pinus catarinae* [Flores y Lemus, 2000] y *Picea mexicana* [Flores *et al.*, 2005] (*Tabla 5*).

En un trabajo realizado para *Picea mexicana*, en promedio se obtuvo mayor proporción de óvulos abortados que lo obtenido de las cuatro poblaciones de este trabajo (*Tabla 5*). La reducción en la producción de semilla llena se les atribuye en parte a problemas de autopolinización, que origina un lento desarrollo del embrión, y por consiguiente la formación de semilla vana [Brown, 1970; Sorensen y Miles, 1974]. El porcentaje de semillas llenas de *Picea mexicana* es notoriamente bajo en los dos años comparados con otras especies de *Picea*, que existe una alta proporción de óvulos abortados (36 al 47 %) [Flores *et al.*, 2005].

La proporción de semillas llenas obtuvo un promedio de 0,07. Las poblaciones de Cañada Puerto I y Agua Fría presentaron los más altos valores con un promedio de 0,13 y 0,08 de semillas llenas, y las poblaciones con valores más bajos son La Tinaja con 0,02 y El Butano con 0,04 (*Tabla 4*), lo cual indica que también existe diferencia entre poblaciones, con respecto a la proporción de semillas llenas encontradas en otros estudios (*Tabla 5*). El indicador de endogamia promedio de las cuatro poblaciones evaluadas para este trabajo fue de 0,75, con un rango de 0,67 a 0,82 (*Tabla 4*), lo que resulta ser una proporción muy similar a los resultados en estudios de

tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* en la que se encontró un alto indicador de endogamia de 0,73 a 0,84 [Flores *et al.*, 2005]. El indicador de endogamia obtenido puede ser resultado de una posible autopolinización debido a que existe muy poca densidad del arbolado, aunque existen los factores que pueden causar muerte embrionaria [Williams y Savolainen, 1996; Ledig *et al.*, 2001; Flores *et al.*, 2005], aunque no se detectaron daños por insectos. Para el estudio de *Picea mexicana* se encontraron valores promedio del indicador de endogamia como uno de los más altos, al igual que los valores promedio que se presentan en el presente estudio (*Tabla 5*).

Algunos estudios han proporcionado evidencia inequívoca de que la producción de semilla está directamente relacionada con la producción de polen. La limitación de polen es causada por varios factores, incluyendo la falta de polinizadores [Vaughton y Ramsey, 1995]. La mayoría de los informes de depresión endogámica en coníferas son por genes letales en la etapa embrionaria y otros genes recesivos que afectan las plantas de semillero [Williams y Savolainen, 1996], los que conducen a consecuencias graves tales como la disminución en la producción de semilla y crecimiento reducido de las plantas [Yazdani y Lindgren, 1991]. En general las poblaciones como las de *Picea martinezii* tienen mayor posibilidad de sufrir de depresión por endogamia, y por lo tanto existe mayor riesgo de extinción a largo plazo.

## CONCLUSIONES

- *Picea martinezii* presentó un potencial de semillas alto; sin embargo, la eficiencia de semillas promedio para las especie fue baja. Las mayores diferencias estuvieron entre Cañada Puerto I con una eficiencia de semillas del 13 % y la población La Tinaja del 2 %. Los indicadores reproductivos de conos y semillas muestran que existe una gran pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas, con un valor indicador de endogamia alto de 0,75 como resultado de la reducción del tamaño poblacional y la posibilidad de que no exista una adecuada polinización cruzada.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALANIS, G. J. ET AL. 2004. «Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo», *Ciencia VII* (2): 209-218.
- ALBA-LANDA J., LILIA C., M. H., ADRIANA A., C. G. 1999. *Potencial de producción de semilla de la progenie de un huerto semillero de segunda generación de selección de Pinuspatula Schl. et Cham. en el estado de Veracruz*, ISIMA, Durango, México, pp. 133-134.
- ALBA-LANDA, J., APARICIO-RENTERÍA, A., MÁRQUEZ-RAMÍREZ, J. 2003. «Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinushartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México», *Foresta Veracruzana (MX)* 5 (1): 23-26.
- ALBA-LANDA J., MÁRQUEZ-RAMÍREZ, J., BÁRCENAS C., H. S. 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 (MX)* 7 (2): 37-40.
- BONNER, F. T. 1974. «Chemical Components of Some Southern Fruits and Seeds», Res. Note SO-183. New Orleans: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, EE.UU., 3 pp.
- BOX, G. E., COX, D. R. 1964. «An Analysis of Transformations», *Journal of the Royal Statistical Society (GB)*, Series B (methodological) 26 (2): 211-252.
- BRAMLETT, D. L. 1974. «Seed Potential and Seed Efficiency», in *Seed Yield from Southern Pine Seed Orchards Colloquium Proceedings*, Georgia, *Forest Research Council (EE.UU.)* pp. 1-7.
- BRAMLETT, D. L. ET AL. 1977. «Cone Analysis of Southern Pines: a Guidebook. General Technical Report SE-13», Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C., EE.UU., 28 pp.
- BROWN, I. R. 1970. «Seed Production in Scots Pine», in Luckwill L. C. y C. V. Cutting. *Physiology of tree crops*, Academic Press, Nueva York, pp. 55-63.
- CARON, G. E., POWELL, G. R. 1989. «Cone Size and Seed Yield in Young *Picea mariana* Trees», *Canadian Journal Forest Resources (CA)* 19: 351-358.
- CIBRIÁN, T. D. ET AL. 1995. *Insectos forestales de México*, Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México, p. 68.
- CLEMENTS, C. L., VALLEJO, C. 1988. «Producción de conos y semillas de *Pinuspatula* en relación a la elevación», Informe de Investigación no. 119, Smurfit, Carton de Colombia, Cali de Colombia, 5 pp.
- FLORES L. C., LEMUS S., J. L. 2000. «Maduración de conos y estimación de semillas llenas de *Pinus catarinae* M. F. Robert-Passini», en II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina, CATIE, Santo Domingo, República Dominicana (18-22 de octubre, 1999). Memorias/Coordinador Rodolfo Salazar, Turrialba, Costa Rica. pp. 17-24.
- FLORES L. C., LÓPEZ UPTON, J., VARGAS HERNÁNDEZ, J. J. 2005. «Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez», *Agrociencia (MX)* 39: 117-126.
- FRANKHAM, R. 1998. «Inbreeding and Extinction: Island Populations», *Conservation Biology (EE.UU.)* 12 (3): 665-675.
- GORDON, G. A. 1968. «Ecology of *Picea chihuahuana* Martínez», *Ecology (EE.UU.)* 49(5): 880-237.
- HERNÁNDEZ S., P. 2006. «Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon», tesis profesional, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 38 pp.
- HINES W., W. MONTGOMERY, D. C. 1996. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*, CECSA, México, 770 pp.
- ISAZA N., DVORAK, W. S., LÓPEZ U. 2002. «Producción de semillas del género *Pinus* en huertos y rodales semilleros de Smurfit Cartón de Colombia», Informe de Investigación no. 187, Smurfit Cartón de Colombia, Cali, Colombia, 9 pp.
- KARRFALT, R. P., BELCHER, E. W. 1977. «Evaluation of Seed Production by Cone Analysis», Northeastern Forest Tree Improvement Conference, University of Maryland, Center for Environmental and Estuarine Studies, College Park, Maryland, Georgia, pp. 84-89.
- LEDIG, F. T. 1988. «Conservation of Genetic Diversity: the Road to La Trinidad», The Leslie L. Schaffer Lectureship in Forest Science. Vancouver, B. C., Canada, *BioScience (CA)* 38: (7) 471-478.
- LEDIG, F. T. ET AL. 1997. «Recent Evolution and Divergence Among Populations of Rare Mexican Endemic, Chihuahua Spruce, Following Holocene Climatic Warming», *Evolution (CA)* 51 (6): 1815-1827.
- LEDIG, F. T. ET AL. 2000a. «Locations of Endangered Spruce Populations in México and the demography of *Picea chihuahuana*», *Madroño* 47:71-88.
- LEDIG, F. T. ET AL. 2000b. «The Mating System and Genic Diversity in Martinez Spruce, an Extremely Rare Endemic of México's Sierra Madre Oriental: an Example of Facultative Selfing and Survival in Interglacial Refugia», *Canadian Journal Forest (CA)* 30: 1-9.
- LEDIG, F.T. ET AL. 2001. «Genetic Diversity and the Mating System of a rare mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a Comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae)», *American Journal of Botany* 88 (US) 11: 1977-1987.
- LÓPEZ, U. J. ET AL. 1993. «Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggi*», *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables (MX)* 3 (1): 81-95.
- LÓPEZ, C., Y. 2005. «Producción y viabilidad de semillas de *Pinus johannis* M. F. Robert en dos poblaciones naturales de México», tesis profesional, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 42 pp.
- LYONS, L. A. 1956. «The Seed Production Capacity and Efficiency of Red pine Cones (*Pinus resinosa* Ait.)», *Canadian Journal of Botany (CA)* 34: 27-36.
- MARTÍNEZ, F. 2001. «Talan en la sierra árbol en extinción. Sección B. Local: comunidad, política, ecología y seguridad», periódico *El Norte*, 11 de febrero, Monterrey, Nuevo León.
- MCDONALD, J. A. 1993. Phytogeography and History of the Alpine-Subalpine Flora of North Eastern Mexico», *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, UNAM, México, pp. 681-697.
- MOSELLER, A. 1998. «Minimum Viable Population Size and the Conservation of Forest Genetic Resources», in *Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer*, Science Publishers, EE.UU., pp. 191-205.

- MOSSELER, A. ET AL. 2000. «Indicators of Populations Viability in Red Spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive Traits and Fecundity», *Canadian Journal of Botany (CA)* 78: 928-940.
- MÜLLER-USING, B., S. VELÁZQUEZ F. 1983. «Aportes a la distribución geográfica del pinabete de Chihuahua (*Picea chihuahuana* Martínez) en México: dos nuevos registros en el estado de Nuevo León» (inédito), 22 pp.
- MÜLLER-USING, B., ALANIS, F. G. 1985. «Nuevos registros del pinabete de Chihuahua (*Picea chihuahuana* Martínez) en Nuevo León», propuesta para la protección legal de dos áreas de especial interés ecológico, Actas de la Reunión Regional de Ecología, Norte. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, 3 pp.
- NARVÁEZ, F. R. 2000. «Estimación de la cosecha de semilla de *Pinus arizonica* Engelm., con base a la producción de conos, en la región de Madera, Chih.», INIFAP, Folleto Técnico no. 12, México, 20 p.
- OTT, P. 2005. «The Box-Cox Transformation. Biometrics Information», Pamphlet no. 62. June 15, 2005. B. C. Ministry of Forests, Research Branch, Canada, 6 pp.
- OWENS, J. N., SIMPSON, S. J., CARON, G. E. 1987. «The Pollination Mechanism of Engelmann Spruce (*Picea engelmannii*)», *Canadian Journal of Botany (CA)* 65:1439-1450.
- PATTERSON, T. E. 1988. «A New Species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo Leon, México», *SIDA* 13: 131-135.
- PRIETO R., J. A., MARTÍNEZ, A. 1993. «Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*», Folleto científico no. 1, SARH, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Norte Centro. Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, México, 18 pp.
- SÁNCHEZ C., J., NARVÁEZ, F. 1990. «Plan integral para la protección y fomento de *Picea chihuahuana* Martínez», en *Ecosistemas forestales*, SARH, INIFAP, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del estado de Chihuahua, Campo Experimental Madera, vol. 1, México, pp. 37-54.
- SEMARNAT. 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. <http://www.semarnat.gob.mx/leyes-y-normas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20Vigentes/NOM%20059%20SEMARNAT%202010%20PROTECCIÓN%20AMBIENTAL%20ESPECIES%20NATIVAS%20DE%20MÉXICO%20DOF%2030%20DIC%202010.pdf>.
- SORENSEN, F. C. 1971. «Estimate of Self-Fertility in Coastal Douglas-Fir from Inbreeding Studies», *Silvae Genetica (DE)* 20 (4): 101-140.
- SORENSEN, F. C., MILES, R. S. 1974. «Self-Pollination on Douglas-Fir and Ponderosa Pine Seeds and Seedlings», *Silvae Genetica* 23 (5): 135-165.
- VAUGHTON, G., RAMSEY, M. 1995. «Pollinators and Seed Production», in *Seed Development and Germination*, Marcel Dekker, Nueva York, pp. 475-489.
- VÁZQUEZ C., O. G., RAMÍREZ GARCÍA, E. O., ALBA-LANDA, L. 2004. «Variación de conos y potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov. en una población del estado de Tlaxcala, México», *Foresta Veracruzana (MX)* 6(2): 31-36.
- WILLIAMS, C. G., SAVOLAINEN, O. 1996. «Inbreeding Depression in Conifers: Implications for Breeding Strategy», *Forest Science (EE.UU.)* 42 (1): 102-117.
- YAZDANI, R., LINDGREN, D. 1991. «The Impact of Self-Pollination on Production of Sound Selfed Seeds», *Biochemical Markers in the Population Genetics of Forest Trees*, The Hague, Netherlands, pp.143-147.
- ZAVALA, C. F., MÉNDEZ M., J. T. 1996. «Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México», *Acta Botánica Mexicana (MX)* 36: 1-13.

## RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Celestino Flores López

Máster en Forestal en la Universidad de Chapingo, jefe de Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, Universidad México, se encuentra en el Programa de Doctorado Curricular Colaborativo en Ciencias Forestales. Ha trabajado la temática de Genética y Conservación en coníferas durante quince años e imparte la docencia de silvicultura y crecimiento. Este trabajo forma parte de la formación doctoral. Además, ha participado en eventos nacionales e internacionales y publicado sus trabajos en revistas científicas prestigiosas.