

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



PRODUCCIÓN DE SEMILLAS E INDICADORES REPRODUCTIVOS EN
POBLACIONES NATURALES DE *Picea martinezii* T. F. Patterson

POR:
EDITH LÓPEZ RAMÍREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
DICIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS E INDICADORES REPRODUCTIVOS EN
POBLACIONES NATURALES DE *Picea martinezii* T. F. Patterson

POR:

EDITH LÓPEZ RAMÍREZ

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE AGRONOMÍA

M. C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

PRODUCCIÓN DE SEMILLAS E INDICADORES REPRODUCTIVOS EN
POBLACIONES NATURALES DE *Picea martinezii* T. F. Patterson

POR:

EDITH LÓPEZ RAMÍREZ

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

M. C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

M. C. SALVADOR VALENCIA MANZO

ASESOR

DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2007

AGRADECIMIENTOS

A mi "Alma Mater" Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", por abrirme sus puertas y hacerme sentir parte de esta gran familia universitaria. Gracias por darme la oportunidad de ser un profesionalista.

Al M.C. Celestino Flores López, por brindarme su apoyo, por compartir conmigo sus conocimientos para la realización de la tesis, pero sobre todo por brindarme su amistad que es el regalo más valioso que una persona puede ofrecer.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por apoyarme en el desarrollo de este trabajo, por sus valiosos comentarios, por el tiempo que le dedico a este proyecto, pero más que nada por sus consejos y la paciencia que lo caracteriza.

Al Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo Miguel, por su valiosa aportación al presente trabajo y por ser una persona muy accesible.

A todos los profesores del Departamento Forestal, Dr. Alejandro Zarate Lupercio, M.C. José A. Nájera Castro, M.C. Luís Morales Quiñones, Dr. Miguel A. Capo Arteaga, Dr. Eladio H. Oviedo Cornejo, Ing. Sergio Braham, M. C. Jorge D. Flores Flores, M. C. Andrés Nájera Díaz, Ing. José A. Ramírez Díaz; que con sus sabios conocimientos me ayudaron a terminar uno de los proyectos de vida más importantes.

A los compañeros que me apoyaron en la realización del trabajo de campo y a los que me apoyaron en laboratorio, mis más sinceros agradecimientos ya que sin su ayuda hubiera sido más difícil la culminación de este trabajo.

A las personas que llegaron a ser mis hermanos, Alma Emmanuel Aquino Ignacio y José Manuel Aquino Ignacio, porque han llegado a ser una parte muy importante en mi vida, gracias por brindarme su amistad y gracias por darme su amor, pero mis más sinceros agradecimientos a sus padres por tener unos hijos tan especiales y por abrirme las puertas de su hogar.

A mis amigos: Juan A. Partida Moncada, Nazario A. Gutiérrez Hernández, José A. Gómez López, Juan Hernández de la Cruz, Manuel Ortega, Bernardo Prado, Madaly Cruz, Héctor Juan V. y a todos los que me ofrecieron incondicionalmente su amistad.

A todas aquellas personas que por el momento no vienen a mi mente pero que de alguna manera fueron parte de mi formación académica.

DEDICATORIA

A mis padres:

Justina Teresita Ramírez López y Ubaldo López Espinosa, por darme la oportunidad de ser parte de este mundo, que con sus sabios consejos hicieron de mí una persona de bien, porque me enseñaron a valorar lo poco o mucho que la vida me ha dado, por ser mis mejores amigos, pero sobre todo por hacerme sentir que lo más importante de la vida es el amor y la confianza.

A mis hermanos y familia:

Salustia López Ramírez y Alejandrino García Quiroz, por su apoyo y consejos, pero sobre todo por ser padrinos de la personita más hermosa que Dios me mando.

Ubaldo López Ramírez y Teresa López López, que aunque no están presentes en este momento tan especial, han sido parte fundamental para culminar mis estudios, gracias por brindarme su apoyo económico, pero sobre todo gracias por ser parte de esta maravillosa familia.

Iveth López Ramírez, por ser mi amiga, mi confidente, mi cómplice, pero más que nada gracias por compartir la misma sangre.

A mis abuelitos:

Maria Espinosa, Cirilo López, Pedro Ramírez y en especial a Guadalupe López Santiago que aunque no llegué a conocerla, se que desde el cielo estuvo apoyándome y pidiéndole a Dios por mí.

A mis sobrinos, que comparten su tiempo, juegos, travesuras y sus sonrisas con las personas más importantes de mi vida.

A todos mis tíos y primos, en especial a Eric Ramírez por ser un ejemplo de lucha y fortaleza.

Este apartado es dedicado especialmente a:

Mi esposo Anatolio Andrés Hernández, que llegó para darme el mejor regalo que la vida me pudo mandar, mi hija Khiara Andrés López, porque llegaron como dos ángeles que con su amor y apoyo incondicional me dieron la fuerza para seguir luchando, pero sobre todo para seguir soñando...

...los deje al final, no por ser menos importantes, sino porque no encuentro las palabras adecuadas para expresarles todo el amor que siento por ustedes, porque con su llegada cambiaron mi vida, con sus palabras me hacen sentir la persona más feliz y con su amor hacen que la vida tenga sentido. Gracias por estar a mi lado, por comprenderme y amarme. Gracias por compartir una vida conmigo...

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.	iii
RESUMEN.	iv
1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Objetivo.	5
2 MATERIALES Y MÉTODOS.	6
2.1 Localización de las poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson.	6
2.2 Selección de árboles y colecta de conos.	8
2.3 Análisis de conos y semillas e indicadores reproductivos. ..	8
2.4 Análisis estadístico.	11
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	13
3.1 Producción de semillas.	13
3.2 Indicadores reproductivos.	18
4 CONCLUSIONES.	23
5 RECOMENDACIONES.	24
6 LITERATURA CITADA.	25
7 APÉNDICE.	31

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Localización de las poblaciones y del material colectado de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el Estado de Nuevo León (Ledig <i>et al.</i> , 2000a).	6
Cuadro 2. Potencial de semillas de coníferas mexicanas en diferentes localidades.	15
Cuadro 3. Comparación de la eficiencia de semillas de coníferas, en diferentes poblaciones y entre años de colecta.	17
Cuadro 4. Media poblacional \pm error estándar de la media (rangos) para las características obtenidas de los conos y semillas tomadas de las cuatro poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson. ...	19
Cuadro 5. Comparación de porcentajes de óvulos abortados, semillas vanas, semillas llenas y el coeficiente de endogamia en diferentes estudios.	20

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Distribución de las cuatro poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el estado de Nuevo León, México... ..	7
Figura 2. Características morfológicas de conos y semillas de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.	10
Figura 3. Producción y pérdida de semillas de cuatro poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson.....	13

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar y comparar la producción de semillas y estimar los valores de indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*. Esta especie está clasificada en estatus de riesgo, en la categoría de peligro de extinción dentro de la NOM-059-ECOL-2001, debido a que su área de distribución y el tamaño de sus poblaciones han disminuido drásticamente.

Se colectaron conos de ocho a 13 árboles por localidad, y de cinco a 10 conos por árbol. El muestreo de los árboles fue dirigido, seleccionando aquellos con mejores características fenotípicas, se cuidó que estuvieran a una distancia mínima entre árboles de 50 metros, para reducir la probabilidad de parentesco entre ellos. Con el análisis de conos y semillas se determinó el potencial y la eficiencia. Los indicadores reproductivos evaluados fueron el largo del cono, el peso seco del cono, las escamas fértiles, así como las proporciones de óvulos abortados, óvulos rudimentarios, semillas vanas y semillas llenas y, el coeficiente de endogamia. El análisis de varianza utilizado fue de un diseño completamente al azar con arreglo anidado, utilizando el procedimiento Mixed y LSMeans de SAS®.

A nivel general se presentó un alto potencial de semillas (266 por cono), y una baja eficiencia promedio de semillas de las cuatro poblaciones (7%). Aunque las poblaciones están cercanas, existen diferencias estadísticas en la eficiencia de semillas. La población de Cañada del Puerto I tuvo la mayor eficiencia de semillas (13%), siguiéndole Agua Fría (8%), Cañón El Butano (4%) y La Tinaja (2%). 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 representa pérdidas por endogamia de alrededor 75%, ya que las poblaciones son muy pequeñas y por lo tanto es probable que no existe una adecuada polinización cruzada.

1 INTRODUCCIÓN

El género *Picea* en México comprende tres especies: *Picea chihuahuana* Martínez, *Picea martinezii* T. F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez, estas especies tienen diferente distribución y se ubican en poblaciones aisladas, *P. chihuahuana* se encuentra en la Sierra Madre Occidental en los estados de Chihuahua y Durango, *P. martinezii* en la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León y *P. mexicana* en la Sierra Madre Occidental y Oriental en los estados de Chihuahua y Coahuila (Ledig *et al.*, 2000a).

P. chihuahuana entre 2,300 y 2,600 metros de altitud, en terrenos húmedos y sombreados, cerca de los arroyos en pendientes pronunciadas y barrancas. En la Sierra Madre Occidental en los estados de Chihuahua y Durango, se presenta con una vegetación de pino-coníferas, y se asocia con *Pinus ayacahuite* Ehrenb., *Pinus arizonica* Engelm., *Pseudotsuga flahaulti* Flous, *Abies durangensis* Martínez y *Quercus* sp (Gordon, 1968 y Ledig *et al.*, 1997).

P. martinezii se caracteriza por su vegetación con elementos tropicales. Se desarrolla en altitudes de entre 2, 250 y 2, 650 msnm, se asocia con especies de coníferas como: *Pinus*, *Abies* y *Taxus*, también con *Quercus*, *Tilia*, *Ostrya*, *Cornus*, *Ilex*, *Juglans* y *Crataegus* (Patterson, 1988).

Picea mexicana es de vegetación subalpina (Müller-Using y Alanis, 1985; Sánchez y Narváez, 1990). La vegetación alpina o subalpina en el noreste de México se encuentra ubicada en tres puntos principales. Se ubica a 36 km al este de Saltillo, en la Sierra Madre Oriental. Los rangos de elevación van de 3, 450 a 3, 700 msnm, incluyen la Sierra Coahuilón, Sierra La Marta, Sierra Potrero de Abrego, y Sierra La Viga. Esta especie también se encuentra en la Sierra Madre Occidental, en el estado de Chihuahua (Ledig *et al.*, 2000a). El tipo de vegetación subalpina consta de individuos erguidos, generalmente *P. mexicana* que se asocia con *Pinus culminicola* Andresen & Beaman, las partes más elevadas de estas

sierras son dominadas por coníferas, como *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco que es la especie más abundante, *Abies lasiocarpa* Hook., y *Pinus hartwegii* Benth. El estrato arbustivo está integrado por *Arctostaphylos pungens*, H.B.K., *Ceanothus buxifolius* Willd. y *Quercus sp.* (McDonald, 1993), y el estrato herbáceo se integra por *Bromus sp.*, *Hibiscus cardiophyllus* A. Gray., *Geranium mexicanum* H.B.K. y *Vulpia octaflora* Rydb. (Capó, 1972).

Estas especies están clasificadas en estatus de riesgo, en la categoría de peligro de extinción dentro de la NOM-059-ECOL-2001, debido a que sus áreas de distribución y el tamaño de sus poblaciones han disminuido drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural (SEMARNAT, 2003). Las poblaciones de esta especie son endémicas y relictuales, cuyo principal riesgo es por los incendios forestales (Flores 2004; Alanis *et al.*, 2004) y en segundo término por tala clandestina (Martínez, 2001). Pero este riesgo no es todo, ya que estudios genéticos de esta especie demuestran que presenta diferentes grados de endogamia, y es crítico para el establecimiento de nuevas generaciones y la conservación de la especie, pues afecta la regeneración y disminuyen la cantidad de individuos, aumentando la endogamia y poniendo en riesgo de posible desaparición (Ledig *et al.*, 2000b). En general, las poblaciones fragmentadas y aisladas tienden a sufrir mayores niveles de endogamia, lo cual conlleva a una menor capacidad reproductiva y por lo tanto existe mayor riesgo de extinción (Frankham, 1998).

Quizá uno de los problemas más importantes en el estudio de poblaciones aisladas, endémicas y relictuales es el problema de regeneración afectada principalmente por los grados de endogamia (Sorensen, 1971). Estas especies de *Picea* tienen dos años de ciclo reproductivo de semilla, desde el inicio de crecimiento de la yema hasta la maduración de la semilla (Bonner, 1974; Owens *et al.*, 1987), a diferencia de los pinos que tienen tres años de ciclo reproductivo, desde el brote de la yema, la producción de polen, la fecundación o polinización hasta la maduración y caída de las semillas (Bonner, 1974), en los pinos

mexicanos por lo general este ciclo implica de 30 a 36 meses, después de la iniciación de los primordios florales la semilla es liberada y esta apta para germinar y preservar a su especie (Patiño, 1975).

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 posteriores colectas de conos (Bramlett, 1974). Quizás 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, así como por las condiciones ambientales adversas (Flores, 2004). De estos factores, la limitación de polen ha sido lo más estudiado (Vaughton y Ramsey, 1995). En ausencia de polinización cruzada y de fertilización cruzada adecuada, tal como sucede en poblaciones pequeñas o árboles aislados, se producen grandes cantidades 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). Es decir, las poblaciones pequeñas y aisladas, pueden experimentar autofertilización dando como resultado reducciones de vigor en el número de semillas por cono y de planta de semillero. Pero también la producción de semillas se ve afectada por daños de insectos herbívoros que dañan las estructuras reproductivas, como *Cydia phyllisi* Miller (Sánchez y Narváez, 1990 y Cibrián *et al.*, 1995), las larvas de este insecto barrenan y consumen el interior de las semillas dejándolas parcial o totalmente destruidas, los conos infestados no muestran evidencias externas del daño.

Uno de los métodos para evaluar la producción de semillas y la pérdida de estas ha sido el análisis de conos y semillas. Este tipo de análisis da la información requerida para evaluar la productividad de semillas, la cual puede expresarse en términos de potencial y eficiencia de semilla. El potencial de semilla es definido como dos veces el número de escamas fértiles de un cono; por lo tanto, éste es el número máximo de semillas que estos frutos son capaces de

producir. La eficiencia de semilla es la cantidad de semillas llenas en relación al potencial de semillas (Bramlett, 1974). También del análisis de semillas se evalúan características denominadas indicadores reproductivos como: largo del cono, peso seco del cono, escamas fértiles, proporción de óvulos abortados, proporción de óvulos rudimentarios, proporción de semillas vanas, proporción de semillas llenas y el coeficiente de endogamia (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000 y Flores, 2004).

Por lo tanto en el análisis de semillas, la información obtenida sobre indicadores reproductivos son herramientas básicas para el monitoreo de las poblaciones endémicas con problemas de endogamia (Flores, 2004). La eficiencia reproductiva de las poblaciones se puede determinar evaluando características asociadas con la producción de semillas de los árboles, como el tamaño del cono, número de semillas llenas por cono, semillas llenas y vanas, proporción de óvulos abortados, germinación de semillas, supervivencia y vigor de las plántulas (Mosseler *et al.*, 2000).

Estos indicadores reproductivos ayudan a conocer problemas de las poblaciones, por ejemplo: la eficiencia reproductiva que se obtiene en relación al peso seco de las semillas llenas con respecto del peso seco del cono y el índice de endogamia que se obtiene de la proporción de semillas vanas con respecto al total de semillas desarrolladas (Mosseler *et al.*, 2000), para ello es necesario evaluar la relación entre el tamaño del cono y la producción de semillas, empleando las técnicas de análisis de semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

Es importante que exista una gran diversidad genética en poblaciones pequeñas y aisladas para asegurar la conservación de los recursos genéticos y conocer la habilidad de la especie a responder a los cambios del ambiente y por lo tanto evitar su extinción (Ledig, 1988). Esta es una de las razones para desarrollar el trabajo sobre indicadores reproductivos, para conocer la magnitud del problema de endogamia que tiene principalmente *Picea martinezii*. La evaluación está

realizada sólo para el año 2006 de producción de semillas en las poblaciones, sin embargo este trabajo puede indicar una aproximación de la magnitud de problema de endogamia en estas poblaciones y la necesidad de seguir monitoreando su producción.

1.1 Objetivos

- Evaluar y comparar la producción de semillas en cuatro poblaciones de *Picea martinezii* Patterson.
- Estimar los valores de indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones de *Picea martinezii*.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización de las poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson

Picea martinezii se distribuye en cuatro poblaciones en la Sierra Madre Oriental entre los paralelos 23° 53' 24" y 25° 10' 41" de latitud Norte y los meridianos 99° 42' 39" y 100° 07' 37" de longitud Oeste, con elevación sobre el nivel del mar entre 1820 y 2515 m. Las cuatro poblaciones están en el estado de Nuevo León en los municipios de Aramberri, Montemorelos y Zaragoza (Figura 1) (Müller-Using y Velásquez, 1983 y Ledig *et al.*, 2000a) (Cuadro 1). La distancia que separa a las poblaciones más alejadas es de 145.84 km. y las más cercanas se encuentran a solo 2.47 km (Cuadro 1).

La información climática (García, 1988), para cada una de las poblaciones, se obtuvo de las estaciones que pasan cerca de las poblaciones evaluadas en el presente trabajo (Apéndice 1 y 2).

Cuadro 1. Localización de las poblaciones y del material colectado de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el Estado de Nuevo León (Ledig *et al.*, 2000a).

Población [†]	Cañón el butano	Cañada del Puerto I	Agua Fría	La Tinaja
Propiedad	Ejido La Trinidad	Propiedad privada: Agua de Alardín	Propiedad privada Agua Fría	Ejido la Encantada
Municipio	Montemorelos	Aramberri	Aramberri	Zaragoza
Latitud Norte [¶]	25° 10' 41"	24° 02' 34"	24° 02' 17"	23° 53' 24"
Longitud Oeste [¶]	100° 07' 37"	99° 44' 04"	99° 42' 39"	99° 47' 30"
Elevación (msnm) [¶]	2180	2120	1820	2515
Árboles colectados (rango de conos)	13 (5- 10)	11 (10)	13 (7 – 10)	8 (8 – 10)

Distancia recta entre poblaciones (km)[§]

[†] Poblaciones ordenadas de Latitud Norte a Sur. [¶] Fuente: Ledig *et al.* (2000a), las Coordenadas geográficas y la altitud fueron tomadas con un receptor GPS (Trailblazer XL, con la unidad NAD27). [§] Las distancias fueron calculados en ArcView[®] GIS 3.3 (Environmental Systems Research Institute, 1992).

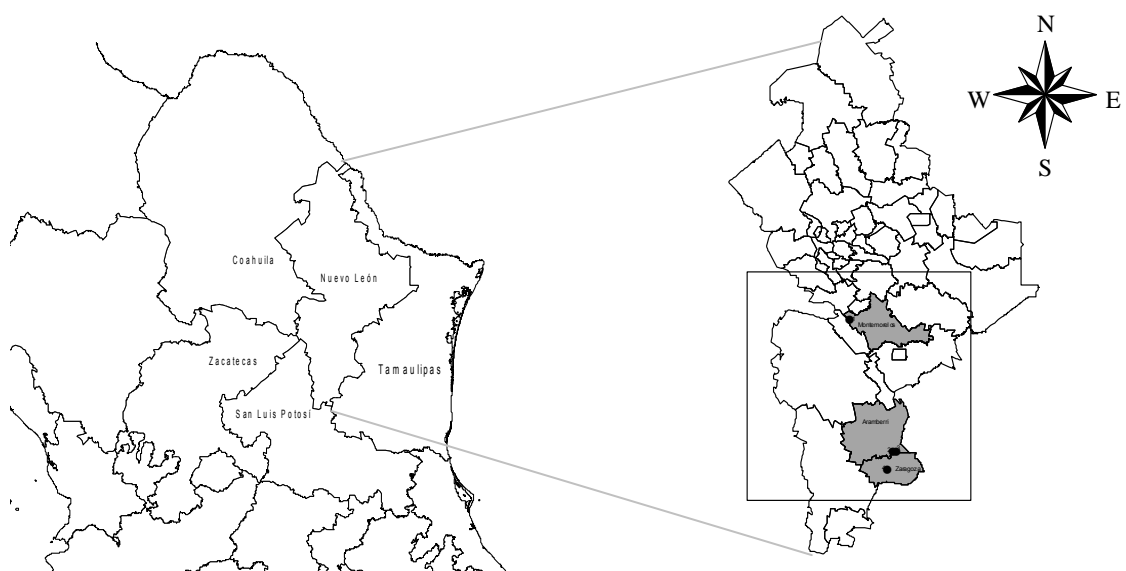
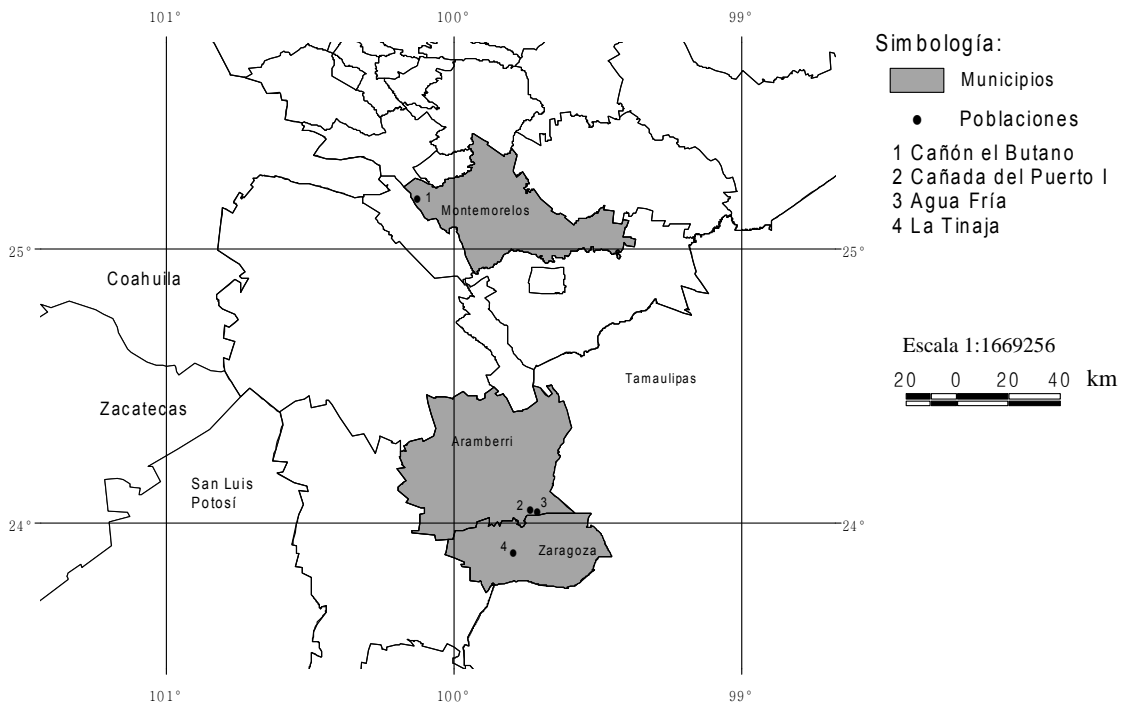


Figura 1. Distribución de las cuatro poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el estado de Nuevo León, México.

2. 2 Selección de árboles y colecta de conos

Cinco meses antes previo a la colecta se realizó un monitoreo de la producción de conos en las poblaciones. Posteriormente, en octubre y noviembre de 2006 se llevó a cabo la colecta en las cuatro poblaciones.

Los árboles colectados se seleccionaron de acuerdo a características fenotípicas deseables: árboles de diámetro normal mayor de 20 cm, rectitud con calificación superior a 2.5 de una escala de 0–5, dominante y/o codominante y con presencia de conos.

El muestreo de los árboles se llevó a cabo de manera selectiva a lo largo y ancho de las poblaciones. Se consideró una distancia entre árboles mayor o igual a 50 metros para reducir la probabilidad de parentesco entre ellos. La colecta de los conos se realizó con escalado del árbol (la mayoría de los conos de *P. martinezii* se encuentran en el último cuarto de la copa); se colectaron conos de diferentes exposiciones (Norte, Sur, Este y Oeste) y en diferentes partes de la copa del árbol (alta, media y baja), utilizando un gancho corta conos.

Los conos colectados de cada árbol se depositaron en bolsas de papel estraza, cada una de estas bolsas fueron identificadas con plumón de tinta permanente. Se identificó con el nombre de la localidad, número de árbol, número de cono y fecha de colecta. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio del Departamento Forestal, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El número de árboles seleccionados por población varió de ocho a 13, también, el número de conos por árbol fue variable, de cinco a 10 conos (Cuadro 1).

2. 3 Análisis de conos y semillas e indicadores reproductivos

En el Laboratorio de Ingeniería Forestal del Departamento Forestal, los conos colectados previamente identificados se dejaron secar a temperatura ambiente durante un mes, sacándolos dos horas diarias al sol.

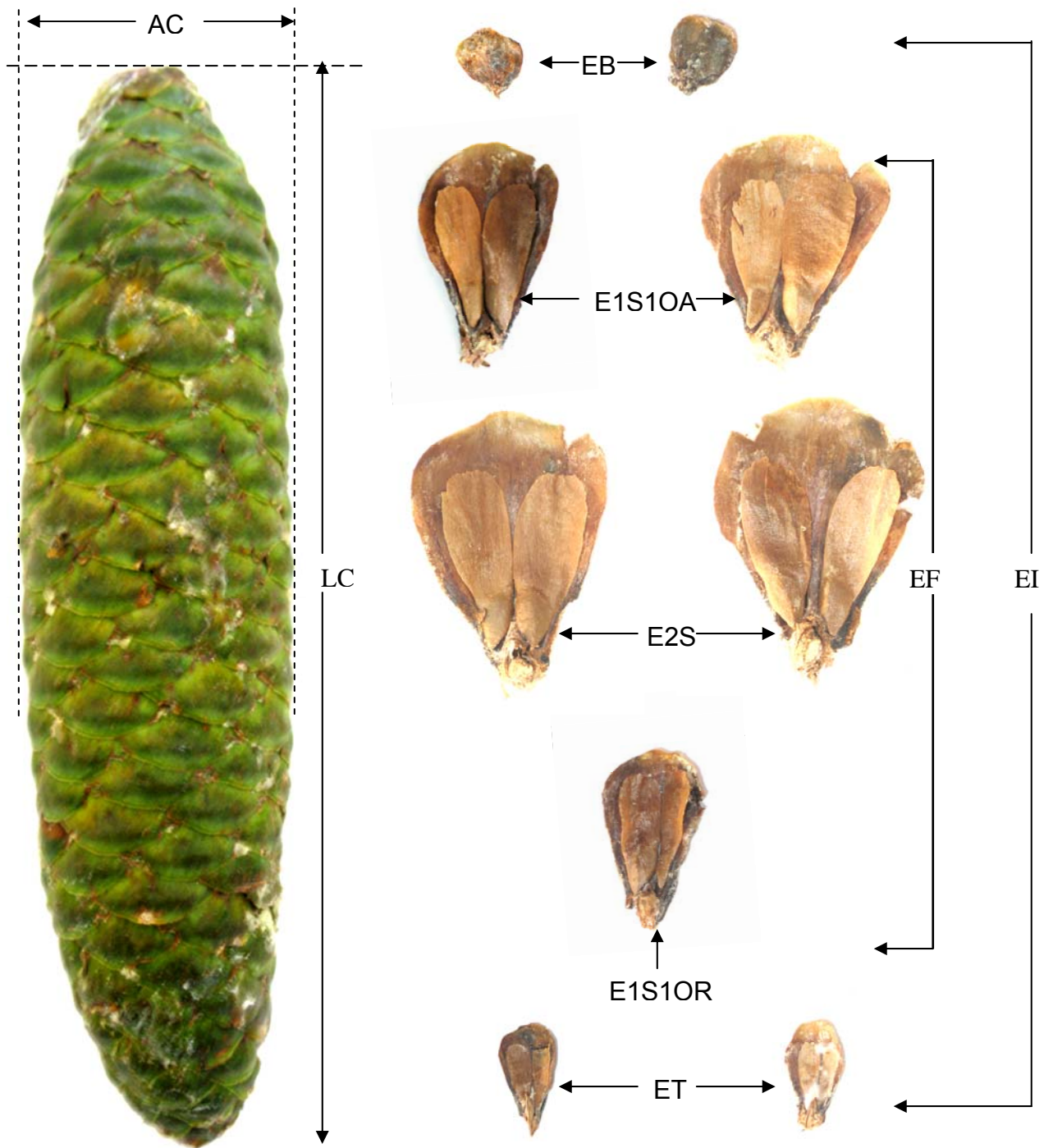
Se midieron las variables morfológicas de largo y ancho del cono, cuando los conos todavía estaban cerrados. La medición de estas variables se realizó con el apoyo de un vernier digital con aproximación de 0.1 mm; la medición del largo del cono se realizó desde la base hasta el ápice del cono y para el caso del ancho del cono se midió en la parte más amplia (Figura 2).

La extracción de la semilla del cono se realizó golpeando los conos y con apoyo de un desarmador. Las escamas se colocaron en bolsas de papel estraza del número 10; cada bolsa se rotuló con un plumón de tinta negra permanente con los datos de la localidad, número de árbol (A_1, \dots, A_n) y número de cono (C_1, \dots, C_n). Las semillas desarrolladas se guardaron en bolsas de plástico y se colocaron en el refrigerador a temperaturas de $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

La separación de las escamas del cono fue de forma sistemática, iniciando con las escamas basales, enseguida por las intermedias y por último las escamas terminales. A los conos se les extrajo las escamas manualmente, excepto para algunos en que se utilizó el apoyo de un desarmador para extraer las escamas del cono.

En cada escama extraída por cono se realizó la evaluación de óvulos rudimentarios, óvulos abortados, número de semillas llenas, número de semillas vanas y número de escamas fértiles e infértiles (Figura 2), de acuerdo a la metodología de Bramlett *et al.* (1977). Al término de cada evaluación las escamas de los conos se regresaron a las bolsas.

El separado de semillas vanas de las semillas llenas se realizó a través de un separador de semillas por aire (Seed blower. Seedburo Catálogo No. 757/A) en el Laboratorio de Semillas del Centro de Tecnología de Semillas de la UAAAN. Después de la separación de las semillas llenas y vanas se procedió al conteo de ambas semillas, luego se colocaron en las bolsas de plástico con sus respectivas etiquetas y se guardaron en el refrigerador.



LC= Largo del cono; AC= Ancho del cono; EF= Escamas fértiles; EI= Escamas infértiles; EB=Escama basal sin óvulos abortados (Óvulos rudimentarios); ET=Escama terminal sin óvulos abortados (óvulos rudimentarios); E1S1OR=Escama intermedia con 1 semilla y sin óvulo abortado (un óvulo rudimentario); E1S1OA=Escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado; E2S=Escama intermedia con 2 semillas desarrolladas.

Figura 2. Características morfológicas de conos y semillas de *Picea martinezii* T. F. Patterson evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.

Para la determinación del peso seco del cono, primero se acomodaron las bolsas con las escamas del cono en una estufa Felisa, por un periodo de 12 horas a temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Posteriormente se sacaron las bolsas de la estufa, se pesaron las escamas de los conos en una balanza electrónica (marca OHAUS) con precisión de 0.1g.

Para el cálculo de las variables utilizadas para este trabajo se aplicaron las siguientes fórmulas (Bramlett *et al.*, 1977):

$$\text{Potencial de semilla (PS)} = \text{Escamas fértiles} \times 2$$

$$\text{Eficiencia de semilla (ES)} = (\text{Total de semillas llenas} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Escamas fértiles (EF)} = \text{PS} / 2$$

$$\text{Semillas desarrolladas (SD)} = \text{Semillas vanas (SV)} + \text{Semillas llenas (SLL)}$$

$$\text{Semillas desarrolladas (\%)} = (\text{SD} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Semillas llenas (\%)} = (\text{SLL} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Proporción de semillas vanas (PSV)} = (\text{SV} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Proporción de óvulos abortados (POA)} = (\text{OA} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Proporción de óvulos rudimentarios (POR)} = (\text{OR} / \text{PS}) \times 100$$

$$\text{Coeficiente de endogamia (CEND)} = \text{SV} / \text{SD}$$

Los indicadores reproductivos evaluados fueron el largo del cono, el peso seco del cono, las escamas fértiles, la proporción de óvulos abortados, la proporción de óvulos rudimentarios, la proporción de semillas vanas, la proporción de semillas llenas y el coeficiente de endogamia (Flores, 2004).

2.4 Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento de Univariate de SAS[®] (SAS, 1998), donde se realizó un análisis exploratorio de los datos utilizando el diagrama de árbol y el

diagrama de caja (Hines y Montgomery, 1996), para conocer la variabilidad de los datos y localizar puntos aberrantes o no representativos. Las variables que presentaron normalidad en los datos no requirieron transformación como el largo del cono, peso seco del cono y las escamas fértiles, mientras que las variables como proporción de óvulos abortados, proporción de semillas vanas, proporción de semillas llenas y el coeficiente de endogamia necesitaron de transformación. La transformación se realizó en SAS[®] de acuerdo con el procedimiento de Box-Cox (1964), que es una familia de transformaciones de poder donde el valor de Landa (λ) se estimó por el procedimiento Transreg y fue el mejor valor para la transformación de los datos (Ott, 2005).

Se realizó el análisis de varianza utilizando un modelo completamente aleatorio con arreglo anidado para detectar diferencias entre poblaciones (Mosseler, 1992):

$$Y_{ijkl} = \mu + p_j + a_{k(j)} + \varepsilon_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = es el valor de la característica,

μ = es la media poblacional,

p_j = es el efecto de la j-ésima población,

$a_{k(j)}$ = es el efecto del k-ésimo árbol dentro de población y

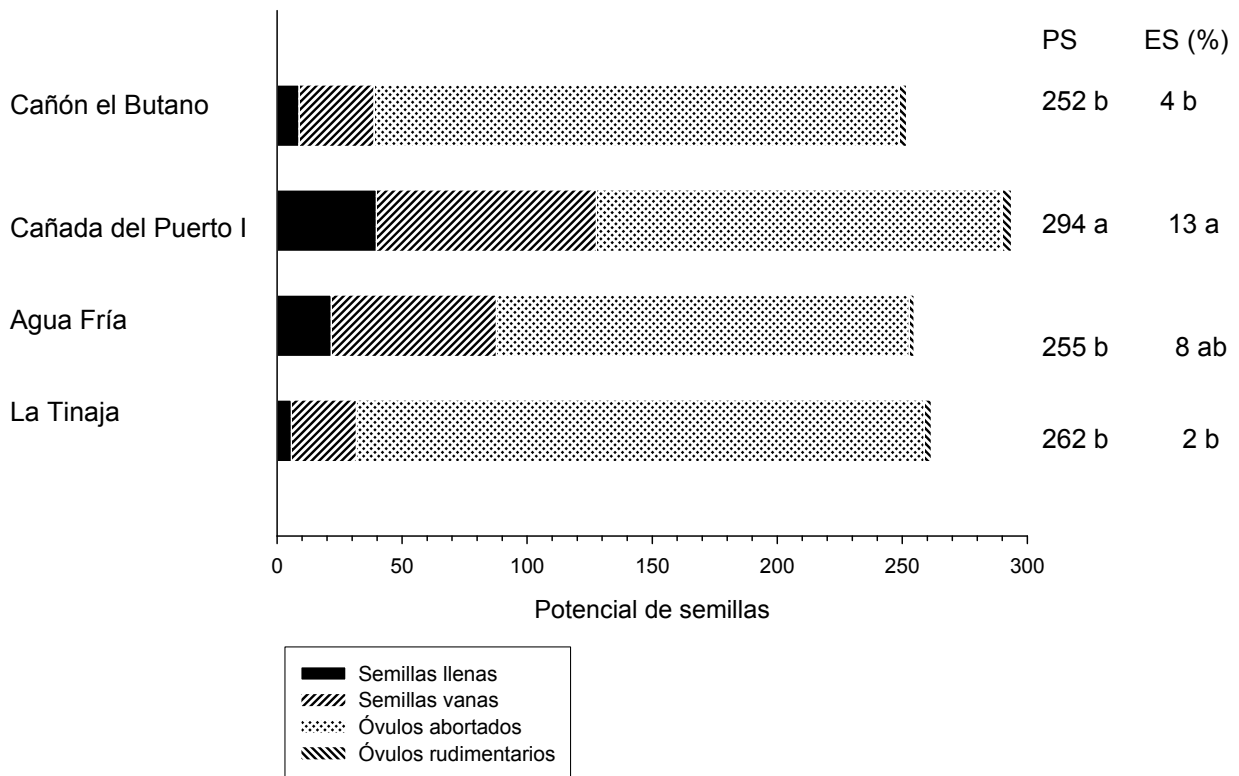
ε_{ijkl} = es el error experimental.

Se usó el programa SAS[®] con el procedimiento Mixed y el método de Máxima Verosimilitud Restringida para obtener la significancia estadística de los factores; cuando se demostró que hubo diferencias entre poblaciones se realizó la prueba de medias, para esto se usó el procedimiento LSMeans para obtener las medias ajustadas debido al desbalance en el número de árboles muestreados (Cuadro 1) (SAS, 1998).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Producción de semillas

El potencial de semillas promedio de las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* fue de 266 semillas por cono; de las cuales los valores más bajos se presentaron en el Cañón El Butano con 254 semillas por cono, Agua Fría con 255 semillas por cono y la Tinaja con 261 semillas por cono. El valor más alto y diferente al resto de las poblaciones se obtuvo en cañada del Puerto I con un promedio de 294 semillas por cono (Figura 3) (Apéndice 4).



PS= potencial de semilla, ES= eficiencia de semillas.

Nota: Los valores de las medias en PS y ES con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Figura 3. Producción y pérdida de semillas de cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson.

Como se puede observar 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, 2004), y otras coníferas (Cuadro 2). Lo anterior se debe a que existen diferentes años semilleros entre poblaciones de la misma especie (Alba-Landa *et al.*, 2003; Flores, 2004 y López, 2005). Por otra parte, el potencial de semillas fue variable entre especies, se pueden observar grandes diferencias al comparar las de menor potencial de semillas como *Pinus catarinae* con 11 y *Picea martinezii* con 266 (Cuadro 2). Conocer este potencial sirve para estimar aproximadamente el número de semillas que puede producir un cono (Niembro, 1995).

Un caso especial son los piñoneros donde utilizando la metodología de Bramlett *et al.* (1977) se sobreestima la cantidad de semillas que un cono puede producir, tal es el caso de *Pinus catarinae*, en Santa Catarina, Nuevo León, donde se encontraron escamas que no tenían la capacidad de producir dos óvulos funcionales; para estimar un potencial de semilla más real se propuso aplicar una fórmula alterna, con la cual se obtuvo un potencial de 11 semillas por cono (Lemus, 1999).

Como se observa en el Cuadro 2, se puede apreciar que 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; esta condición de humedad en muchas especies hace que tengan una mayor producción de biomasa y también son las de mejor producción de semilla. Un ejemplo claro es el de *Pinus greggii* Engelm., en la que se realizó un estudio en once sitios a través de su área de distribución natural. En la mayoría de las características analizadas se encontraron diferencias altamente significativas entre y dentro de sitios, el análisis de correlación efectuado entre las características morfológicas y las variables ambientales de los sitios de colecta mostró 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).

Cuadro 2. Potencial de semillas de coníferas mexicanas en diferentes localidades.

Especie	Población	Potencial de semillas (rango)	Cita
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert-Passini	Casa Blanca, Sta. Catarina, N. L., Méx.	11	Lemus (1999)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	Concepción del Oro, Zac.	25 (18 a 25) [¶] ‡	López (2005)
	El Coahuilón, Coah.	26 (18 a 25) [¶] ‡	
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Cartón Colombia	29 (11 a 39)	Clements y Vallejo (1988)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	Coahuila, Zacatecas, San Luís Potosí e Hidalgo Méx.	50 [¶] (44 a 66)	Hernández (2006)
<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	El Cerezo, Pachuca Hidalgo, Méx.	52	Zavala y Méndez (1996)
<i>Pinus Pinceana</i> Gordon	San Cristóbal, Hidalgo, Méx.	64 (61 a 67) [¶] ‡	Quiroz-Vásquez <i>et al.</i> (s. f.)
	Cuesta Blanca, Hidalgo Méx.	65 (52 a 77)	
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Orizaba, Veracruz, Mex.	82	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	Madera, Chihuahua Méx.	90 (48 a 126) [¶]	Narváez (2000)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	Chihuahua, Nuevo L. y Coahuila, Méx.	103 (91 a 116) [¶] ‡	Flores (2004)
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Cielito Azul, Durango Méx.	103 (60 a 142) [‡]	Prieto y Martínez (1993)
	La Taunita, Durango Méx.	115 (60 a 154) [‡]	
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz	La Suiza, Colombia	123	Isaza <i>et al.</i> (2002)
	La Arcadia, Colombia	127	
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	El Pital, Colombia	137 [¶] ‡	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	Cabuyerita, Colombia	140 [¶] ‡	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	Carrizal Chica, Zacualpan Veracruz, Méx.	161 (152 a 170) [¶]	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	Lázaro Cárdenas, Tlaxcala, Méx.	186 (76 a 242)	Vázquez <i>et al.</i> (2004)
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	La Malinche, Tlaxcala Méx.	187	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
	Cofre, Perote Veracruz Méx.	199	
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	C. Butano, La Tinaja. A. Fría. Cañada del Puerto I, N. L. Méx.	266 [¶] (254 a 294)	Trabajo actual

Nota: Ordenados de menor a mayor Potencial de semillas. [¶] Estudios realizados en diferentes poblaciones. [‡] 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 al potencial de semillas expresadas en porcentaje (Bramlett, 1974). En el presente estudio se encontró una eficiencia de semillas promedio de 7 % en las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*; donde el porcentaje más bajo de eficiencia se presentó en la población La Tinaja con 2%, lo que difiere para los valores de porcentaje más altos de eficiencia de las cuatro poblaciones, presentándose: Agua Fría con 8% y Cañada del Puerto I con 13% (Figura 3, Apéndice 4).

La cantidad de semillas llenas producidas por cono generalmente es inferior al potencial de semillas, como se puede apreciar en la Figura 3, esto a causa de que durante el proceso reproductivo parte de los óvulos abortan. 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 al tamaño del cono y a su posición en el árbol, ya que los conos mas grandes se encuentra en la parte superior de la copa del árbol y mientras mas grande sea el cono es capaz de producir un mayor numero de semillas llenas (Lyons, 1956).

Los valores de eficiencia de semilla encontrados en *Picea martinezii* son similares a los encontrados en estudios de otras coníferas, como *Pinus maximinoi* (Isaza *et al.*, 2002), *Pinus tecunumanii* (Isaza *et al.*, 2002), *Pinus johannis* (López, 2005), pero inferiores en muchos de los casos, por ejemplo, *Pinus greggii* (Alba-Landa *et al.*, 2005), *Pinus pinceana* (Quiroz-Vásquez *et al.*, s. f.), *Pinus hartwegii* (Alba-Landa *et al.*, 2003), por mencionar algunos (Cuadro 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). La baja eficiencia de semilla puede deberse a que parte de la semilla no culminó su proceso de crecimiento y desarrollo, debido a la incidencia de factores endógenos adversos no reflejados en dimensiones del árbol (Varnell, 1976),

depredación de insectos o a problemas de autopolinización (Prieto y Martínez, 1993). Esto se observa en los resultados registrados en varias especies de *Picea* (Caron y Powell, 1989).

Cuadro 3. Comparación de la eficiencia de semillas de coníferas, en diferentes poblaciones y entre años de colecta.

Especie	Eficiencia de semillas (rango)	Cita
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	7% (2 a 13%)	Trabajo actual
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore	8 % [¶] ‡	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz	8 % [¶] ‡	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	8 % (4 a 12 %) [‡]	López (2005)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	13.5 % (9 a 18%) [¶] ‡	Flores (2004)
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert-Passini	20.9 % [¶]	Lemus (1999)
<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	24.5 % [‡]	Zavala y Méndez (1996)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon (México)	35 % (0 a 54 %) [¶]	Hernández (2006)
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.	37 % (4.4 a 80.7 %) [¶]	Narváez (2000)
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede	13 % [¶] ‡	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus patula</i> Schl. <i>et</i> Cham.	55 % [‡]	Clements y Vallejo (1988)
<i>Pinus patula</i> Schl. <i>et</i> Cham.	64.6 %	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	68.8 % (65.2 a 72.4 %) [¶]	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	71.5 % (68 a 75 %) [¶]	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
<i>Pinus Pinceana</i> Gordon (Colombia)	75.4 % (71.2 a 80.2 %) [¶]	Quiroz-Vásquez <i>et al.</i> (s. f.)
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	78.9 % (70.88 a 86.96 %) [‡]	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005)

Ordenados de menor a mayor Eficiencia de semillas. [¶] Estudios realizados en diferentes poblaciones. [‡] Estudios realizados en diferentes años de colecta.

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 *Cydia phyllisi* Miller (Cibrián *et al.*, 1995).

El porcentaje de semillas vanas promedio fue de 20 % (53 semillas por cono), encontrándose valores desde 10 a 31 % (Figura 3, Apéndice 4). Las causas del aborto de los óvulos se le atribuyen principalmente a la falta de polinización, baja viabilidad de polen, deficiencias nutricionales o fisiológicas (Yáñez, 1991) así mismo otro tipo de daño que frecuentemente provoca el aborto en un alto porcentaje es el daño por plagas o enfermedades (Bramlett *et al.* 1977; Prieto y Martínez, 1993).

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 sobrevivientes. La pérdida de conos 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 de un huerto puede ser evaluada combinando las tablas de vida de la cosecha del cono con el análisis del cono (Bramlett *et al.*, 1977).

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

3.2 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 del Puerto I con un promedio de 115.71 mm por cono. Sin embargo, en Cañón El Butano y la Tinaja se encontraron los conos de menor longitud, por lo tanto estas poblaciones son iguales entre si pero diferente a las dos antes mencionadas ($p \leq 0.005$) (Cuadro 4).

El peso seco promedio del cono fue de 22.77 g, para las cuatro poblaciones. El valor mínimo se presentó en Cañón El Butano con 19.35 g, seguido de la Tinaja con 20.55 g y Cañada del Puerto I con 24.33 g, Agua Fría resultó superior y diferente al resto de las poblaciones con un promedio de 26.84 g (Cuadro 4).

Cuadro 4. Media poblacional \pm error estándar de la media (rangos) para las características obtenidas de los conos y semillas tomadas de las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson.

Poblaciones	Cañón el Butano (2006)	Cañada del Puerto I (2006)	Agua Fría (2006)	La Tinaja (2006)	Promedio
LC (mm)	99.36 \pm 1.76 b (55.34 – 140.48)	115.71 \pm 1.64 a (73.88 – 164.73)	116.58 \pm 1.78 a (74.05 – 160.30)	99.01 \pm 2.43 b (51.37 – 134.57)	107.66 \pm 1.90
PSC (gr)	19.35 \pm 0.52 b (8.54 – 36.40)	24.33 \pm 0.69 ab (10.29 – 45.00)	26.84 \pm 0.90 a (9.09 – 49.76)	20.55 \pm 0.78 b (6.63 – 34.79)	22.77 \pm 0.72
EF	126.13 \pm 1.31 b (93.00 – 158.00)	147.04 \pm 2.38 a (95.00 – 228.00)	127.53 \pm 1.71 b (90.00 – 205.00)	131.23 \pm 2.11 b (96.00 – 191.00)	132.98 \pm 1.88
ORP [¶]	0.01 \pm 0.001 a (0.00 – 0.05)	0.01 \pm 0.001 a (0.00 – 0.07)	0.01 \pm 0.001 a (0.00 – 0.05)	0.01 \pm 0.001 a (0.00 – 0.03)	0.01 \pm 0.001
OAP [¶]	0.83 \pm 0.01 a (0.38 – 1.00)	0.54 \pm 0.02 b (0.18 – 0.99)	0.65 \pm 0.02 b (0.19 – 1.00)	0.87 \pm 0.01 a (0.38 – 1.00)	0.72 \pm 0.015
SVP [¶]	0.12 \pm 0.01 b (0.00 – 0.18)	0.31 \pm 0.02 a (0.00 – 0.79)	0.26 \pm 0.02 a (0.00 – 0.74)	0.10 \pm 0.01 b (0.00 – 0.59)	0.20 \pm 0.01
SLLP [¶]	0.04 \pm 0.003 b (0.00 – 0.18)	0.13 \pm 0.01 a (0.00 – 0.44)	0.08 \pm 0.01 ab (0.00 – 0.46)	0.02 \pm 0.003 b (0.00 – 0.16)	0.07 \pm 0.006
CEND [¶] †	0.74 \pm 0.02 a (0.00 – 1.00)	0.67 \pm 0.02 a (0.07 – 1.00)	0.78 \pm 0.02 a (0.27 – 1.00)	0.82 \pm 0.02 a (0.43 – 1.00)	0.75 \pm 0.02

LC= longitud del cono (mm); PSC= peso seco del cono (gr); EF= escamas fértiles; ORP= proporción de óvulos rudimentarios; OAP= proporción de óvulos abortados; SVP= proporción de semillas vanas; SLLP= proporción de semillas llenas; CEND= coeficiente de endogamia.

Nota: Los valores con letras diferentes por fila son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). † Eficiencia de semillas. * Semillas vanas /semillas desarrolladas. ¶ Datos transformados.

El número de escamas fértiles promedio fue de 132.98 escamas, cañada del Puerto I tuvo un promedio de 147.04 escamas fértiles, este es el valor mas alto y diferente al de las otras poblaciones, la Tinaja con 131.23 escamas, Agua Fría 127.53 escamas y Cañón El Butano con 126.13 escamas. (Cuadro 4).

La proporción de óvulos abortados promedio fue de 72 %, presentando menor proporción de óvulos abortados en Cañada del Puerto I y Agua Fría, y las poblaciones de mayor proporción de óvulos abortados fueron la Tinaja y Cañón El

Butano con 87% y 83%, respectivamente (Cuadro 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 20 %. La mayor proporción de semillas vanas se presenta en Cañada del Puerto I y Agua Fría con 31 y 26%, respectivamente y las poblaciones que presentan menor proporción de semillas vanas son La Tinaja con 10 % y Cañón El Butano con 12 % (Cuadro 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* (Lemus, 1999) y *Picea mexicana* (Flores, 2004) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de porcentajes de óvulos abortados, semillas vanas, semillas llenas y el coeficiente de endogamia en diferentes estudios.

Especie	PSLL (%)	PSV (%)	POA (%)	CEND	Citas
<i>Picea martinezii</i> Patterson [§]	7	12	83	0.75	Trabajo actual
<i>Picea mexicana</i> Martínez [¥]	13	46	41	0.80	Flores (2004)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert ^{¥§}	18	17	75	0.54	López (2005)
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert-Passini [§]	23	61	9	-----	Lemus (1999)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon [§]	35	24	38	0.42	Hernández (2006)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon [§]	49	13	37	0.43	Quiroz <i>et al.</i> (sin fecha)
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguluz ^{¥§}	56	44	-----	-----	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede ^{¥§}	60	40	-----	-----	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore ^{¥§}	61	39	-----	-----	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco [§]	69	31	33	-----	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus greggii</i> Engelm [§]	84	16	47	-----	López <i>et al.</i> (1993)

Nota: Datos ordenados de menor a mayor proporción de semilla llena (PSLL).[¥] Estudios realizados en diferentes años. [§] Estudios realizados en diferentes poblaciones. PSLL= Proporción de semillas llenas; PSV= Proporción de semillas vanas; POA= Proporción de óvulos abortados; CEND= coeficiente de endogamia; ---- = datos no disponibles.

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 (Cuadro 5). La reducción en la producción de semilla llena se le atribuye 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*, existe una alta proporción de óvulos abortados (36 a 47%) (Flores, 2004).

La proporción de semillas llenas obtuvo un promedio de 7 %. Las poblaciones de Cañada del Puerto I y Agua Fría presentaron los más altos valores con un promedio de 13 y 8% de semillas llenas y las poblaciones con valores más bajos son La Tinaja con 25 y Cañón El Butano con 4% (Cuadro 4). Lo cual indica que también existe diferencia entre poblaciones, con respecto a la proporción de semillas llenas encontradas en otros estudios (Cuadro 5).

El coeficiente de endogamia promedio de las cuatro poblaciones evaluadas para este trabajo fue de 0.75; con un rango de 0.67 a 0.82 (Cuadro 4), lo cual resulta ser una proporción muy similar a los resultados obtenidos en estudios de tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* en la que se encontró un alto índice de endogamia de 0.73 a 0.84 (Flores, 2004).

El coeficiente de endogamia obtenido puede ser resultado de una posible autopolinización o de la carencia de polen, debido a que existe muy poca densidad del arbolado, los factores ambientales también pueden causar muerte embrionaria (Williams y Savolainen, 1996; Ledig *et al.*, 2001; Flores, 2004). Para el estudio de *Picea mexicana* se encontró valores promedios de endogamia como uno de los más altos, al igual que los valores promedios que se presentan en el presente trabajo (Flores, 2004) (Cuadro 5).

Algunos estudios han proporcionado evidencia inequívoca que la producción de semilla está directamente relacionada con la producción de polen. Sin embargo, estos estudios han demostrado que la limitación de polen ocurre en una diversa gama de especies con diferentes ciclos de vida y polinizadores. La limitación de polen es causada por varios factores incluyendo la falta de polinizadores y la ineficacia de los mismos, la competencia para polinizarse. Estos factores generan diversas presiones selectivas, por lo tanto las características de la planta podría favorecer a la selección (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).

La autopolinización conduce a consecuencias graves tales como la disminución en la producción de semilla y crecimiento reducido del bosque (Yazdani y Lindgren, 1991). En general las poblaciones fragmentadas y aisladas tienden a sufrir mayores niveles de endogamia (Frankham, 1998), lo cual conduce a una menor capacidad reproductiva y por lo tanto existe mayor riesgo de extinción a un futuro no muy lejano.

4 CONCLUSIONES

1. A pesar de que *Picea martinezii* presentó un potencial de semillas alto, la eficiencia de semillas promedio de las cuatro poblaciones fue baja.
2. Si hay diferencia de potencial y eficiencia de semilla entre localidades, la mayor diferencia es entre Cañada del Puerto I que tuvo una eficiencia de semillas de 13%, mientras que en la población La Tinaja la eficiencia de semilla fue solo del 2%.
3. Los indicadores reproductivos de conos y semillas muestran que existe una gran pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas, esto por endogamia que fue del 75 %, ya que las poblaciones son muy pequeñas y por lo tanto es probable que no existe una adecuada polinización cruzada.

5 RECOMENDACIONES

1. Continuar monitoreando la producción de semillas en estas poblaciones para conocer la variación entre años semilleros.
2. Evaluar la relación de indicadores reproductivos con la densidad del arbolado, la regeneración y la viabilidad de polen para conocer más el efecto de la endogamia.

6 LITERATURA CITADA

- Alanis, G. J., G. V. Carlos., F. Rahim., V. Vicente y A. A. Marco. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. Ciencia. VII (2): 209- 218. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/402/40270106>.
- Alba-Landa J., M. H. Lilia C. y C. G, Adriana A. 1999. Potencial de producción de semilla de la progenie de un huerto semillero de segunda generación de selección de *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz. ISIMA. Durango, México. pp.133 – 134.
- Alba-Landa J., A. Aparicio-Rentería y J. Márquez-Ramírez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. Foresta Veracruzana 5 (1): 23-26.
- Alba-Landa J., J. Márquez-Ramírez y H. S. Bárcenas C. 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.
- 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. U. S. A. 3p.
- Box, G. E. P. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (methodological) 26 (2): 211-252.
- Bramlett, D. L. 1974. Seed potential and seed efficiency. *In*: John Kraus (ed.). Seed yield from southern pine seed orchards colloquium proceedings. Ga. For. Res. Counc., Macon, Ga. U. S. A. pp. 1-7.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher Jr., G. L. DeBarr, J. L. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware y H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of Southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C. U. S. A. 28 p.
- Brown, I. R. 1970. Seed production in Scots Pine. *In*: Luckwill L. C. y C. V. Cutting. Physiology of tree crops. Academic Press. New York. pp. 55 – 63.
- Capó A., M. A. 1972, Observaciones sobre la taxonomía y distribución de las coníferas de Nuevo León, México. Tesis Profesional UANL. Monterrey, N. L. 191 p.
- Caron, G. E., y G. R. Powell. 1989. Cone size and seed yield in young *Picea mariana* trees. Canadian Journal Forest Resources 19: 351-358.

- Cibrián, T. D., J. T., Méndez M., R., Campos B., H. O. Yates III y J. E., Flores L. 1995. Insectos forestales de Mexico. Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México. pp. 68.
- Clements, C. L. y C. Vallejo. 1988. Producción de Conos y Semillas de *Pinus patula* en relación a la Elevación. Informe de investigación No. 119. Smurfit, Carton de Colombia. Cali de Colombia. 5 p.
- Flores L., C. 2004. Indicadores reproductivos en tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez de México. Tesis de Maestria en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 46 p.
- Frankham R. 1998. Inbreeding and extinction: island populations. *Conservation Biology* 12 (3): 665-675.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ta. Ed. 1988. Secretaria de la Presidencia. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México. 217 p.
- Gordon, G. A. 1968. Ecology of *Picea Chihuahuana* Martínez. *Ecology* 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 p.
- Hines W., W. y Montgomery, Douglas C. Probabilidad y estadística para ingeniería y administración. Tercera edición. México. C.E.C.S.A. 1996. 770 p.
- Isaza N., W. S. Dvorak y J. 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 de Colombia. 9p.
- Karrfalt, R. P. y Belcher, E. W. 1977. Evaluation of seed production by cone analysis. Northeastern Forest Tree Improvement Conference. University of Maryland, Center for Environmental and Estaurine 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* 38: (7) 471 – 478.
- Ledig, F. T., V. Jacob C., P. D. Hodgskiss, and T. Eguiluz P. 1997. Recent evolution and divergence among populations of rare Mexican endemic,

- Chihuahua spruce, following Holocene climatic warming. *Evolution* 51 (6): 1815-1827.
- Ledig, F. T., M. Mápula L., B. Bermejo V., C. Flores L., V. Reyes H., and M. A. Capó A. 2000a. Locations of endangered spruce populations in México and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño* 47:71-88.
- Ledig, F. T., V., B. Bermejo V., P. D. Hodgskiss, D. R. Johnson, C. Flores L. and V. Jacob C. 2000b. The mating system and genic diversity in Martínez spruce, an extremely rare endemic of México's Sierra Madre Oriental: an example of facultative selfing and survival in interglacial refugia. *Canadian Journal of Forest* 30: 1-9.
- Ledig F., T., M. A. Capó A., P. D. Hodgskiss, H. Sbay, C. Flores L., M. T. Conkle y B. Bermejo V. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinacea). *American Journal of Botany* 88 (11): 1977 – 1987.
- Lemus S., J. L. 1999. Análisis de conos y semillas de *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 130p.
- López U., J., J. Jasso M., J. J., Vargas H. y J. C., Ayala S. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agrociencia. Recursos Naturales Renovables* 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. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 42 p.
- Lyons, L. A. 1956. The Seed Production Capacity and Efficiency of Red pine Cones (*Pinus resinosa* Ait.). *Canadian Journal of Botany* 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. Ed. H. Castro y M. A. Hernández. Monterrey, Nuevo León.
- McDonald, J. A. 1993. Phytogeography and history of the alpine-subalpine flora of northeastern Mexico. *In*: Ramamoorthy T. P., A. Lot y J. Fa. Biological diversity of Mexico: origins and distribution. UNAM. México. pp. 681-697.
- Mosseler, A. 1998. Minimum viable population size and the conservation of forest genetic resources. *In*: S. Puri (Ed.). *Tree improvement: applied research and technology transfer*. Science Publishers, Inc. U.S.A. pp. 191-205.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K.H. Johnsen, y O.P. Rajora. 2000. Indicators of populations viability in red

- spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal of Botany 78:928-940.
- Müller-Using, B. y 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 p.
- Müller- Using, B. and 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 Reunión Regional de Ecología, Norte. Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología. México. 3 p.
- 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. 20p.
- Niembro A. 1995. Producción de semillas de caoba *Swietenia macrophylla* King bajo condiciones naturales en Campeche, México. In: Memorias del simposio sobre avances en la producción de semillas forestales en América latina. Rodolfo Salazar (comp.). C.A.T.I.E. Managua, Nicaragua. pp. 249-264.
- Ott, P. 2005. The Box-Cox transformation. Biometrics information. Pamphlet No. 62. June 15, 2005. B.C. Ministry of Forests, Research Branch. Canada. 6p.
- Owens, J. N., S. J. Simpson, y G. E. Caron. 1987. The pollination mechanism of Engelmann spruce (*Picea engelmannii*). Canadian Journal of Botany 65: 1439-1450.
- Patiño, V. F. 1975. Producción de semillas forestales. Bosques y Fauna 12 (4): 41-45.
- Patterson, T. E. 1988. A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo Leon, Mexico. SIDA 13: 131-135.
- Prieto R., J. A y J. Martínez A. 1993. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto científico N° 1. SARH, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Norte Centro. Campo Experimental "Valle del Guadiana". Durango, Dgo. México. 18 p.
- Quiroz-Vázquez R., I., J. López-Upton, V. M. Cetina-Alcalá, G. Ángeles-Pérez y A. Trinidad-Santos, [s. f.] Reproductive viability of *Pinus pinceana* Gordon in the state of Hidalgo, México. [Inédito].

- Sánchez C., J. y R. Narváez F. 1990. Plan integral para la protección y fomento de *Picea chihuahuana* Martínez. In: Ecosistemas forestales. SARH, INIFAP, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del estado de Chihuahua, Campo Experimental Madera. Vol. 1. México. pp. 37 – 54.
- SAS institute Inc. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 8.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378 p.
- SEMARNAT. 2003. Norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-2001, 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. 23 de abril de 2003. México. 153 p. [En línea]. 20 de febrero de 2007. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>
- Sorensen, F. C. 1971. Estimate of self- fertility in coastal Douglas- Fir from inbreeding studies. *Silvae Genetica* 20 (4): 101- 140.
- Sorensen, F. C. y R.S. Miles. 1974. Self-pollination on Douglas-fir and ponderosa pine seeds and seedlings. *Silvae Genetica* 23 (5): 135-165.
- Vaughton, G. y M. Ramsey. 1995. Pollinators and seed production. In: seed development and germination. Edited by J. Kigel, G. Galili. New York, USA. pp. 475-489.
- Varnell, R. J. 1976. Cone and seed production in Flash Pine: effects of tree dimensions and climatic factors. Departament of Agriculture Southeastern Forest Experiment Station Asheville, Nort Carolina, U. S. A. 145: 1-10.
- Vaughton, G. y M., Ramsey. 1995. Pollinators and seed production. In: Kigel J. y G. Galili. Seed Development and Germination. Marcel Dekker. New York. pp. 475 – 489.
- Vázquez C., O. G., E. O. Ramírez-García y J. Alba-Landa. 2004. Variación de conos y potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov. en una población del Estado de Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 6 (2): 31-36.
- Williams, C. G. y O., Savolainen. 1996. Inbreeding depression in conifers: implications for breeding strategy. *Forest Science* 42 (1): 102- 117.
- Yáñez, E. L. 1991. Análisis de la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. en una población natural de la sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. de México. 116 p.

- Yazdani, R. y D. Lindgren. 1991. The Impact of self-pollination on production of sound selfed seeds. Biochemical markers in the population genetics of forest trees. Edited by S. Fineschi, M E. Malvolti, F. Cannata y H. H. Hattermer. The Hague, Netherlands. pp.143 – 147.
- Zavala, C. F. y J. T., Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semillas en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. Acta Botánica Mexicana 36. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. de México. pp. 1- 13.

7 APÉNDICE

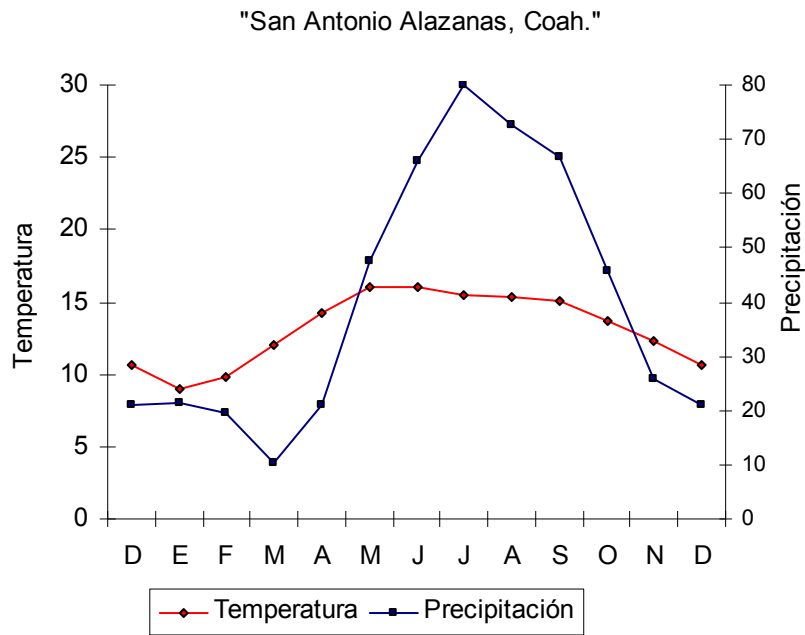
Apéndice 1. Datos de temperatura promedio mensual, precipitación mensual y tipo de clima de las Estaciones Meteorológicas más cercanas a las poblaciones evaluadas.

Población Estación meteorológica	Cañón el Butano		Cañada del Puerto I y La Tinaja		Agua Fría	
	San Antonio Alazanas, Coah.		Dulces Nombres, N. L.		Raíces, N. L.	
Mes	Temperatura	Precipitación	Temperatura	Precipitación	Temperatura	Precipitación
Enero	9.0	21.4	11.2	30.3	11.1	13.7
Febrero	9.8	19.4	12.0	18.6	12.4	14.0
Marzo	12.0	10.4	14.6	21.5	15.7	10.4
Abril	14.2	21.1	16.9	45.0	18.2	24.3
Mayo	16.1	47.5	17.8	95.8	20.2	43.4
Junio	16.1	66.0	17.7	170.9	20.5	38.9
Julio	15.5	79.9	17.4	99.1	20.6	40.1
Agosto	15.3	72.8	17.4	134.8	19.6	44.7
Septiembre	15.1	66.9	16.2	255.3	19.1	37.2
Octubre	13.7	45.6	14.7	127.9	16.9	26.6
Noviembre	12.3	25.9	13.6	25.9	14.2	13.4
Diciembre	10.7	21.1	12.1	13.9	11.6	19.1
Anual	13.3	498.0	15.1	1039.0	16.6	235.8
Tipo de clima	Cb (x')(wo)(e)g		Cb(w2)(i')gw''		BSokx'(w)(e)w''	

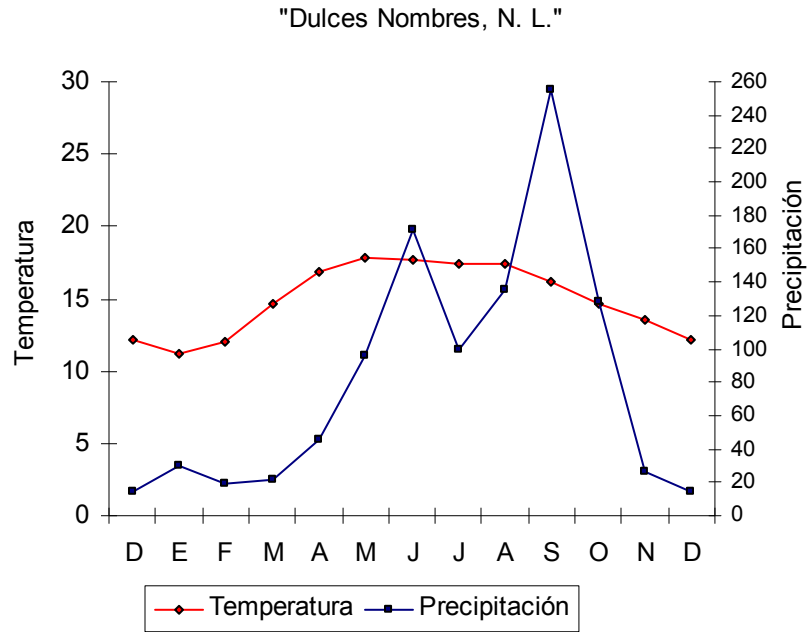
Fuente: García, (1988) y SARH, (1988).

Apéndice 2. Climogramas para las poblaciones evaluadas de *Picea martinezii*.

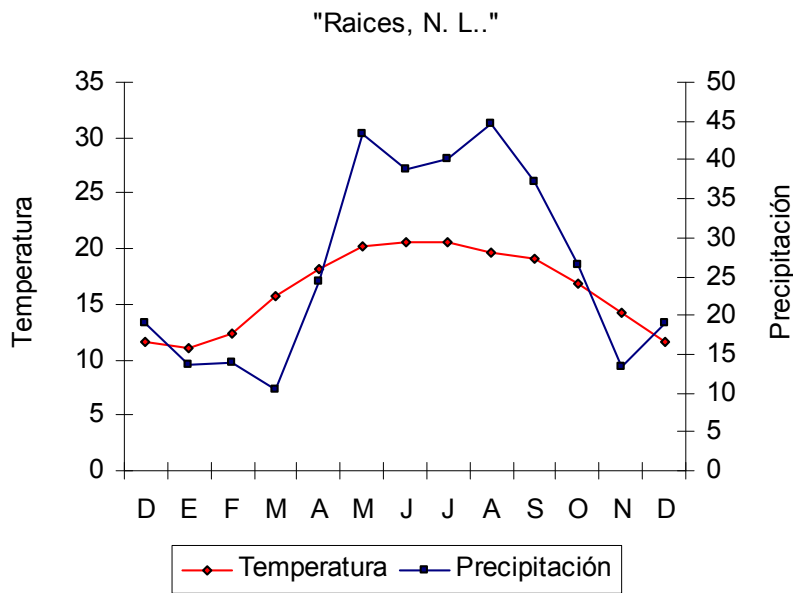
Apéndice 2a. Estación San Antonio Alazanas, Coahuila.



Apéndice 2b. Estación Dulces Nombres, Nuevo León.



Apéndice 2c. Estación Raíces, Nuevo León.



Apéndice 3. Formato de análisis de conos y semillas de *Picea martinezii* T. F. Patterson.

PROPIEDAD: _____ MUNICIPIO: _____ ESTADO: _____

LOCALIDAD: _____ FECHA DE COLECTA: _____ FECHA DE EVALUACION _____

ARB	Nº CON	LC	DC	OA	OR	SV	SLL	PSC	SD	E S C A M A S					TOTAL		
										ESCAMAS INFERTILES		ESCAMAS FERTILES					
										EB	ET	E1S1OR	E1S1OA	E2S		E1OA1OR	E2OA
	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																

Donde: POB= Número de población; ARB=Árbol; CON=Número de cono; LC=longitud del cono (mm); DC=Diámetro del cono (mm); PSC= Peso seco del cono (g); SV=Semilla vana; OR= Óvulos rudimentarios; SLL=Semilla llena; SD=Semilla desarrollada; EB=Escama basal sin óvulos abortados (Óvulos rudimentarios); ET=Escama terminal sin óvulos abortados (óvulos rudimentarios); E1S1OR=Escama intermedia con 1 semilla y sin óvulo abortado (un óvulo rudimentario) E1S1OA=Escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado; E2S=Escama intermedia con 2 semillas desarrolladas; E1OA1OR=Escama intermedia con un óvulo abortado y sin óvulo (Un óvulo rudimentario); E2OA=Escama intermedia con 2 óvulos abortados.

Apéndice 4. Producción y pérdida de semillas de cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*.

Poblaciones (año de colecta) ¶	SLL	SV	OA	OR	PS	EF
Cañón el Butano (2006)	9 (4%) b	30 (12%) b	210 (83%) a	3 (1%) a	254 b	4 b
Cañada del Puerto I (2006)	40 (13%) a	88 (31%) a	162 (55%) b	4 (1%) a	294 a	13 a
Agua Fría (2006)	22 (8%) ab	66 (26%) a	165 (65%) b	2 (1%) a	255 b	8 ab
La Tinaja (2006)	6 (2%) b	26 (10%) b	227 (87%) a	4 (1%) a	261 b	2 b
Promedio	19 (7%)	53 (20%)	191(72%)	3 (1%)	266	7

¶ Poblaciones ordenadas de latitud norte a sur.

Nota: SLL= semillas llenas (%); SV= semilla vana; OA= óvulos abortados; OR=óvulos rudimentarios; PS= potencial de semillas y EF= eficiencia de semilla. Los valores con letras diferentes por columna en PS y ES son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).