



**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO**  
**“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”**  
**FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMÍA**  
**CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES**

**LÍNEAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS**  
**DE *Picea mexicana* Martínez Y *Picea martinezii* Patterson**

**Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales**

**Celestino Flores López**

**Pinar del Río, Cuba**  
**2014**

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO**  
**“HERMANOS SAÍZ MONTES DE OCA”**  
**FACULTAD DE FORESTAL Y AGRONOMÍA**  
**CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES**

**LÍNEAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE *Picea***  
***mexicana* Martínez Y *Picea martinezii* Patterson**

**Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales**

**Autor: MSc. Celestino Flores López**

**Tutor: Prof. Tit. Dr. C. Gretel Geada López**

**Pinar del Río**  
**2014**

## **CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN RECTORAL No. 17/98**

Los resultados que se exponen en la presente Tesis, se han alcanzado como consecuencia del trabajo realizado por el autor y asesorado y/o respaldado por la Universidad de Pinar del Río, por tanto los resultados en cuestión son propiedad del autor y de la Universidad, respectivamente, y sólo ellos podrán hacer uso de los mismos de forma conjunta y recibir los beneficios que se deriven de su utilización.

---

M. C. Celestino Flores López

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pinar del Río “Hermandos Saíz Monte de Oca”, al Centro de Estudios Forestales y al Departamento de Biología por el apoyo y accesibilidad otorgada para realizar los estudios de Doctorado en Ciencias Forestales.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y al Departamento Forestal por el apoyo recibido para realizar los estudios de postgrado en la República de Cuba.

A mi tutora la profesora Dr. Gretel Geada López, por la dedicación, paciencia y motivación para la realización de la tesis durante estos años.

Al Dr. Rogelio Sotolongo Sospedra por los diversos comentarios al escrito que apoyaron a la organización y estructura de la tesis.

A los estudiantes que realizaron su trabajo de titulación de la carrera de ingeniero forestal en este tema y a los que apoyaron en los trabajos de campo: Juan Antonio Partida Moncada, Rosario Adolfo Vega Esquivel, Celestino Sandoval García, Edith López Ramírez, José Armando Gómez López, Domingo López López, Roció Martínez Vega, David Hernández Salinas, Ricardo Villalba Lugo, José Luis Veliz Rodríguez, Jaime Cortez Martínez, Rufino Sandoval García.

Al Dr. Thomas F. Ledig y Paul Hodgskiss por la capacitación y apoyo para realizar los análisis de isoenzimas para las poblaciones de *Picea*, realizadas en el Instituto de Genética Forestal en Placerville, California, Estados Unidos.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron al desarrollo y término de este trabajo.

## DEDICATORIA

A mis dos amores:

Ernestina

y

María Ernestina

## SÍNTESIS

Se evaluaron las poblaciones naturales de dos especies endémicas y en peligro de extinción, *Picea mexicana* y *Picea martinezii* en la Sierra Madre Occidental y Oriental de México, para proponer líneas de conservación genética a partir del estudio ecológico, de variación morfo-anatómica dentro y entre las poblaciones y la estructura genética para *P. martinezii*. *P. mexicana* es un taxón subalpino, cada población es una entidad independiente, con un número reducido de individuos en clases diamétricas reproductoras para mantener la variabilidad y viabilidad de sus poblaciones, una gran variación morfo-anatómica dentro y entre sus poblaciones e indicadores reproductivos bajos. *P. martinezii* es un taxón de los Bosque Mesófilo de Montaña a 1 800 – 2 500 msnm de la Sierra Madre Oriental, la estructura por clases diamétricas en cada población es desfavorable en relación a los individuos potencialmente reproductores. La especie posee cuatro poblaciones geográficas y tres unidades genético-morfo-anatómicas diferenciables: Agua Fría-Agua Lardín, El Butano, y La Encantada con indicadores reproductivos y de germinación muy bajos que indican que se sufre de depresión endogámica la cual es más marcada en La Encantada. Las líneas están dirigidas a la conservación *quasi in situ*, el extensionismo y la educación ambiental.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	6
El género <i>Picea</i> en México	6
Estructura de las comunidades asociadas a <i>Picea</i>	7
Variación en poblaciones arbóreas	8
La conservación de especies forestales	15
<b>CAPÍTULO 1. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	20
1.1 Ecología de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	20
1.1.1 Estructura de las poblaciones	23
1.2 Variación morfo-anatómica e indicadores reproductivos de las poblaciones	23
1.2.1 Variación morfo-anatómica de acículas, conos y semillas	23
1.2.1.1. Análisis biométrico	25
1.2.2 Indicadores reproductivos	25
1.2.2.1 Análisis biométrico	27
1.2.3 Variación y estructura genética de las poblaciones <i>Picea martinezii</i>	28
1.2.3.1 Análisis biométrico	29

1.3 Líneas de conservación para las poblaciones de <i>Picea</i>	29
<b>CAPÍTULO 2. ECOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE <i>Picea mexicana</i> Y <i>Picea martinezii</i></b>	
<b><i>martinezii</i></b>	31
2.1 Ecología de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	31
2.1.1 <i>Picea mexicana</i>	31
2.1.2 <i>Picea martinezii</i>	36
2.2 Estructura de las poblaciones de <i>Picea</i>	45
<b>CAPÍTULO 3. VARIACIÓN MORFO-ANATÓMICA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DE <i>Picea</i>, Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE <i>Picea martinezii</i></b>	
<b><i>martinezii</i></b>	52
3.1 Variación morfo-anatómica en <i>Picea mexicana</i>	52
3.2 Variación morfo-anatómica de <i>Picea martinezii</i>	60
3.3 Indicadores reproductivos en poblaciones de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	68
3.4 Estructura genética de <i>Picea martinezii</i>	74
<b>CAPÍTULO 4. LÍNEAS DE CONSERVACIÓN PARA LAS POBLACIONES DE <i>Picea</i></b>	79
4.1 Análisis jurídico y organización institucional sobre la conservación y manejo de especies en riesgo para México.	79
4.2 Líneas de conservación	81
4.2.1 Conservación de las poblaciones	81



4.2.2 Difusión, educación y capacitación	87
4.2.3 Participación social y organización comunitaria	87
<b>CONCLUSIONES</b>	89
<b>RECOMENDACIONES</b>	90
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de las poblaciones naturales de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i> en México (CONABIO, 1998 y 2005)	21
Figura 2. Dendrograma, clasificación de las parcelas y las poblaciones de <i>Picea mexicana</i>	33
Figura 3. Dendrograma, clasificación de las parcelas y las poblaciones de <i>Picea martinezii</i>	38
Figura 4. Estructuras diamétricas y edades correspondientes de <i>Picea mexicana</i> para la Marta y El Coahuilón	46
Figura 4 (continuación). Estructuras diamétricas y edades correspondientes de <i>Picea mexicana</i> para la población El Mohinora	47
Figura 5. Estructuras diamétricas y edades correspondientes de <i>Picea martinezii</i> para las poblaciones Agua Fría y Agua Lardín	48
Figura 5 (continuación). Estructuras diamétricas y edades correspondientes de <i>Picea martinezii</i> para las poblaciones El Butano y La Encantada	49
Figura 6. Frecuencia de canales resiníferos en las tres poblaciones de <i>Picea mexicana</i> (LAC= Largo de acículas por árbol; representación de una acícula por árbol de <i>Picea mexicana</i> con presencia de canal resinífero). Sección transversal de la acícula y canal resinífero	57
Figura 7. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las poblaciones <i>Picea mexicana</i>	59
Figura 8. Frecuencia de canales resiníferos de <i>Picea martinezii</i> para las cuatro poblaciones naturales. Representación de una acícula por árbol, todas las	

poblaciones tienen dos canales resiníferos laterales. LAC= largo de acícula.	
A) Sección transversal de la acícula. B) Canal resinífero	64
Figura 8 (continuación). Frecuencia de canales resiníferos de <i>Picea martinezii</i> para las cuatro poblaciones naturales. Representación de una acícula por árbol, todas las poblaciones tienen dos canales resiníferos laterales. LAC= largo de acícula. A) Sección transversal de la acícula. B) Canal resinífero	65
Figura 9. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las cuatro poblaciones de <i>Picea martinezii</i>	67
Figura 10. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las tres poblaciones de <i>Picea martinezii</i>	68
Figura 11. Árbol de UPGMA basado en la distancia genética de Nei (1978) para las poblaciones de <i>Picea martinezii</i>	77

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Localización de las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	22
Tabla 2. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a <i>Picea mexicana</i>	37
Tabla 3. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a <i>Picea martinezii</i> , población Agua Fría	40
Tabla 4. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a <i>Picea martinezii</i> , población Agua Lardín	41
Tabla 5. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a <i>Picea martinezii</i> , población El Butano	42
Tabla 6. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a <i>Picea martinezii</i> , población La Encantada	43
Tabla 7. Superficie, densidad de árboles (DA, número de árboles/ha, árboles $\geq 5$ cm de $D_{1.30}$ ), número de árboles (A, $\geq 5$ cm de $D_{1.30}$ ) por población, densidad de plántulas con diámetros $< 5$ cm de $D_{1.30}$ (DP, número de plántulas/ ha), número de plántulas (P con diámetros $< 5$ cm de $D_{1.30}$ ) por población y coeficiente plántulas/árboles (P/A) para las poblaciones de <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	51
Tabla 8. Análisis de la varianza total explicada en <i>Picea mexicana</i>	52
Tabla 9. Matriz de componentes principales rotados para variables morfológicas y anatómicas para <i>Picea mexicana</i>	54
Tabla 10. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas	

para las variables morfológicas y anatómicas de <i>Picea mexicana</i>	58
Tabla 11. Análisis de la varianza total explicada por componente principal en <i>Picea matinezii</i>	61
Tabla 12. Matriz de componentes principales rotados para variables morfo-anatómicas para <i>Picea martinezii</i>	61
Tabla 13. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para las variables morfológicas y anatómicas de <i>Picea martinezii</i>	66
Tabla 14. Resultados de la clasificación a partir de las funciones discriminantes	67
Tabla 15. Características reproductivas promedios de conos y semillas evaluadas en <i>Picea mexicana</i> y <i>Picea martinezii</i>	69
Tabla 16. Potencial de semillas de coníferas mexicanas en diferentes localidades	71
Tabla 17. Comparación de la eficiencia de semillas de coníferas en diferentes poblaciones	73
Tabla 18. Resultados de las pruebas de germinación en <i>Picea mexicana</i> y <i>P. martinezii</i>	74
Tabla 19. Diversidad genética e índices de fijación para las poblaciones naturales de <i>Picea mexicana</i> (Ledig <i>et al.</i> , 2002) y para <i>Picea martinezii</i> en México	77

## LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Ordenación Fitosociológica de las parcelas para *Picea mexicana*

Anexo 2. Ordenación Fitosociológica de las parcelas para la *Picea martinezii*

Anexo 3. Localización de las proyecciones de hábitats potenciales para 2030, 2060 y 2090 (tomado de Ledig, F. T., G. E. Rehfeldt, C. Sáenz-Romero y C. Flores-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany* 97(6): 970-987)

## REFERENCIA DE LA TAXONOMÍA DE ESPECIES CITADAS

- Abies durangensis* Martínez  
*Abies duranguensis* var. *coahuilensis* (Johnston) Martínez  
*Abies flinckii* Rushforth  
*Abies guatemalensis* Rehder  
*Abies hickelii* Flous & Gausсен  
*Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. & Cham.  
*Abies vejari* Martínez  
*Arbutus xalapensis* Kunth.  
*Carpinus caroliniana* Walter  
*Carya ovata* (Mill.) K. Koch.  
*Cornus florida* L. ssp. *urbiniana* (Rose) Rickett.  
*Crataegus baroussana* Ettl.  
*Fagus grandifolia* Ehrh. ssp. *mexicana* (Mtz) Campex Shen  
*Garrya laurifolia* Hartw. ssp. *macrophylla* (Benth.) Dalwing  
*Ilex rubra* S. Watson  
*Juglans mollis* Engelm.  
*Liquidambar styraciflua* L.  
*Picea chihuahuana* Martínez  
*Picea breweriana* S. Wats.  
*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.  
*Picea glauca* (Moench) Voss  
*Picea koyamae* Shiras.  
*Picea martinezii* T. F. Patterson  
*Picea mexicana* Martínez  
*Picea rubens* Sarg.  
*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.  
*Pinus arizonica* Engelm.  
*Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schlttdl.  
*Pinus ayacahuite* var. *brachyptera* Shaw  
*Pinus banksiana* Lamb.  
*Pinus catarinae* M. F. Robert-Passini  
*Pinus cembroides* Zucc.  
*Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen  
*Pinus cooperi* C. E. Blanco  
*Pinus culminicola* Andresen & Beaman  
*Pinus estevezii* (Mtz) Perry  
*Pinus greggii* Engelm.  
*Pinus hartwegii* Lindl.  
*Pinus johannis* M.-F. Robert  
*Pinus lagunae* M.-F. Passini  
*Pinus maximartinezii* Rzedowski  
*Pinus muricata* D. Don  
*Pinus oaxacana* Mirov  
*Pinus oocarpa* Shiede  
*Pinus patula* Schl. & Cham.  
*Pinus pinceana* Gordon  
*Pinus resinosa* Ait.  
*Pinus rudis* Endl.  
*Pinus rzedowzkii* Madrigal & M. Caball.  
*Pinus taiwanensis* Hayata  
*Pinus tecunumanii* Eguiluz & J.P. Perry  
*Pinus teocote* Schl. & Cham.  
*Populus tremuloides* Michx.  
*Prunus serotina* Ehrh.  
*Pseudotsuga macrolepis* Flous.  
*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco  
*Quercus greggii* (A.DC.) Trel.  
*Quercus laeta* Liebm.  
*Quercus laurina* Humb. & Bonpl.  
*Quercus sideroxyla* H.B.K.  
*Salix paradoxa* H.B.K.  
*Sambucus nigra* L.  
*Taxus globosa* Schlttdl.  
*Tilia americana* L.

## **INTRODUCCIÓN**



## INTRODUCCIÓN

El género *Picea* perteneciente a Pinaceae es uno de los más representativos en los bosques del hemisferio norte, contiene de 28 a 35 especies (Farjon, 2001). *Picea mexicana* Martínez y *Picea martinezii* Patterson son dos de los taxones endémicos, relictos del norte de México con una distribución limitada a la Sierra Madre Oriental y Occidental de manera irregular (Ledig *et al.*, 2004). En la actualidad se describen tres poblaciones para *P. mexicana* (Ledig *et al.*, 2002) y cuatro para *P. martinezii* (Ledig *et al.*, 2000a). En el pasado, a mediados del Plioceno (5 MA; millones de años), las poblaciones de *Picea* en México, posiblemente se distribuían desde el sur al istmo de Tehuantepec (Graham, 1993) hasta el norte de Chiapas (Palacios y Rzedowski, 1993) antecedida de una distribución más oeste en el sur de Veracruz, región del paraje de Solo-Coatzacoalcos, durante el Mioceno Superior, donde se refiere hubo temperaturas más frías (Graham, 1976).

En la actualidad, las poblaciones se encuentran asociadas a la vegetación alpina y subalpina debido fundamentalmente a los eventos glaciales (Ledig *et al.*, 1997; Jaramillo-Correa *et al.*, 2006), contrastando con la amplia distribución que tuvo durante hace 12 000 años.

Las regiones alpinas de México representan uno de los centros más ricos de endemismos por unidad de superficie, existiendo en el noreste de México siete refugios alpinos que albergan 59 especies endémicas, donde está incluida *Picea mexicana* (McDonald, 1993).

La norma oficial mexicana de protección ambiental NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2001; 2004), el reporte sobre conservación de coníferas así como la evaluación de Farjon y Page (1999) coinciden en declarar ambas especies en la categoría “En peligro crítico” (CR por su siglas en Inglés); razón por la cual la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (<http://www.conabio.gob.mx/>), demandan la urgencia de estudios ecológicos y genéticos de estas especies que permitan evaluar el recurso para su conservación.

Las poblaciones de *Picea* en México presentan diferencias en cuanto a su distribución espacial así como en la asociación de especies. *Picea mexicana* se encuentra en la Sierra Madre Oriental hasta 3 200 msnm, en la Sierra Madre Occidental en una altitud superior a 3 000 msnm, correspondiendo estas a las zonas subalpinas (Ledig *et al.*, 2000b; Ledig *et al.*, 2004). *Picea martinezii* se halla geográficamente en la Sierra Madre Oriental en asociación con especies que corresponden al tipo de vegetación de Bosque Mesófilo de Montaña (Capó *et al.*, 1997; Valdez *et al.*, 2003) conocido como bosque de niebla y que ocupa menos del 1 % del territorio mexicano con una alta diversidad en especies al contener el 12 % de las especies de México y el 30 % de ellas endémicas (Rzedowski, 1996; Valdez *et al.*, 2003).

Estas especies con poblaciones pequeñas de distribución muy irregular y aisladas son más propensas a procesos de pérdida de su diversidad y aumento de su tasas de autocruzamiento; por lo que, los programas de regeneración y restauración serían más efectivos si se contara *a priori* con el conocimiento sobre ecología y genética de las poblaciones para determinar las fuentes potenciales productoras de semilla con alta diversidad genética (Hedrick, 2000; Frankham *et al.*, 2002), los métodos idóneos para la conservación de su genofondo; y detección de su susceptibilidad ante los eventos de variabilidad climática y a más largo plazo al cambio climático (Ledig, 2012) que comprometan su sobrevivencia.

Consecuentemente, son cruciales los estudios sobre sus hábitats y variabilidad a fin de garantizar la perdurabilidad y facilitar su conservación (Ledig *et al.*, 2010). Al respecto, no se dispone de estudios detallados sobre ecología de las poblaciones en ambas especies. Aunque sí se conoce que *Picea mexicana* fue inicialmente evaluada con marcadores moleculares de isoenzimas, para determinar diversidad genética en las poblaciones y elementos del sistema de cruzamiento (Ledig *et al.*, 2002), mientras que *Picea martinezii* se dispone de escasa información en dos de sus poblaciones (Ledig *et al.*, 2000b).

De esta manera el **problema científico** se centra en ¿Cómo la fragmentación afecta la estructura de las poblaciones naturales de *P. mexicana* y *P. martinezii* limitando su supervivencia? para lo cual el **objeto de la investigación** son las poblaciones naturales de *P. mexicana* y *P. martinezii* en la Sierra Madre Oriental y en la Sierra Madre Occidental de México.

En base a los elementos expuestos se formula la siguiente **hipótesis**: el proceso de fragmentación y continua reducción del tamaño de las poblaciones de *P. mexicana* y *P. martinezii* ha afectado la estructura de las poblaciones incidiendo en la diferenciación de sus poblaciones y afectando sus indicadores reproductivos.

Por lo que el **objetivo general** es proponer las líneas para la conservación de los recursos genéticos de *P. mexicana* y *P. martinezii* en la Sierra madre Oriental y Occidental de México, a través de los **objetivos específicos** siguientes:

- Caracterizar la ecología de *P. mexicana* y *P. martinezii*.
- Caracterizar la variación morfo-anatómica de *P. mexicana* y *P. martinezii* y la variación genética en *P. martinezii*.
- Proponer las líneas para la conservación de ambas especies basados en el análisis de los datos genéticos y ecológicos.

La **novedad científica** radica en el estudio genético y ecológico de ambas especies, *P. mexicana* y *P. martinezii*, así como la definición de nuevas variables morfo-anatómicas para evaluación de poblaciones de piceas mexicanas y su identificación taxonómica, la evaluación de indicadores reproductivos de ambas especies y de la diversidad genética en *P. martinezii* como base para el diseño de líneas para la conservación.

**Contribución científica**: se encuentra en el hecho, que se caracterizan dos nuevas poblaciones para la especie *P. martinezii* (Agua Fría y Agua Lardín), el conocimiento de la ecología de las comunidades y las poblaciones de ambas especies y de la estructura genética en las poblaciones naturales *P. martinezii* en la Sierra Madre Oriental.

**Contribución práctica** radica en la identificación de nuevos caracteres diagnósticos en ambas especies para su descripción taxonómica, la definición de las líneas para la conservación del recurso genético de *P. mexicana* y *P. martinezii* utilizando datos ecológicos en la Sierra madre Oriental y Occidental de México; así como datos genéticos de cada población.

## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El género *Picea* en México

El género *Picea* A. Dietr. pertenece a la familia Pinaceae, incluye de 28 a 50 especies en función de la autoridad taxonómica que lo clasifique (ver discusión en Ledig *et al.*, 2004) dentro de las cuales se encuentran *Picea mexicana* y *Picea martinezii*. No obstante, en la lista de coníferas de este género por Farjon (2001) reconoce 34 especies, tres subespecies y 15 variedades, considerando erróneamente a *P. martinezii* como sinonimia de *P. chihuahuana*.

El género se desarrolla en los bosques de coníferas de las regiones templadas y boreales del hemisferio norte, en Europa, Asia menor, El Cáucaso, Siberia, China, Japón, El Himalaya y América del Norte donde solamente se encuentran diez especies de las cuales seis se localizan al suroeste de los Estados Unidos y el Norte de México (Ledig *et al.*, 2004).

Para el género *Picea* en México se describen tres especies: *P. chihuahuana*, *P. mexicana*, *P. martinezii*. *P. chihuahuana* posee un número mayor de poblaciones localizadas solamente en la Sierra Madre Occidental (Ledig *et al.*, 1997), *P. mexicana* con tres poblaciones distribuida disyuntamente en la Sierra Madre Occidental en el Cerro El Mohinora y en la Sierra Madre Oriental en el Cerro La Marta donde se describió inicialmente, y en el Cerro El Coahuilón (Ledig *et al.*, 2000a).

*P. martinezii* de más reciente descripción, se localiza únicamente en la Sierra Madre Oriental en cuatro poblaciones conocidas como La Trinidad (que en adelante se denominará El Butano): Municipio de Montemorelos y La Tinaja (en adelante denominada

La Encantada): Municipio de Zaragoza (Capó *et al.*, 1997; Patterson, 1988) y dos poblaciones reportadas como Agua Fría y Agua Lardín localizadas en el Municipio de Aramberri (Ledig *et al.*, 2000a), todas en el Estado de Nuevo León.

Tanto *P. mexicana* como *P. martinezii* se consideran endémicos relictos de este género en México con pocas unidades poblacionales de distribución muy fragmentada y un reducido tamaño poblacional (Rzedowski, 1996; Ledig *et al.*, 2000a, 2002; Rehfeldt, 2004). La Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 y Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) consideran estas especies en la categoría “En Peligro Crítico”, debido fundamentalmente a que el área que ocupan las poblaciones es menor de 5 000 km<sup>2</sup>, sufren de una fragmentación severa y tienen un número pequeño de localidades donde se desarrollan, sumado a esto el continuo proceso de deterioro en extensión y la calidad de sus hábitats (Conifer Specialist Group, 2000; UICN, 2001; UICN, 2004). Hasta el momento, estudios sobre ecología de poblaciones y su estructura, así como de las comunidades donde se asocian estas no han sido emprendidos.

#### Estructura de las comunidades asociadas a *Picea*

Las comunidades vegetales donde se encuentran las poblaciones de *Picea* en México presentan diferencias en la tipología de sus bosques, asociación de especies y su distribución espacial. *P. mexicana* es característica del bosque subalpino, mientras que *P. martinezii* se encuentra en Bosque Mesófilo de Montaña (Capó *et al.*, 1997; Valdez *et al.*, 2003), lo que hace de ésta un taxón que se asocia tanto a especies boreales como



subtropicales. En este sentido las áreas correspondientes a las poblaciones de *P. martinezii* conocida también como bosque de niebla ocupan en México menos del 1 % del territorio (Flores *et al.*, 1971; Rzedowski, 1996). Este tipo de vegetación es rico en diversidad de especies (Valdez *et al.*, 2003), y contienen alrededor del 12% de las especies de México y de las cuales el 30% tienen carácter endémico (Rzedowski, 1996).

La estructura de los bosques y la estructura poblacional es uno de los aspectos más importantes del entorno forestal ya que ésta puede ser manejada por la silvicultura, y puede ser un buen indicador de la biodiversidad (Del Río *et al.*, 2003). Conocer la estructura de un bosque y de las poblaciones que lo integran es importante porque facilita comprender el desarrollo del bosque y se considera una variable crítica para la toma de decisiones en el manejo del bosque especialmente en los esfuerzos de la conservación (Aguirre *et al.*, 2003; Gordon *et al.*, 2005).

Considerando que los estudios desarrollados sobre estructura de los bosques donde se encuentran las poblaciones en *P. mexicana* y *P. martinezii* han sido muy limitados (*i.e.* Capó *et al.*, 1997), resulta crucial conocer su estructura y composición, para el manejo y los planes de conservación (Bauche *et al.*, 2002; Priego *et al.*, 2003).

#### Variación en poblaciones arbóreas

Las diferencias entre árboles son el resultado de tres factores: los diferentes ambientes en los cuales crecen, las diferencias genéticas entre árboles y las interacciones existentes entre el genotipo de los árboles y los ambientes en los cuales éstos crecen (Zobel y Talbert, 1988).

Por otro lado, la variación en los árboles forestales puede agruparse en varias categorías: entre especies, entre orígenes geográficos dentro de una especie (procedencias), entre sitios, entre rodales, entre árboles individuales, y dentro de árboles; ésta última muy útil en programas de mejoramiento genético, porque tienen como meta aumentar la frecuencia de los mejores genotipos y/o producir genotipos nuevos con mejores combinaciones de genes (Zobel y Talbert, 1988; Nienstaedt, 1990). La variación entre árboles puede ser causada por diferencias ambientales, con frecuencia no predecible debida a factores internos y ambientales; donde además, el factor interno (genotipo) y los ambientales modularían el fenotipo final (White *et al.*, 2007). Además, para la genética poblacional, es importante la variación genética entre poblaciones y dentro de éstas, constituyendo éstas la base para la conservación, fomento y mejora arbórea.

Existen diferentes métodos para medir la variación, desde las medidas de la morfología (botánicas-taxonómicas, las morfo-agronómicas y las evaluativas como respuesta a factores bióticos y abióticos), hasta los que requieren técnicas de la biología molecular como los marcadores moleculares proteicos (isoenzimas) o del ADN (Hidalgo, 2003; Furnier, 2004).

En México se han realizado varios estudios morfológicos y anatómicos para explorar la variación en las especies de coníferas, en especial para especies del género *Pinus* y en menor número para taxones como *Pseudotsuga* y *Picea*, para ello las variables más utilizadas han sido el largo y el ancho de las acículas (Hernández, 1986; Beristáin, 1992; Muñoz, 1995; Rodríguez, 1996; Santos, 1998; Reyes *et al.*, 2005; Rodríguez y Capó, 2005). Pocos trabajos se han concentrado en características anatómicas de coníferas, así

aparecen estudios de evaluaciones en el número de estomas y de hileras de éstos en *Pinus maximartinezii* (García, 1986), *Pinus chiapensis* (Hernández, 1986) y *Pseudotsuga sp.* (Santos, 1998; Reyes *et al.*, 2005). Otros estudios han evaluado características morfológicas a través de análisis de parsimonia para detectar las relaciones filogenéticas entre pinos piñoneros (Malusa, 1992), formación de híbridos entre especies de pinos (López *et al.*, 2001) que en *Picea* esto resulta muy difícil por la baja capacidad de formar los mismos (Ledig *et al.*, 2004), y de ecología de las plántulas en relación a su rango geográfico de distribución natural en *Picea* norteamericanas (Miyazawa y Lechowicz, 2004).

Asimismo, se han utilizado variables morfológicas como el diámetro del haz vascular, el diámetro y posición de los canales resiníferos que han sido utilizadas para diferenciar especies americanas del género *Picea* (Weng y Jackson, 2000). Otras variables que han sido utilizadas para caracterizar interespecíficamente coníferas son el número de hileras de estomas en la parte media del haz de las acículas, en el envés izquierdo y derecho, y el número de estomas en un milímetro de longitud sobre el haz de las acículas de *Pinus greggii* y *Pseudotsuga menziesii* (Beristáin, 1992; Reyes *et al.*, 2005).

En el caso del género *Picea* en México, para *Picea mexicana* y *P. martinezii* los estudios han sido insuficientes, y estos se han concentrado a estudios morfológicos para describir a dos poblaciones de *Picea mexicana* (Taylor y Patterson, 1980; Prieto, 1992; Taylor *et al.*, 1994), no incluyendo la población El Coahuilón localizada en el Estado de Coahuila.

En *Picea martinezii* los pocos estudios se han dirigido a la descripción de la especie, basados en variables como el largo y ancho de acículas, largo y ancho del cono, longitud,

ancho y grueso de escama; relativos al largo, ancho de la semilla y el ala (Patterson, 1988; Prieto, 1992) y no a la variabilidad de estos caracteres intraespecíficamente. Las variables anatómicas de las acículas como canales resiníferos, hileras de estomas en cada lado y la distancia de la esquina lateral al centro del canal resinífero, así como la longitud de lado de la acícula adyacente canal resinífero, han sido empleadas solo en tres individuos de la especie para encontrar variación entre piceas de Norteamérica (Weng y Jackson, 2000).

La estimación de la variación genética en plantas puede realizarse a través de los marcadores moleculares; donde la variabilidad o polimorfismo de estos marcadores puede ser usado en los diferentes estudios para medir la diversidad genética de las especies vegetales y monitorear su herencia. Los grandes grupos de marcadores moleculares reconocidos son: (1) las proteínas, que pueden ser de reserva o almacenamiento, y las isoenzimas que son formas diferentes de una enzima que comparten una misma actividad; y (2) el ADN cuyas diferencias en las secuencias, o en los fragmentos de estos representan el polimorfismo o variabilidad (Hidalgo, 2003).

La variación isoenzimática analizada mediante técnicas de electroforesis, ha sido empleada desde los años 1970 en estudios de especies forestales. Entre las ventajas que ofrecen y que hacen de las isoenzimas una herramienta ampliamente extendida es su bajo costo y facilidad de implantación en el laboratorio, el análisis es un proceso rápido ya que es posible examinar varios individuos y sistemas enzimáticos a la vez, su naturaleza es codominante permite interpretar con facilidad los patrones de bandas obtenidos entre los genotipos homocigóticos y heterocigóticos; además de la facilidad de este marcador al mostrar una variabilidad relativamente elevada comparable entre distintas especies y

estudios, y que es posible estudiarlas desde las fases más tempranas (semillas), por lo que no es necesario disponer de individuos adultos (Jiménez, 2000) para su evaluación.

Las isoenzimas se han utilizado en diferentes estudios de coníferas tanto en especies endémicas de distribución restringida como de amplia distribución con el propósito de describir la variación genética de las poblaciones; por ejemplo, para *Pinus maximartinezii* con cuatro poblaciones (especie endémica de México) se evaluaron 21 sistemas de isoenzimas con un polimorfismo del 30,3% representando el valor más bajo de las especies de pinos y piceas (Ledig *et al.*, 1999). Para otras especies en riesgo como *Pinus rzedowzkii*, *Pinus pinceana*, *Pinus lagunae* y *Pinus muricata* se ha evaluado la diversidad genética para el establecimiento de criterios de conservación (Delgado *et al.*, 2008), mientras que en *Pinus oocarpa* se ha estudiado para conocer la variación genética de poblaciones a lo largo de gradientes altitudinales y el análisis de estrategias de conservación (Sáenz-Romero y Tapia-Olivares, 2003). Sin embargo, en el género *Picea* estos estudios han sido escasos dirigidos a la caracterización de la variabilidad genética, sistemas de cruzamiento, divergencia en *Picea mexicana*, *P. martinezii* y *P. chihuahuana* (Ledig *et al.*, 1997; Ledig *et al.*, 2000b; Ledig *et al.*, 2002).

La variación genética dentro y entre poblaciones en el rango natural de distribución de una especie endémica de México y Guatemala como *Pinus chiapensis* fueron estudiadas utilizando marcadores ADN nuclear y de mitocondria, detectando que la variación encontrada es resultado de la alta fragmentación de la especie por la actividad antrópica y la discontinuidad del hábitat disponible, facilitando la información para definir unidades

de conservación *in situ*, estrategias y/o planes de conservación *ex situ* y de conservación de germoplasma (Newton *et al.*, 2002).

Utilizando marcadores moleculares como ADN citoplasmático se ha estudiado la variación genética del género *Abies* (*A. flinckii*, *A. guatemalensis*, *A. hickelii* y *A. religiosa*) en el sur de México y Guatemala, sugiriendo que *Abies* de Mesoamérica tiene un ancestro común reciente, y que su divergencia y especiación es producto de la deriva genética y el aislamiento durante los periodos cálidos interglaciares (Jaramillo-Correa *et al.*, 2008).

En *Picea* los estudios con marcadores de ADN se han enfocado a determinar la filogenia y biogeografía de especies del género, a partir del análisis de secuencias en las regiones del ADN cloroplástico *trnC-trnD* y *trnT-trnF* y del intrón del ADN mitocondrial *nad5*. Estos resultados sugieren que *Picea* se originó en Norteamérica y que su presente distribución se debe a dos tipos de dispersión desde Norteamérica a Asia por el estrecho de Bering y entonces de Asia a Europa (Ran *et al.*, 2006).

La especie *Picea chihuahuana* si ha sido estudiada intensamente utilizando marcadores ADN mitocondrial maternal (mtADN) y cloroplástico paternal (cpADN) cuyos resultados revelaron que algunos rodales se desvían significativamente del equilibrio mutación-deriva, lo que sugiere recientes cuellos de botella, además la hipótesis de que una población colapsó durante el calentamiento del Holoceno y que las actuales poblaciones de *P. chihuahuana* se encuentran aisladas con una diversidad genética regulada por eventos generados por deriva genética. Por lo tanto, los esfuerzos de conservación deben concentrarse a las poblaciones más al sur y a los rodales centrales y del norte que presenten altos niveles de diversidad genética (Jaramillo-Correa *et al.*, 2006). Asimismo, el

análisis de secuencia de mtADN confirma que *Picea martinezii* no es *P. chihuahuana*, lo cual confirma la definición de ésta última con una única especie (Jaramillo-Correa *et al.*, 2006). Desafortunadamente, similares evaluaciones para *Picea martinezii* y *P. mexicana* no se han realizado.

Los problemas más frecuentes y que son comprobados con estos marcadores son fundamentalmente los asociados a la fragmentación en poblaciones pequeñas y la baja densidad del arbolado adulto que generan problemas de polinización, una escasa dispersión y flujo de genes entre poblaciones y un alto grado de autofecundación (Frankham, 1998; Rajora y Mosseler, 2001). Las poblaciones pequeñas son más propensas a depresión endogámica debido a la autofecundación y cruces entre árboles emparentados, con un aumento notable de semillas vanas (Mosseler *et al.*, 2000).

Por lo general, en otras coníferas se ha encontrado que la autopolinización reduce la cantidad de semillas llenas, así como su capacidad germinativa, la tasa de crecimiento y sobrevivencia de las plantas (Sorensen y Miles, 1974; Fowler y Park, 1983; Park y Fowler, 1984; Sorensen y Campbell, 1993). Por ello, comúnmente se plantea que las poblaciones pequeñas con baja densidad y fragmentadas enfrentan mayor riesgo de desaparecer si tienen valores reproductivos bajos (Mosseler *et al.*, 2000).

Paralelamente, un elemento interesante es estimar los indicadores reproductivos de una especie a través del potencial y la eficiencia reproductiva que está asociada a la producción de semillas de los árboles y otras características de los conos y semillas (Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005). A partir de estos datos se puede inferir y comprobar la presencia de depresión endogámica, ya que el primer efecto de ésta es la

reducción de semillas llenas (Ledig *et al.*, 2000a). Esta aproximación comienza a cobrar popularidad dentro de los forestales mexicanos pues facilita la identificación de fuentes semilleras en especies con categorías de riesgo (Flores-López *et al.*, 2005; Alba-Landa y Márquez-Ramírez, 2006; Cruz-Nicolás *et al.*, 2008; Gómez-Jiménez *et al.*, 2010; Morales-Velásquez *et al.*, 2010).

El aislamiento reproductivo y la distribución o formación de poblaciones marginales para diferentes coníferas se ha documentado que origina una pobre producción de semillas, donde el número de semillas vanas es alto, como resultado de una autopolinización produciéndose el fenómeno de endogamia y disminuyendo la capacidad reproductiva (Mosseler y Rajora, 1998; Mosseler *et al.*, 2000); ejemplos de dichos problemas reproductivos se han obtenido en el análisis de semillas y la evaluación de su viabilidad en *Pinus catarinae* (Lemus, 1999), *Pinus pinceana* (Hernández 2006) y *Pinus johannis* (Villa-Pérez, 2010).

Por ello, los indicadores reproductivos en las poblaciones permite evaluar el estado genético y monitorear la viabilidad de las poblaciones, en especial, las pequeñas y aisladas.

#### La conservación de especies forestales

La conservación de especies forestales es la gestión de la utilización de éstas por el ser humano de manera que produzcan el mayor y sostenido beneficio para las generaciones actuales, pero que mantengan su potencialidad para satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones futuras (Kjær *et al.*, 2004). Y ésta debe entenderse en un



sentido amplio y moderno, que implica la utilización racional y sostenible de los recursos naturales a largo plazo. Los métodos de conservación comúnmente utilizados en la actividad forestal son la conservación *in situ* y *ex situ* (Kjær *et al.*, 2004), y el método más reciente descrito para árboles llamado *quasi in situ* (Volis y Blecher, 2010).

La conservación *in situ* no es sinónimo de “áreas protegidas”, simplemente significa que la conservación es realizada en el sitio original donde la diversidad genética debe ser considerada y utilizada al mismo tiempo. En este contexto, conservación significa “uso sabio”. La conservación genética *in situ* puede ser practicada en sistemas administrados, en reservas especiales de conservación genética, y en áreas protegidas que son diseñadas para la protección general de la biodiversidad. Esto implica el mantenimiento continuo de una población dentro del medio ambiente donde fue originado y con lo cual se asume que tiene adaptación (Amaral *et al.*, 2004). Y su principal limitante radica en el escaso conocimiento de la distribución de la diversidad genética del recurso a conservar, por lo que generalmente se realiza a partir de datos ecológicos.

El método *ex situ* implica el movimiento fuera del área natural y regularmente lleva consigo la creación de áreas con un escaso número de individuos y donde garantizar la dinámica de la población no es tomado en consideración. Comúnmente, se realiza a través del movimiento de semillas o colecciones *ex situ* de éstas, los bancos de clones y el tejido almacenado en medios de cultivo son ejemplos viables para muchas especies de plantas con dificultades para su propagación (Amaral *et al.*, 2004).

El método *quasi in situ* concibe una nueva estrategia para lograr un puente entre la *ex situ-in situ* y está dirigida fundamentalmente para especies forestales, especies

amenazadas y aquellas con una presión biótica o abiótica que reduce continuamente el tamaño y número de sus poblaciones. En este método las colecciones *ex situ* se mantienen en ambientes de forma natural o seminatural, donde se preserva tanto la diversidad genética neutral y adaptativa como parte complementaria de la estrategia de conservación *ex situ – in situ* (Volis y Blecher, 2010). El método consiste en cinco pasos (Volis y Blecher, 2010): (1) estudio y análisis de la distribución de la especie; (2) muestreo de poblaciones de acuerdo con un diseño de estructura ecológica espacial; (3) plantación en sitios apropiados (por ejemplo, en sitios con hábitat natural o seminatural y en medio ambiente similar) y mantener las colecciones; (4) estudio de las características históricas de la vida y los efectos bióticos y abióticos en la demografía de la población; y (5) reintroducción (o traslado) de plantas, preferentemente utilizando semillas de colecciones vivientes y el monitoreo del éxito de su reintroducción.

La conservación de especies en riesgo es de interés y se justifica principalmente por los beneficios directos e indirectos que se obtienen de estos como biorecursos, los servicios que prestan los ecosistemas donde se desarrollan, los valores estéticos, por lo que las acciones de la silvicultura deben estar dirigidas al mantenimiento de la variabilidad genética y los procesos evolutivos en sus poblaciones de forma tal que perduren (Frankham *et al.*, 2007). Para el manejo de las especies en riesgo es necesario conocer la estructura genética de la especie para minimizar las probabilidades de extinción, la identificación de poblaciones, definición de unidades de manejo dentro de especies, identificando poblaciones y sitios para reintroducción, utilizando los análisis genético

moleculares y promoviendo la comprensión de la biología de la especie (Frankham *et al.*, 2007).

En México, La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), estas tres últimas dependientes de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), son los organismos del Gobierno Federal que se encarga de proteger y conservar la biodiversidad, principalmente en condiciones *in situ*. La CONANP cuenta con 154 áreas naturales protegidas considerando reservas de la biosfera, parques nacionales, monumentos naturales, áreas de protección de recursos naturales, áreas de protección de flora y fauna, y santuarios, que representan un poco más de 18,7 millones de hectáreas; y la CONABIO define 152 regiones terrestres prioritarias (Arriaga *et al.*, 2000; CONABIO, 2012), donde proporciona apoyo para estudios de especies en estatus de riesgo que se encuentren en estas regiones. Desafortunadamente, varias de áreas donde se localizan las poblaciones de *Picea* no están en estas áreas de protección o prioritarias; por ejemplo dos de poblaciones de *Picea mexicana* (Cerro El Coahuilón en Coahuila y Cerro La Marta en Nuevo León) y en el caso de *Picea martinezii* (Agua Fría, Agua Lardín y La Encantada en Nuevo León) y la mayoría de las poblaciones de *Picea chihuahuana*. A su vez, la CONANP mantiene procesos de actualización y consulta pública para el reconocimiento de nuevas áreas naturales protegidas, así como los programas de manejo dentro de las existentes sobre la base de resultados de la investigación científica (CONANP, 2013).

En este sentido las propuestas que contengan las poblaciones de *Picea* han estado limitados al reconocimiento del Área Natural Protegida Cerro El Mohinora (SEMARNAT-CONANP, 2005; DOF, 2005).

A pesar de que se cuenta con Programa Estratégico Forestal para México 2025 (SEMARNAT-CONAFOR, 2001a), el Nacional Forestal 2001-2006 (SEMARNAT-CONAFOR, 2001b) y el Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (SEMARNAT-CONAFOR, 2004), para las especies en riesgo no se tienen líneas estratégicas para la conservación de las mismas. Solamente se han presentado propuestas, como el “Plan Integral para la Protección y Fomento de *P. chihuahuana* Martínez” (Sánchez y Narváez, 1990) y la protección de esta especie en el Bosque Modelo San Juanito en el Estado de Chihuahua.

## **CAPÍTULO 1. MATERIALES Y MÉTODOS**

## CAPÍTULO 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Ecología de las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

Para los estudios de ecología se muestrearon tres poblaciones de *Picea mexicana*, dos poblaciones distribuidas en la Sierra Madre Occidental y una población en la Sierra Madre Oriental y para *Picea martinezii* se muestrearon cuatro poblaciones en la Sierra Madre Oriental (Figura 1, Tabla 1).

Para la clasificación del clima de cada una de las poblaciones se utilizaron los datos climatológicos proveídos por el Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/>), además de la información obtenida en la CONABIO de los archivos modificados al sistema de clasificación climática de Köppen para México ([http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?Id=36](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=36)) (García, 1988; CONABIO, 1998).

En cada una de las poblaciones se describieron los perfiles de suelo a partir de características edafo-ecológicas (Siebe *et al.*, 1996) y se compararon con las características descritas para los diferentes tipos de suelo de acuerdo con la clasificación mundial FAO-UNESCO (1990), apoyado con las cartas de suelos en escala de 1:50 000 producidas por DETENAL, CETENAL e INEGI.

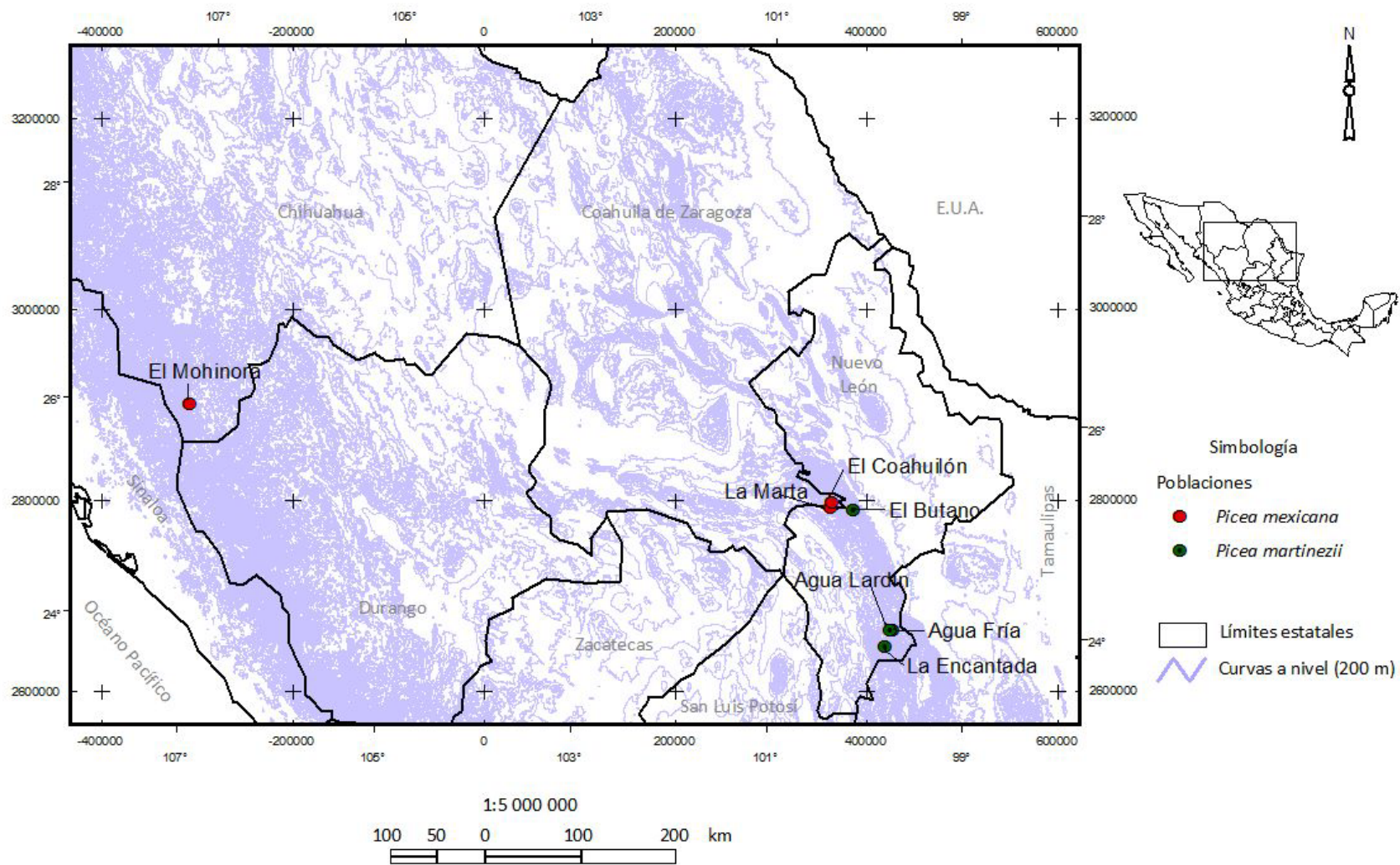


Figura 1. Distribución de las poblaciones naturales de *Picea mexicana* y *Picea martinezii* en México (CONABIO, 1998 y 2005)

Tabla 1. Localización de las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

<b>Población</b> (ha)	<b>Propiedad</b>	<b>Municipio/Estado</b>	<b>Coordenadas geográficas</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
<b><i>Picea mexicana</i></b>				
<b>La Marta</b> (33)	Propiedad privada Felipe de la Peña	Rayones/Nuevo León	25° 11' 55" N 100° 21' 52" O	3 494
<b>El Coahuilón</b> (65)	Ejido Nuncio	Arteaga/Coahuila	25° 14' 51" N 100° 21' 17" O	3 528
<b>El Mohinora</b> (17)	Ejido El Tule y Portugal	Guadalupe y Calvo/Chihuahua	25° 57' 41" N 107° 02' 32" O	3 113
<b><i>Picea martinezii</i></b>				
<b>Agua Fría</b> (35)	Propiedad Privada: Agua Fría	Aramberri/Nuevo León	24° 02' 17" N 99° 42' 39" O	1 820
<b>Agua Lardín</b> (15)	Propiedad Privada: Agua de Lardín	Aramberri/Nuevo León	24° 02' 34" N 99° 44' 04" O	2 120
<b>El Butano</b> (20)	Ejido la Trinidad	Montemorelos/Nuevo León	25° 10' 41" N 100° 07' 37" O	2 180
<b>La Encantada</b> (3)	Ejido La Encantada	Zaragoza/Nuevo León	23° 53' 24" N 99° 47' 30" O	2 515

Para la identificación de las especies asociadas y la estructura de las poblaciones se establecieron en cada una de las poblaciones parcelas circulares de 1 000 m<sup>2</sup> que fueron georreferenciadas. Para *Picea mexicana* en La Marta y El Coahuilón se establecieron seis parcelas y 11 en El Mohinora; mientras que para *Picea martinezii*, siete en Agua Fría, tres en Agua Lardín, seis en El Butano y tres en La Encantada conforme a los resultados de las curvas área-especie de cada comunidad.

Para describir la estructura horizontal, de la comunidad asociada a *Picea*, se determinó: abundancia relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa (Mostacedo y Fredericksen, 2000; Moreno, 2001), el índice valor de importancia ecológica (IVIE) (Keel *et al.*, 1993) fue



obtenido para las especies que sobrepasarán los 5 cm de diámetro a  $D_{1.30}$  con el objetivo de evaluar la importancia que tienen determinadas especies en la comunidad (Curtis y McIntosh, 1951; Villavicencio y Valdez, 2003). Para evaluar la similitud florística entre las parcelas y las poblaciones se realizó un análisis de conglomerados usando el Bio-Pro ver. 2 (Lambhead *et al.*, 1997) mediante la medida de distancia de Sorensen (Bray-Curtis) y el método de unión de los grupos fue el de Ward's.

#### 1.1.1 Estructura de las poblaciones

Para analizar la estructura de las poblaciones se evaluaron conjuntamente todas las parcelas de cada población y se determinó: el número de árboles por ha, y se estimó el tamaño poblacional, distribución por clases diamétricas considerando intervalos de 5 cm, altura media y área basal (G) por ha. La descripción de la estructura por edades se analizó a partir de los trabajos de Gómez (2007) y López (2009).

La regeneración se evaluó en parcelas de 80 m<sup>2</sup>, determinándose la densidad de plántulas con diámetros < 5 cm de  $D_{1.30}$ . (DP, número de plántulas/ha), número de plántulas (P con diámetro < 5 cm de  $D_{1.30}$ ) por población y coeficiente plántulas/árboles (P/A).

### 1.2 Variación morfo-anatómica e indicadores reproductivos de las poblaciones

#### 1.2.1 Variación morfo-anatómica de acículas, conos y semillas

Para caracterizar la variación morfológica se colectó material de árboles maduros en cada población natural. En *Picea mexicana* se colectaron acículas de 32 a 33 árboles, para conos de 25 a 30 y para semillas de nueve a 28 árboles. En *P. martinezii* se colectaron acículas de 12 a 32 árboles, en conos de 11 a 32 y en semillas de siete a 25 árboles. La variación en el

número de árboles colectados se debió a que no todos los árboles contaban con conos y dentro de éstos no todos tenían semillas. Para ambas especies los árboles se tomaron a lo largo y ancho del rodal y todas las muestras de acículas y conos corresponden al último tercio de altura del árbol.

Las variables morfológicas y anatómicas evaluadas fueron: largo (LAC) y ancho (AAC) de acículas, para esto se tomaron de diez ramillas por árbol y se midió la más larga. El número de hileras de estomas fue determinado a partir de la rehidratación de las acículas con alcohol etílico al 70 % por 24 horas y se determinó en la parte media del haz (NHEH) y del envés (NHEE), el número de estomas (NE1M) en la parte media de la hoja en una sección lineal de 1 mm. En la sección transversal de las acículas se determinó el número de canales resiníferos (NCR), el diámetro del ducto del canal resinífero (DCR) así como el diámetro del haz vascular (DHV). En el lado de la posición del canal se tomó la longitud lateral al lado de la posición del canal resinífero (DI) y la distancia desde la esquina lateral (ángulo) al centro del canal resinífero (d). Además, para ambas especies en el análisis de las acículas se evaluó la continuidad de los canales resiníferos, seccionando una acícula aleatoria por árbol a cada milímetro (mm), y clasificándola en grados de continuidad o discontinuidad.

Asimismo, en cada una de las poblaciones de *Picea* se evaluaron 10 conos cerrados por árbol para un promedio de la longitud del cono (LC), y del diámetro del cono en la sección más ancha (AC) y en cada cono se midieron 10 escamas centrales a las cuales se promediaron el largo (LAE), ancho de la escama (AE), grosor (GRE) y longitud de la escama libre (LEL) en milímetros.

Se evaluaron 20 semillas por árbol, seleccionadas al azar, en las que se determinó el promedio de la longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), longitud del ala (LA), y ancho del ala (AA).

#### 1.2.1.1. Análisis biométrico

Con el propósito de examinar las relaciones entre las variables morfo-anatómicas sobre la variación total de la especie se empleó un análisis de componentes principales reduciendo el número de variables necesarias para explicar la variación, para ello se prefijó tantos componentes principales como aquellos con autovalores mayores que uno y que explicaran más del 60 % de la variación.

Además, se empleó un análisis discriminante con el objetivo de determinar dentro del grupo de las variables cuales contribuyen a la diferenciación de cada población y si a nivel morfo-anatómico se establecían grupos asignables a las poblaciones geográficas. Este análisis permite además, determinar la pertenencia de cada árbol a un grupo (población) en función de las variables. En ambos análisis se utilizaron las herramientas del paquete estadístico SPSS versión 19.

#### 1.2.2 Indicadores reproductivos

Cinco meses previo a la colecta se realizó una inspección a la producción de conos en las poblaciones de *P. mexicana* y *P. martinezii* para su posteriormente colecta en octubre - noviembre de 2006. Los árboles colectados se seleccionaron de acuerdo a características fenotípicas deseables: árboles de diámetro mayor de 20 cm, rectitud con calificación superior a 3 de una escala de 0 a 5 (0= torcidos, 1=fuertemente curvados, 2=medianamente curvados, 3= ligeramente curvados con curvatura inferior en la parte

media del fuste, 4=ligeramente curvados con curvatura inferior en el último tercio del árbol, 5=totalmente recto), dominante o codominante y con presencia de conos. El muestreo de los árboles se llevó a cabo considerando una distancia entre árbol mayor o igual a 50 m para reducir la probabilidad de parentesco entre ellos. El número de árboles seleccionados en *P. mexicana* por población fue de 24 a 29 y el número de conos por árbol fue de 10 conos, mientras que en *P. martinzii* el número de árboles seleccionados por población varió de ocho a 13 y el número de conos por árbol de cinco a 10. Los conos colectados se dejaron secar a temperatura ambiente durante un mes. La extracción de las semillas del cono se realizó con apoyo de un desarmador. En cada escama extraída por cono se realizó la evaluación de óvulos abortados, número de semillas llenas, número de semillas vanas y número de escamas fértiles, de acuerdo a la metodología de Bramlett *et al.* (1977).

Para la determinación del peso seco del cono, primero se acomodaron las bolsas con las escamas del cono en una estufa, por un periodo de 12 h a  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Posteriormente se sacaron las bolsas de la estufa, se pesaron las escamas de los conos en una balanza electrónica OHAUS con precisión 0,01g.

Las variables reproductivas evaluadas de conos y semillas fueron: longitud del cono, peso seco del cono, número de escamas fértiles, proporción de óvulos abortados (número de óvulos abortados entre número de escamas fértiles por dos), proporción de semillas vanas (número de semillas vanas entre número de escamas fértiles por dos), proporción de semillas llenas (número de semillas llenas entre número de escamas fértiles por dos), peso de 100 semillas llenas de un árbol como el tamaño de la semilla. Además, como

indicadores de producción de semillas se determinó: eficiencia de semilla = proporción de semillas llenas, eficiencia reproductiva solo se calculó para *P. mexicana* como la relación entre peso de semillas llenas por cono/peso del cono seco (Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005), potencial de semillas = escamas fértiles por dos (Bramlett *et al.*, 1977) e índice de endogamia como la relación entre proporción de semillas vanas entre total de semillas (Mosseler *et al.*, 2000).

Para evaluar el posible efecto de la endogamia en las poblaciones se estableció un ensayo de germinación, en el cual se separó la semilla de cada árbol por población y se trataron Nitrato de Potasio ( $\text{KNO}_3$ ) al 0,2% durante 24 horas para *P. mexicana*, y para *P. martinezii* se aplicó peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) en concentración del 3% por una hora; ambos fueron aplicados como tratamientos pregerminativos. Posteriormente, se colocaron en la cámara germinadora con una temperatura controlada de 25°C, aplicando riego cada tercer día. La evaluación se realizó a los 28 días de establecido el ensayo y se determinó porcentaje: de germinación, de semillas no germinadas, plántulas anormales, semillas podridas. Las evaluaciones de plántulas anormales se hicieron de acuerdo a las reglas del ISTA (1979) y AOSA (1992).

#### 1.2.2.1 Análisis biométrico

Se realizó un análisis de varianza de efectos mixtos con el objetivo de determinar si existían diferencias entre las poblaciones. Cuando hubo diferencias con el ANOVA se procedió a realizar la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de separación de medias y con el apoyo de Proc Mixed de SAS de acuerdo al siguiente modelo (Snedecor y Cochran, 1981; Sit, 1995; Littell *et al.*, 1996).  $Y_{ijk} = \mu + L_i + A_{j(i)} + \varepsilon_{k(ij)}$ , dónde:

$Y_{ijk}$  = Valor observado de la característica en la k-ésima muestra del j-ésimo árbol en la i-ésima localidad.

$\mu$  = Valor promedio de la característica.

$L_i$  = Efecto aleatorio de la i-ésima población.

$A_{j(i)}$  = Efecto aleatorio del j-ésimo árbol dentro de la i-ésima población.

$\varepsilon_{k(ij)}$  = Error aleatorio de muestreo dentro de árboles.

### 1.2.3 Variación y estructura genética de las poblaciones *Picea martinezii*

Se colectaron conos de *P. martinezii* a ocho, 16, 12 y 13 árboles en las cuatro poblaciones: Agua Fría, Agua Lardín, El Butano y La Encantada, respectivamente. Las semillas fueron germinadas en cajas Petri, y cuando las radículas emergieron, los megagametofitos (haploide) y embriones (diploide) fueron separados, para la correcta identificación de los genotipos y se analizaron con marcadores isoenzimáticos.

Se utilizaron técnicas de electroforesis en gel de almidón basado en la metodología de Conkle *et al.* (1982) para los siguientes sistemas enzimáticos: Acotinasa 1 (ACO; E.C.4.2.1.3), Ácido fosfatasa 1 (ACP, E.C. 3.1.3.2), Alcohol deshidrogenasa 1 (ADH; E.C. 1.1.1.1), Catalasa 1,2 (CAT; E.C. 1.11.1.6), Fluorescente esterasa 1 (FEST; E.C. 3.1.1.1), Glutamato deshidrogenasa 1 (GDH; E.C. 1.4.1.3), Transaminasa Glutámico-oxalacética 1, 2, 3 (GOT; E.C.2.6.1.1), Isocitrato deshidrogenasa 1, 2 (IDH; E.C. 1.1.1.42), Leucina aminopeptidasa 1, 2 (LAP; E.C. 3.4.11.1), Malato deshidrogenasa 1, 2, 3, 4, 5 (MDH; E.C. 1.1.1.37), Malato deshidrogenasa, oxaloacetato descarboxilante 1 (ME; E.C. 1.1.1.40), Menadiona reductasa 1 (MNR; E.C. 1.6.99.2), 6- Fosfogluconico deshidrogenasa 1, 2

(6PG; E.C. 1.1.1.44), Fosfogluco-isomerasa 1, 2 (PGI, E.C. 5.3.1.9.), Fosfogluco-mutasa 1 (PGM; E.C. 2.7.5.1), Shikimato dehidrogenasa 1, 2 (SKD; E.C. 1.1.1.25), Triosefosfato isomerasa 1, 2 (TPI; E.C.5.3.1.1) y Glucosa-1-fosfato-uridiltransferasa 1, 2 (UGP; E.C.2.7.7.9). Se determinó los sistemas que eran polimórficos y de éstos el número de alelos por *locus*. Para facilitar la interpretación de los *loci* y sus alelos correspondientes, en cada gel se incluyeron muestras del megagametofito de *Pinus resinosa* Ait., una especie completamente fija para estos *loci*.

#### 1.2.3.1 Análisis biométrico

Se determinaron los elementos de la estructura genética de las poblaciones: P (porcentaje de *loci* polimórficos), He (Heterocigosidad esperada), Ho (Heterocigosidad observada); índices de fijación de (Wright 1965) utilizando el programa POPGENE versión 1.31 (Yeh *et al.*, 1999) y el árbol UPGMA fue construido sobre la base de las distancias de Nei (1978) entre poblaciones usando el mismo programa.

#### 1.3 Líneas de conservación para las poblaciones de *Picea*

Se analizó el estatus jurídico y organización institucional, se consultaron las instituciones relacionadas con la conservación y manejo de especies como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), estas tres últimas instituciones son dependientes de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La información obtenida fue acerca de la estructura y funcionamiento, la legislación relacionada a especies en riesgo y procedimientos, apoyos, planes y convenios.

Además, para la elaboración de la propuesta se consideró la información obtenida de la caracterización ecológica, la variación morfo-anatómica y de la estructura genética de las poblaciones de *P. mexicana* evaluado por Ledig *et al.* (2002) y para *P. martinezii* obtenidos en este estudio y los resultados de los hábitats potenciales para ambas especies bajo escenarios de calentamiento global (Ledig *et al.*, 2010).



**CAPÍTULO 2. ECOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE *Picea mexicana* y  
*Picea martinezii***

## CAPÍTULO 2. ECOLOGÍA DE LAS POBLACIONES DE *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

### 2.1 Ecología de las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

#### 2.1.1 *Picea mexicana*

Las localidades que comprenden las poblaciones de *Picea mexicana* se distribuyen de la siguiente manera: población El Mohinora en el Cerro El Mohinora, Guadalupe y Calvo, Estado de Chihuahua y fisiográficamente se localiza en la subprovincia Gran Meseta y Cañones Duranguenses dentro de la provincia Sierra Madre Occidental (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990), se caracteriza por ubicarse a una altitud que varía entre los 2 950 a 3 141 msnm, con pendientes que van desde 10% al 70% con exposición dominante Norte (N) y con menor frecuencia Noreste (NE).

Las poblaciones El Coahuilón perteneciente a Cerro El Coahuilón, Arteaga – Estado de Coahuila y La Marta en el Cerro La Marta, Rayones-Estado de Nuevo León; se encuentran fisiográficamente ubicadas en la Subprovincia Gran Sierra Plegada dentro de la Provincia Sierra Madre Oriental (Cervantes-Zamora *et al.*, 1990) a altitudes que van de los 3 100 a los 3 520 msnm, pendientes que van del 30 al 105% y exposición dominante norte (N).

La unidad de suelo dominante en las poblaciones de *Picea mexicana* corresponde al tipo litosol con textura media. El litosol se caracteriza por estar formado por roca madre o suelo con menos de 10 cm de profundidad alcanzando el caliche duro, y son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Tienen características muy variables, dependiendo del material madre y pueden ser fértiles o infértiles, pudiendo sostener cualquier tipo de vegetación (FAO-UNESCO, 1990). En este tipo de suelo, los árboles de *Picea* son propensos a afectarse como resultado de la erosión

debido a las fuertes pendientes que presentan las áreas de sus poblaciones, sumando a la presencia de incendios forestales aumenta el riesgo de erosión.

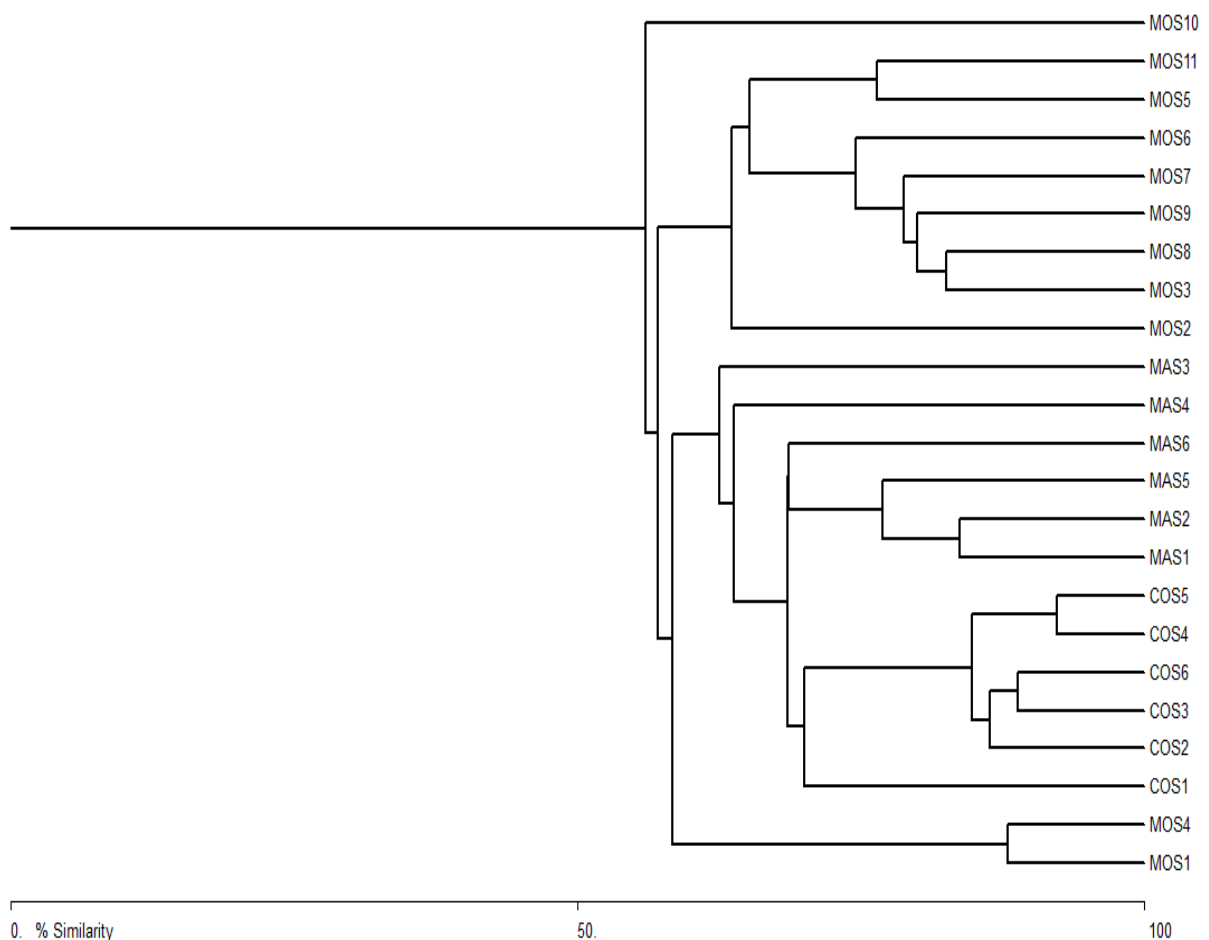
El clima donde *P. mexicana* se desarrolla implica condiciones de temperaturas bajas en los periodos de invierno y con exposición N donde en gran parte del tiempo hay neblina, nieve y/o granizo como porcentaje de lluvia invernal. Las poblaciones La Marta y El Coahuilón presentan un clima semifrío, sub-húmedo con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente bajo 22°C. Precipitación en el mes más seco es menor de 40 mm; lluvia de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 10,2% del total anual, lo que para ambas poblaciones el tipo climático correspondiente es Cb' (w1) x' (UNAM, 1970; García, 1988; SMN, 2008a).

El Mohinora en cambio tiene un clima templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C, la temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y la temperatura del mes más caliente bajo 22°C. La precipitación del mes más seco es menor de 40 mm; las lluvias de verano y porcentaje de precipitación invernal es mayor al 10,2% del total anual (García, 1988; SMN, 2008b).

La flora asociada a las tres poblaciones de *Picea mexicana*, está integrada por 11 especies, seis géneros en tres familias (Anexo 1), los géneros compartidos en las tres poblaciones son *Pseudotsuga* y *Pinus*, este último con el mayor número de representantes (cuatro especies).

El análisis de conglomerados muestra que existe gran similitud entre la flora asociada en cada población, pero se agruparon fundamentalmente en dos grupos uno perteneciente a

las parcelas de la población El Mohinora (Sierra Madre Occidental) y otro que contiene a las parcelas de las poblaciones de la Sierra Madre Oriental donde se distinguen las parcelas de la población El Coahuilón y La Marta (Figura 2).



Leyenda: MO= El Mohinora, MA= La Marta, CO= El Coahuilón. S1....Sn, hace referencia al número de parcela

Figura 2. Dendrograma, clasificación de las parcelas y las poblaciones de *Picea mexicana*

La Marta está representada por un bosque subalpino asociado de *Abies-Pseudotsuga-Picea* lo cual coincide con lo descrito por Colinvaux (1982), Cornejo (1987) y Braham (1995). Esta está representada por seis especies, de la familia Pinaceae cuatro especies:

*Pinus rudis*, *Abies vejari*, *Pseudotsuga menziesii* y *Picea mexicana* y por elementos de angiospermas como *Populus tremuloides* y *Sambucus sp.* El bosque que contiene esta población tiene características similares El Coahuilón solo que varía en los rangos altitudinales que son 2 800 – 3 400 msnm. En esta área existen elementos endémicos y protegidos por NOM-059-SEMARNAT-2010: *Abies vejari* (A: amenazada), *Pseudotsuga menziesii* (Pr: Protección especial) y *Picea mexicana* (P: en peligro de extinción).

La población El Coahuilón está constituida por una asociación de *Pinus-Picea-Pseudotsuga*, que presenta una condición especial de exposición estrictamente al Norte, pendiente superior al 40%, una altitud mayor de 3 000 msnm, vientos de componente norte secos que imponen condiciones de sequía. Por esta razón, esta población pertenece al bosque subalpino mixto con elementos de *Pinus rudis*, *Picea mexicana* y *Pseudotsuga menziesii*.

La presencia de esta asociación con *Pinus rudis* donde sobresale éste por su dominancia y abundancia se debe fundamentalmente a la poca actividad de aprovechamiento conforme a las normas de manejo forestal, lo que no es usual para este tipo de formación. Otro rasgo característico de esta población es la presencia de elementos de Fagaceae y *Pinus culminicola* que no alcanzan los 5 cm al  $D_{1.30}$ . En la población El Coahuilón, además de *Picea mexicana* (P) hay otra especie que se encuentran dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 en estatus de riesgo: *Pseudotsuga menziesii* (Pr).

El Mohinora corresponde únicamente a la Sierra Madre Occidental, se encuentra representado por un bosque subalpino asociado de *Abies-Picea-Pseudotsuga*, donde se desarrollan ocho especies de las cuales tres son del género *Pinus*: *Pinus arizonica*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus cooperi* y *Abies durangensis*. Esta población tiene exposición

estrictamente norte, pendientes del 15% al 70% una altitud entre 2 800 a 3 300 msnm, al estar en sotavento tiene grandes aportes de humedad que hace que hayan elementos de *Pinus ayacahuite*, *Populus tremuloides* y *Salix paradoxa* que reflejan condiciones de alta humedad. Las especies en estatus de protección por la NOM-059-SEMARNAT-2010, son *Pseudotsuga menziesii* (Pr) y *Picea mexicana* (P).

La estructura del bosque asociado a las poblaciones de *Picea mexicana* se caracteriza por la presencia de este taxón como una de las especies de mayor IVIE (Tabla 2) debido a su abundancia, frecuencia y dominancia. En La Marta sobresalen en abundancia las especies de *Abies vejari* Martínez y *Picea mexicana* respectivamente, esta condición se asemeja a la población que se encuentra en el El Cerro El Mohinora (El Mohinora), con la diferencia en la especie del género *Abies* que se asocia.

En el El Coahuilón la abundancia se concentró en *Pinus rudis* y *Picea mexicana*, respectivamente (Tabla 2), este patrón de mayor abundancia y dominancia de *Pinus rudis* no es común en este tipo de vegetación, donde el género *Pinus* por lo general presenta valores bajos de abundancia, lo cual pudiera estar debido a bajas densidades en este bosque que facilitan el establecimiento de especies heliófilas como los pinos. De forma general, los valores mayores de IVIE corresponden a especies tolerantes a la sombra (La Marta y El Mohinora) y que a la vez son especies clímax de esta formación, lo que indicaría cierto grado de conservación del bosque natural (Spurr y Barnes, 1982; McDonald, 1993). Aunque, en El Mohinora y La Marta se aprecian especies pioneras como *Populus tremuloides* y especies del género *Pinus* y *Sambucus sp.*, podría asociarse a la dinámica post incendio. La presencia de una mayor competencia con otras especie, la estrategia de

germinación con mecanismos de postmaduración de la semilla y los problemas asociados a la reproducción (alta endogamia; Tabla 15) y su regeneración (ver Tabla 7, 17 y 18) , en las poblaciones El Mohinora y El Coahuilón pudiera explicar el desplazamiento de *Picea mexicana* a valores de IVIE menores. Además, en el caso específico de El Coahuilón el efecto de los sucesivos incendios forestales en los últimos 30 años, corroborado por los estudios dendrocronológicos (González-Tagle *et al.*, 2007; Santillán-Hernández *et al.*, 2010), han provocado la apertura del dosel favoreciendo principalmente la presencia de *Pinus rudis*.

#### 2.1.2 *Picea martinezii*

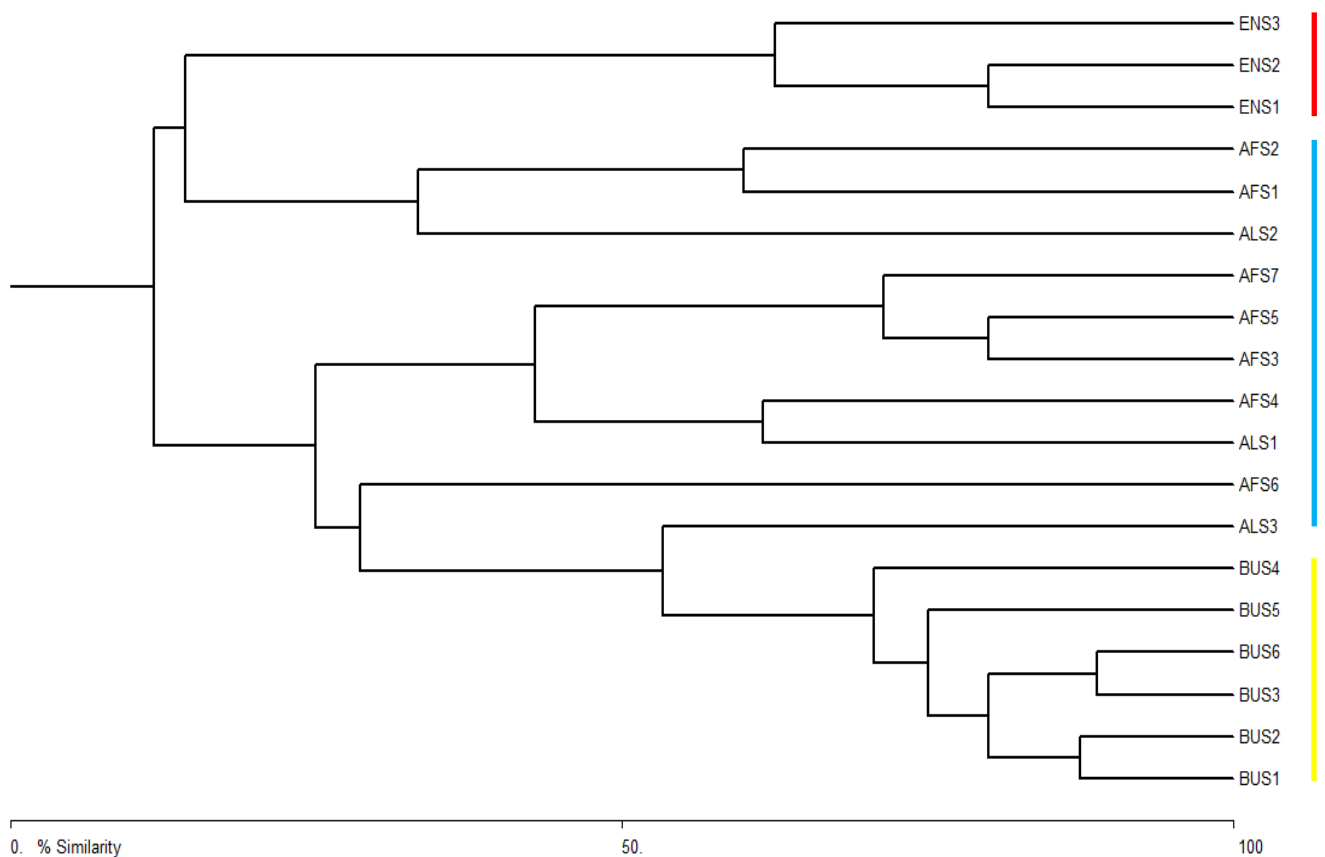
Las cuatro localidades donde se sitúan las poblaciones de *P. martinezii* se encuentran en la Sierra Madre Oriental. La distancia que separa a las poblaciones más alejadas es de 146 Km (El Butano y La Encantada) y las más cercanas se encuentran a solo 2,5 Km (Agua Lardín y Agua Fría). El análisis de conglomerado detectó dos grupos uno que agrupa las parcelas en La Encantada y dos parcelas de Agua Lardín y una de Agua Fría; y otro grupo donde se encuentran las parcelas restantes destacando la similitud entre las parcelas de El Butano (Figura 3).

Tabla 2. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a *Picea mexicana*

Población	Especie	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	G ha <sup>-1</sup>	G%	Fr	Fr%	IVIE
La Marta	<i>Abies vejari</i>	180	42%	5,3567	23,9%	6	25%	90,9%
	<b><i>Picea mexicana</i></b>	<b>74</b>	<b>17%</b>	<b>8,3067</b>	<b>37,2%</b>	<b>6</b>	<b>25%</b>	<b>79,2%</b>
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	93	21%	4,1368	18,5%	5	21%	60,5%
	<i>Pinus rudis</i>	70	16%	4,4828	20,1%	5	21%	57,1%
	<i>Populus tremuloides</i>	13	3%	0,0404	0,2%	1	4%	7,2%
	<i>Sambucus sp.</i>	4	1%	0,0122	0,1%	1	4%	5,1%
	Total	434	100%	22,3356	100%	24	100%	
El Coahuilón	<i>Pinus rudis</i>	154	52%	8,1718	73%	6	43%	168%
	<b><i>Picea mexicana</i></b>	<b>135</b>	<b>46%</b>	<b>2,8403</b>	<b>25%</b>	<b>6</b>	<b>43%</b>	<b>114%</b>
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	6	2%	0,2320	2%	2	14%	18%
	Total	295	100%	11,2441	100%	14	100%	
El Mohinora	<i>Abies durangensis</i>	145	41,1%	6,6803	25,94%	10	23%	90,04%
	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	84	23,8%	8,7042	33,80%	11	25%	82,6%
	<b><i>Picea mexicana</i></b>	<b>101</b>	<b>28,6%</b>	<b>7,2929</b>	<b>28,32%</b>	<b>11</b>	<b>25%</b>	<b>81,92%</b>
	<i>Populus tremuloides</i>	15	4,2%	2,3812	9,25%	6	14%	27,45%
	<i>Pinus arizonica</i>	3	0,8%	0,1313	0,51%	3	7%	8,31%
	<i>Pinus ayacahuite</i>	2	0,6%	0,0060	0,02%	1	2%	2,62%
	<i>Pinus cooperi</i>	2	0,6%	0,5382	2,09%	1	2%	4,69%
	<i>Salix paradoxa</i>	1	0,3%	0,0163	0,07%	1	2%	2,37%
	Total	353	100%	25,7504	100%	44	100%	

N ha<sup>-1</sup>= Número de árboles por hectárea, N ha %= Densidad relativa, G ha<sup>-1</sup>= Área basal por ha (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), G %= Dominancia relativa, Frec= Frecuencia, Frec %= Frecuencia relativa, IVIE= Índice de valor de importancia ecológica





Leyenda: EN= La Encantada, AF= Agua Fría, AL= Agua Lardín, BU= El Butano. S1....Sn, hace referencia al número de parcela

Figura 3. Dendrograma, clasificación de las parcelas y las poblaciones de *Picea martinezii*

*P. martinezii* tienen una distribución en un rango altitudinal que va de los 1 820 msnm en la Agua Fría hasta 2 515 msnm en La Encantada, con pendientes entre 10 - 80% y exposición referencialmente Norte. Los suelos en Agua Fría y Agua Lardín son litosoles con algunas áreas de rendzinas de textura media, en El Butano el suelo es regosol eútrico con áreas pequeñas de litosoles, con una fase lítica y una clase textural fina, en La Encantada los suelos son de tipo luvisol crómico de textura fina con pedregosidad lítica profunda (DETENAL, 1977a, 1978; CETENAL, 1977b).

Agua Fría, Agua Lardín y La Encantada presentan clima templado subhúmedo con temperatura media anual entre 12 a 18°C, la temperatura del mes más frío que va desde -3 a 18° C, y la temperatura del mes más cálido de 22° C. La precipitación en el mes más seco es menor a 40 mm, los índices de lluvias de verano y el porcentaje de lluvia invernal para Agua Fría y La Encantada son iguales, Agua Lardín presenta diferente índice de Precipitación/Temperatura (P/T) de lluvia de verano mayor a los 55. El tipo climático para Agua Fría y La Encantada es C (w1) y Agua Lardín C (w2) (García, 1988; CONABIO, 2004).

Para El Butano, el clima es semicálido subhúmedo (A) C (w1), presenta una temperatura media mayor a 18° C, en el mes más frío la temperatura es menor a 18° C y 22° C en el mes más caliente. La precipitación del mes más seco es menor a 40 mm, las lluvias de verano con índices de P/T entre 42,3 y 55, el porcentaje de lluvia invernal se encuentra entre el 5 y 10,2% del anual (García, 1988; CONABIO, 2004).

La flora asociada a las cuatro poblaciones de *Picea martinezii*, está integrada por 28 especies de 19 géneros (Anexo 2), los géneros compartidos en las cuatro localidades son *Abies*, *Pinus* y *Quercus* éstos últimos con el mayor número de representantes.

Las poblaciones de *P. martinezii* se encuentran formando parte del Bosque Mesófilo de Montaña (BMM), como elementos frecuentes se hayan *Liquidambar styraciflua* y los géneros *Carpinus*, *Cornus*, *Tilia* (Valdez et al., 2003) (Tabla 3-6; Anexo 2). *Picea martinezii* es una novedad en este tipo de vegetación ya que dentro de las especies mencionadas para los BMM en México por Rzedowski (1996, 2006) no aparece este género, lo que constituye un nuevo registro para esta formación en México, coexistiendo tanto elementos meridionales como boreales (Martin y Harrell, 1957; Rzedowski, 1996).

Tabla 3. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a *Picea martinezii*, población Agua Fría

Especies	N ha <sup>-1</sup>	N ha %	G ha <sup>-1</sup>	G %	Frec	Frec %	IVIE
<i>Picea martinezii</i>	99	25,1%	4,2998	24,7%	7	14,9%	64,3%
<i>Abies sp</i>	70	17,7%	2,2389	12,8%	5	10,6%	41,0%
<i>Quercus laurina</i>	40	10,1%	2,9834	17,1%	3	6,4%	33,5%
<i>Fagus grandifolia ssp. mexicana</i>	20	5,1%	3,1931	18,3%	4	8,5%	31,7%
<i>Ilex rubra</i>	52	13,2%	1,2382	7,1%	4	8,5%	28,8%
<i>Taxus globosa</i>	19	4,8%	0,3834	2,2%	5	10,6%	17,4%
<i>Carpinus caroliniana</i>	19	4,8%	0,6331	3,6%	4	8,5%	16,8%
<i>Carya ovata</i>	29	7,3%	0,3761	2,2%	2	4,3%	13,7%
<i>Pinus estevezii</i>	15	3,8%	0,5327	3,1%	3	6,4%	13,1%
<i>Liquidambar styraciflua</i>	6	1,5%	0,8291	4,8%	2	4,3%	10,4%
<i>Sambucus nigra</i>	15	3,8%	0,0883	0,5%	2	4,3%	8,5%
<i>Tilia americana</i>	1	0,3%	0,2123	1,2%	1	2,1%	3,6%
<i>Crataegus baroussana</i>	4	1,0%	0,0507	0,3%	1	2,1%	3,4%
<i>Arbutus xalapensis</i>	3	0,8%	0,0688	0,4%	1	2,1%	3,2%
<i>Quercus greggii</i>	1	0,3%	0,1335	0,8%	1	2,1%	3,1%
<i>Quercus sp.</i>	1	0,3%	0,1085	0,6%	1	2,1%	3,0%
<i>Prunus serotina</i>	1	0,3%	0,0599	0,3%	1	2,1%	2,7%
Total	395	100%	17,4298	100%	47	100%	

N ha<sup>-1</sup>= Abundancia por hectárea, N ha %= abundancia relativa por hectárea, G ha<sup>-1</sup>= área basal por hectárea (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), G %= dominancia relativa, Frec= frecuencia, Frec %= frecuencia relativa, IVIE= índice de valor de importancia

Tabla 4. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a *Picea martinezii*, población Agua Lardín

<b>Especies</b>	<b>N ha<sup>-1</sup></b>	<b>N ha %</b>	<b>G ha<sup>-1</sup></b>	<b>G %</b>	<b>Frec</b>	<b>Frec %</b>	<b>IVIE</b>
<i>Quercus sideroxyla</i>	95	18,3%	9,5041	28,1%	1	5%	51,3%
<b><i>Picea martinezii</i></b>	<b>41</b>	<b>7,9%</b>	<b>5,1577</b>	<b>15,2%</b>	<b>3</b>	<b>15%</b>	<b>38,1%</b>
<i>Ilex rubra</i>	66	12,7%	1,3094	3,9%	2	10%	26,6%
<i>Abies sp</i>	50	9,6%	2,0842	6,2%	2	10%	25,8%
<i>Pinus teocote</i>	38	7,3%	3,5308	10,4%	1	5%	22,7%
<i>Fagus grandifolia ssp. mexicana</i>	38	7,3%	2,9091	8,6%	1	5%	20,9%
<i>Tilia americana</i>	20	3,8%	1,8509	5,5%	2	10%	19,3%
<i>Quercus sp.</i>	38	7,3%	2,1807	6,4%	1	5%	18,7%
<i>Carpinus caroliniana</i>	35	6,7%	0,6116	1,8%	1	5%	13,5%
<i>Pinus estevezii</i>	18	3,5%	1,5807	4,7%	1	5%	13,1%
<i>Cornus florida ssp. urbiniana</i>	28	5,4%	0,7546	2,2%	1	5%	12,6%
<i>Arbutus xalapensis</i>	10	1,9%	1,5498	4,6%	1	5%	11,5%
<i>Quercus laeta</i>	25	4,8%	0,3588	1,1%	1	5%	10,9%
<i>Taxus globosa</i>	10	1,9%	0,4531	1,3%	1	5%	8,3%
<i>Sambucus nigra</i>	8	1,5%	0,0398	0,1%	1	5%	6,7%
<b>Total</b>	<b>520</b>	<b>100%</b>	<b>33,8754</b>	<b>100%</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>	

N ha<sup>-1</sup>= Abundancia por hectárea, N ha %= abundancia relativa por hectárea, G ha<sup>-1</sup>= área basal por hectárea (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), G %= dominancia relativa, Frec= frecuencia, Frec %= frecuencia relativa, IVIE= índice de valor de importancia

Tabla 5. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a *Picea martinezii*, población El Butano

<b>Especies</b>	<b>N ha<sup>-1</sup></b>	<b>N ha %</b>	<b>G ha<sup>-1</sup></b>	<b>G %</b>	<b>Frec.</b>	<b>Frec %</b>	<b>IVIE</b>
<i>Abies duranguensis</i> var. <i>coahuilensis</i>	178	19,6%	6,4208	21,8%	6	12%	53,4%
<i>Ilex rubra</i>	132	14,5%	5,5808	19,0%	6	12%	45,5%
<b><i>Picea martinezii</i></b>	<b>108</b>	<b>11,9%</b>	<b>6,0202</b>	<b>20,5%</b>	<b>6</b>	<b>12%</b>	<b>44,3%</b>
<i>Sambucus nigra</i>	187	20,5%	1,5934	5,4%	5	10%	36,0%
<i>Juglans mollis</i>	73	8,0%	2,7461	9,3%	6	12%	29,4%
<i>Taxus globosa</i>	93	10,2%	1,4193	4,8%	6	12%	27,0%
<i>Quercus</i> sp.	33	3,6%	3,1554	10,7%	4	8%	22,4%
<i>Garrya laurifolia</i> ssp. <i>macrophylla</i>	40	4,4%	0,7124	2,4%	2	4%	10,8%
<i>Crataegus baroussana</i>	21	2,3%	0,7055	2,4%	3	6%	10,7%
<i>Carpinus caroliniana</i>	23	2,5%	0,3245	1,1%	2	4%	7,6%
<i>Prunus serotina</i>	15	1,6%	0,3480	1,2%	2	4%	6,8%
<i>Cornus florida</i> ssp. <i>urbiniana</i>	7	0,8%	0,3937	1,3%	2	4%	6,1%
<b>Total</b>	<b>910</b>	<b>100%</b>	<b>29,4201</b>	<b>100%</b>	<b>50</b>	<b>100%</b>	

N ha<sup>-1</sup>= Abundancia por hectárea, N ha %= abundancia relativa por hectárea, G ha<sup>-1</sup>= área basal por hectárea (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), G %= dominancia relativa, Frec= frecuencia, Frec %= frecuencia relativa, IVIE= índice de valor de importancia

Tabla 6. Estructura e índice de valor de importancia ecológica para las especies asociadas a *Picea martinezii*, población La Encantada

<b>Especies</b>	<b>N ha<sup>-1</sup></b>	<b>N ha %</b>	<b>G ha<sup>-1</sup></b>	<b>G %</b>	<b>Frec</b>	<b>Frec %</b>	<b>IVIE</b>
<i>Abies vejari</i>	283	24,7%	6,6797	22,7%	3	11,1%	58,6%
<i>Pinus ayacahuite</i>	181	15,8%	5,2512	17,9%	3	11,1%	44,8%
<i>Taxus globosa</i>	265	23,1%	1,7391	5,9%	3	11,1%	40,2%
<i>Quercus sp</i>	85	7,4%	7,0958	24,2%	2	7,4%	39,0%
<b><i>Picea martinezii</i></b>	<b>161</b>	<b>14,1%</b>	<b>3,4007</b>	<b>11,6%</b>	<b>3</b>	<b>11,1%</b>	<b>36,8%</b>
<i>Quercus greggii</i>	58	5,1%	3,1236	10,6%	2	7,4%	23,1%
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	20	1,7%	1,0957	3,7%	3	11,1%	16,6%
<i>Quercus laurina</i>	40	3,5%	0,7746	2,6%	2	7,4%	13,5%
<i>Pinus teocote</i>	18	1,6%	0,0981	0,3%	3	11,1%	13,0%
<i>Carpinus caroliniana</i>	18	1,6%	0,0670	0,2%	1	3,7%	5,5%
<i>Arbutus xalapensis</i>	8	0,7%	0,0191	0,1%	1	3,7%	4,5%
<i>Cornus florida ssp. urbiniana</i>	8	0,7%	0,0228	0,1%	1	3,7%	4,5%
<b>Total</b>	<b>1145</b>	<b>100%</b>	<b>29,3674</b>	<b>100%</b>	<b>27</b>	<b>100%</b>	

N ha<sup>-1</sup>= Abundancia por hectárea, N ha %= abundancia relativa por hectárea, G ha<sup>-1</sup>= dominancia área basal por hectárea (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>), G %= dominancia relativa, Frec= frecuencia, Frec %= frecuencia relativa, IVIE= índice de valor de importancia

Agua Fría y Agua Lardín, son dos localidades donde se reportó *P. martinezii* recientemente por Ledig *et al.* (2000a) pero no estudiadas hasta el presente, representan un Bosque Mesófilo de Montaña asociado de *Picea-Abies-Quercus* o *Quercus-Picea-Ilex*, lo cual es un nuevo reporte, pues estos bosques según Rzedowski (1996, 2006) y Alcántara y Luna (2001) los caracterizaban los géneros *Carpinus*, *Carya*, *Cornus*, *Juglans*, *Liquidambar*, *Prunus* y *Quercus*.

Sin embargo, en ellas se observan dos elementos clásicos que reflejan mejores condiciones de humedad de este bosque en Agua Fría y Agua Lardín que son *Fagus* y *Liquidambar*. Es de señalar que por los altos valores del IVIE (dominancia y abundancia) de *Picea martinezii* en estas localidades debería considerar cambios en la clasificación de este tipo de bosque en la Sierra Madre Oriental. En esta área existen elementos protegidos por NOM-059-SEMARNAT-2010: *Carpinus caroliniana* (A), *Cornus florida* ssp. *urbiniana* (Pr) *Pseudotsuga menziesii* (Pr), *Taxus globosa* (Pr), *Tilia americana* (P), *Fagus grandifolia* ssp. *mexicana* (P) y *Picea martinezii* (P).

En este estudio se encontraron dos nuevos registros de *Fagus grandifolia* ssp. *mexicana*, asociados a *P. martinezii* en Agua Lardín y Agua Fría, lo cual es novedoso pues la especie *Fagus grandifolia* ssp. *mexicana* sólo se reportaba en 10 localidades en México condiciones más tropicales (Williams *et al.* 2003) y además constituye un nuevo registro de especie para Nuevo León (Hinton y Hinton, 1995).

En El Butano, por su parte, es similar a las anteriores pero sin los elementos de *Fagus* y *Liquidambar* relacionado con condiciones más secas y de mayor altitud. Mientras que en La Encantada predominan los *Quercus* con tres especies y *Pinus* con dos especies, *Taxus*

*globosa* cuyo IVIE es el tercero mayor, con ausencia de *Fagus*, *Ilex* y *Liquidambar* reflejan condiciones más secas y frías.

De forma general, en las cuatro localidades la presencia de *Taxus globosa* puede ser un elemento importante para estudiar la asociación *Picea martinezii*-*Taxus globosa*.

## 2.2 Estructura de las poblaciones de *Picea*

La distribución por clases diamétricas para la especie *P. mexicana* (Figura 4) no se ajusta al patrón esperado de “J” invertida en poblaciones naturales, podría deberse a continuos procesos de “cuellos botella” que han sufrido estas poblaciones, efectos de reducciones poblacionales por incendios (Ledig *et al.*, 2002; Flores-López *et al.*, 2005), como parte de las sequías y a la presencia de eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) en particular en el Cerro El Mohinora (Cerano-Paredes *et al.*, 2009). Se aprecia que muchas clases diamétricas correspondientes a los individuos reproductivamente viables se encuentran en valores bajos lo cual pudiera representar una limitante para la reproducción de esta especie alógama y por ende en la regeneración de éstas, en particular las poblaciones de La Marta y El Mohinora.

Para la especie *P. martinezii* la situación es más compleja pues en tres de sus poblaciones (El Butano, Agua Lardín y Agua Fría) las clases diamétricas correspondientes a los individuos maduros tienen pocos ejemplares que garanticen la reproducción ya que éstos son los aptos para la propagación (Figura 5). Por ello, la discontinuidad en la distribución por clases diamétricas de las piceas puede dificultar el establecimiento de la regeneración de éstas.



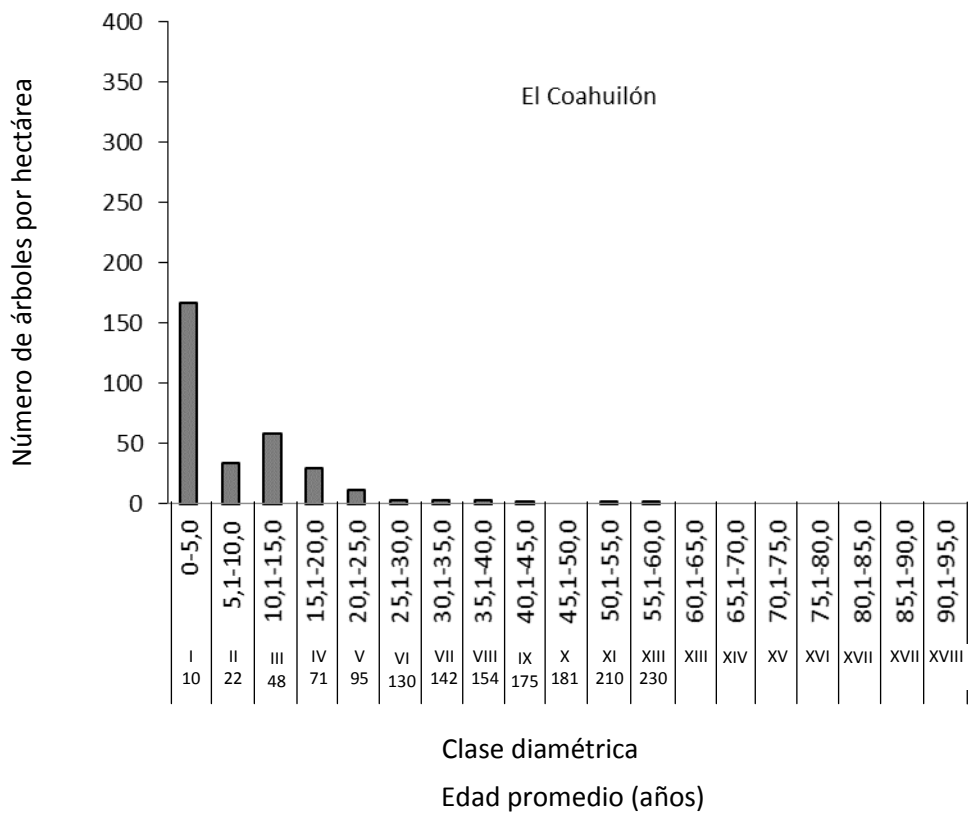
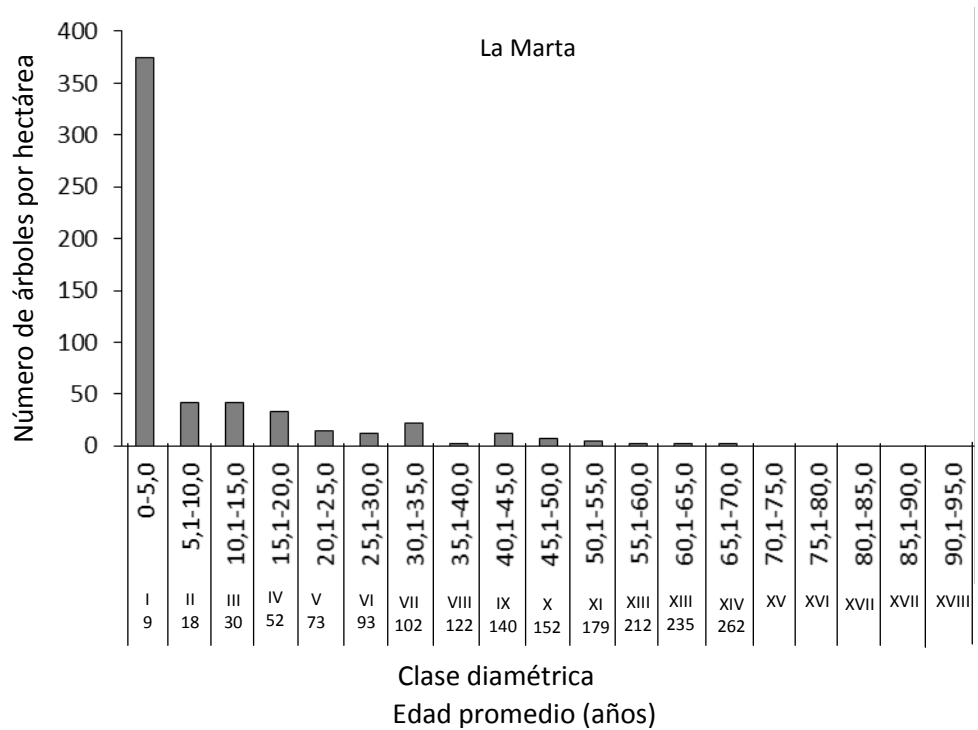


Figura 4. Estructuras diamétricas y edades correspondientes de *Picea mexicana* para La Marta y El Coahuilón

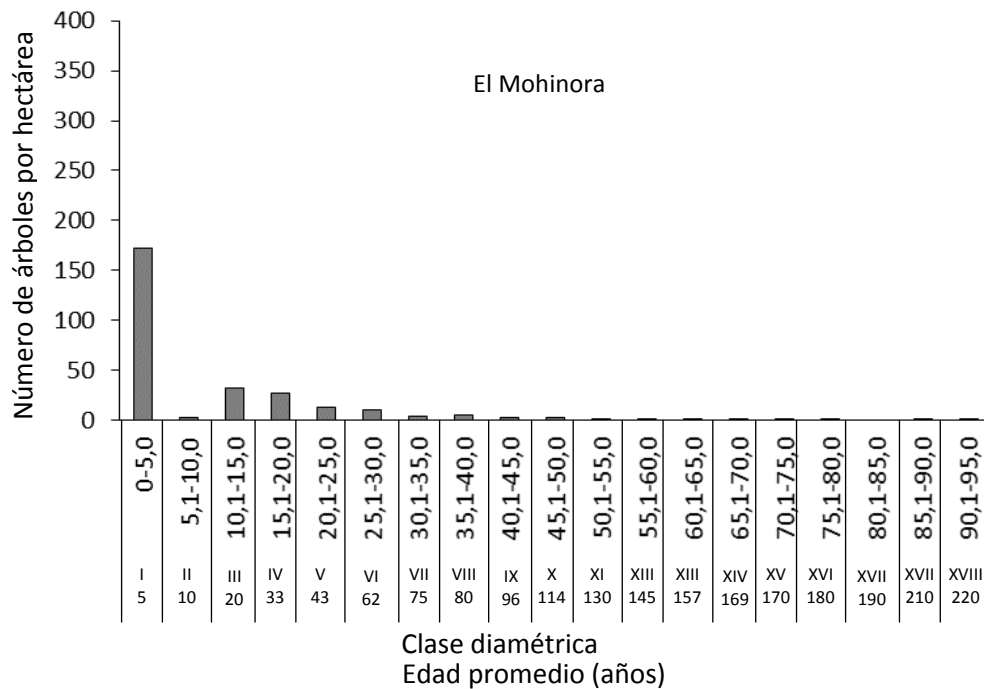


Figura 4 (continuación). Estructuras diamétricas y edades correspondientes de *Picea mexicana* para la población El Mohinora

Alexander y Shepperd (1990) encontraron que en varias piceas y en particular en *Picea engelmannii* la etapa reproductiva se encuentra alrededor de los 15 a 40 años, sin embargo para *P. martinezii* y *P. mexicana* sobre la base de los estudios de crecimiento y fenología, se ha demostrado que dicha etapa se encuentra a los 30 – 150 años de edad correspondientes a diámetros de 15 y 65 cm de  $D_{1.30}$  (Gómez, 2007; López, 2009) lo es una etapa de maduración reproductiva más tardía en comparación con sus congéneres, y esto supone que las poblaciones sean más susceptibles a los efectos por el tamaño efectivo reducido de la población (Frankham *et al.*, 2002) y que en ambas especies es menor de 100 individuos reproductores por población.

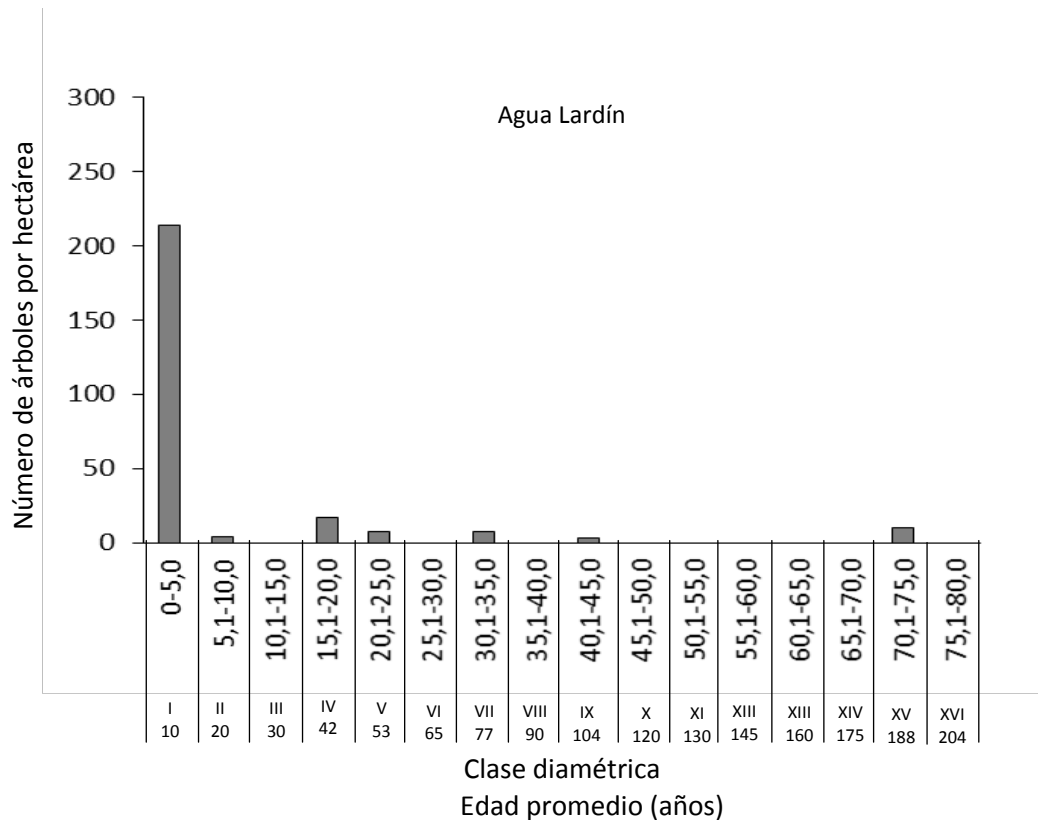
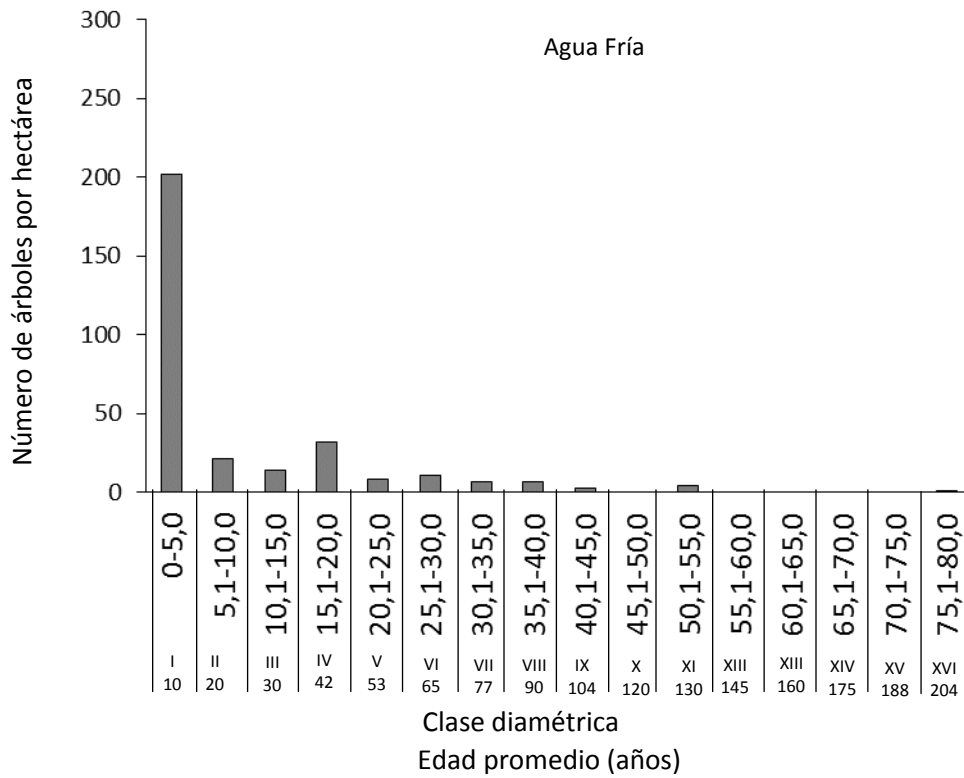


Figura 5. Estructuras diamétricas y edades correspondientes de *Picea martinezii* para las poblaciones Agua Fría y Agua Lardín

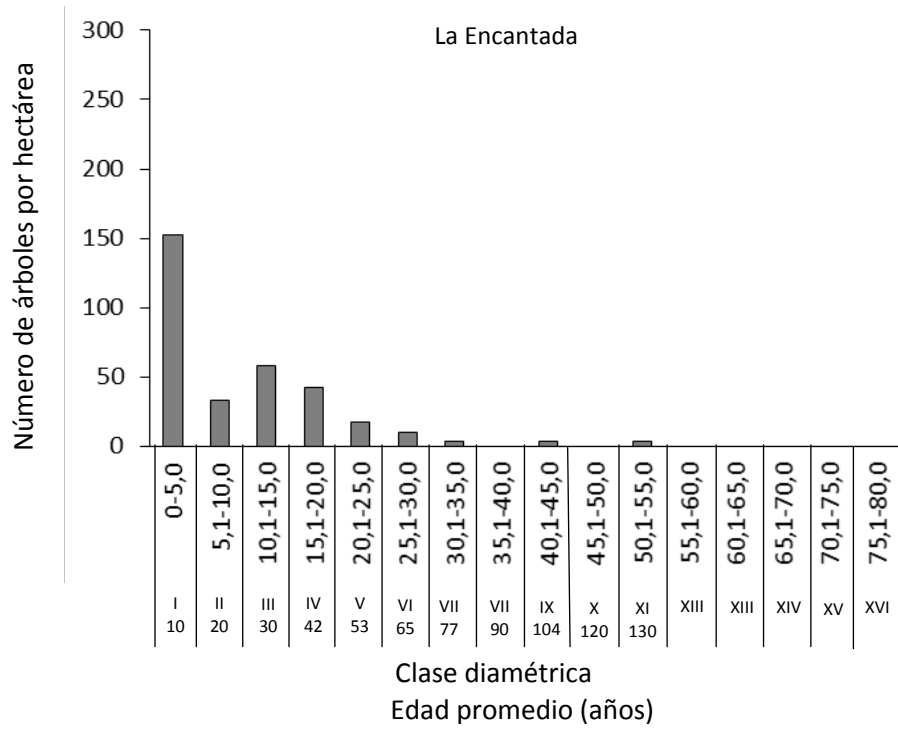
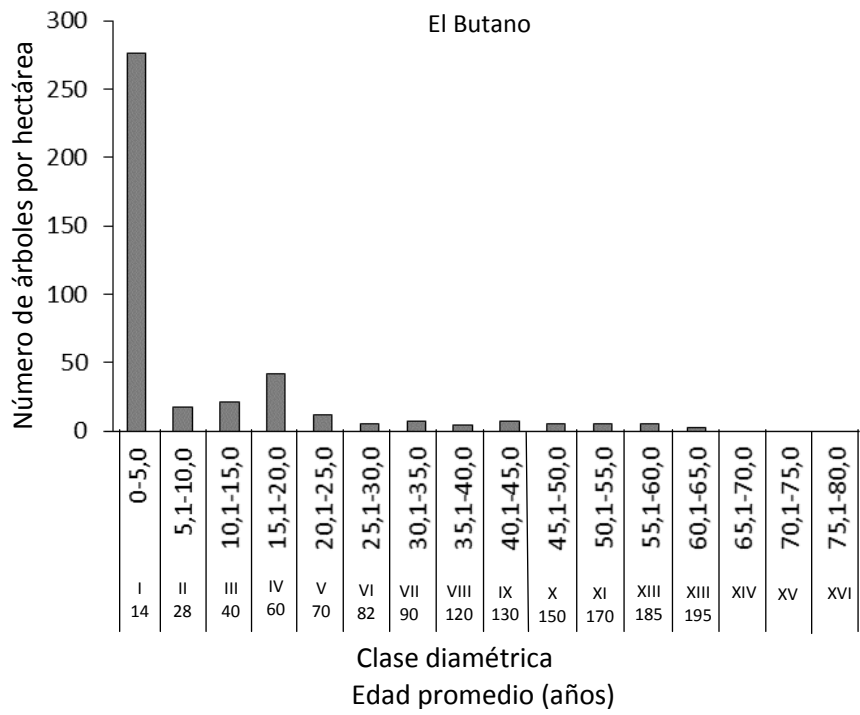


Figura 5 (continuación). Estructuras diamétricas y edades correspondientes de *Picea martinezii* para las poblaciones El Butano y La Encantada

La regeneración en las poblaciones de *Picea* es uno de los elementos críticos a considerar en la conservación (Ledig, *et al.*, 2000a, 2010; Cruz-Nicolás *et al.*, 2008; Katsuki *et al.*, 2011; Ledig, 2012). El gran número de individuos en la clase diamétrica I, menores de 5 cm de  $D_{1.30}$ , pudiera hacer pensar que existe una buena regeneración que reemplazaría a los árboles ya maduros, sin embargo esto puede ser erróneo ya que si se considera el coeficiente plántulas/árboles (P/A) como indicador de proporcionalidad de regeneración (Ledig, 2012) debería ser mayor de 13 (comunicación personal) cuyo valor parece ser muy bajo en especies relictas y fragmentadas como *Picea chihuahuana* (media de 0,59; 0,09-1,47) al igual que las especies en estudio, y más alto en especies que no sufren de contracción poblacional como *P. engelmannii* (Ledig, 2012) y *P. koyamae* (Katsuki *et al.*, 2011). De esta manera, las poblaciones de *Picea mexicana* en El Coahuilón, El Mohinora y en *P. martinezii* de La Encantada estarían en una situación desfavorable (Tabla 7), lo cual pudiera estar asociado a fenómenos de competencia intra o interespecífica y/o de muerte producto de la carga genética de alelos deletéreos (Frankham y Kingsolver, 2004; Sorensen y Miles, 1974; Sorensen y Campbell, 1993).

Estos valores del coeficiente P/A para *P. mexicana* y *P. martinezii* son mayores que los encontrados en *Picea chihuahuana*, sin embargo, son inferiores a los encontrados en algunas piceas de Norteamérica (Ledig *et al.*, 2000a) y piceas asiáticas (Kuuluvainen *et al.*, 1998, Katsuki *et al.*, 2011), por ejemplo, en *Picea rubens* (considerando como límite de regeneración 2,5 cm de  $D_{1.30}$ .) el coeficiente osciló entre 5,24 y 13,34 (Rajona *et al.*, 2000; Oosting y Billings, 1951). Por lo tanto, estos valores obtenidos de coeficiente (P/A) son los más bajos reportados en las poblaciones de ambas especies. Es de señalar que este

coeficiente también puede generar sesgos en las evaluaciones, pues se realiza sobre la base de los individuos cuyos diámetros son mayores de 5 cm y no lo que reproductivamente lo hacen, que estarían por encima para *Picea* de 15 – 65 cm de  $D_{1.30}$  (Ledig *et al.*, 2012).

Tabla 7. Superficie, densidad de árboles (DA, número de árboles/ha, árboles  $\geq 5$  cm de  $D_{1.30}$ ), número de árboles (A,  $\geq 5$  cm de  $D_{1.30}$ ) por población, densidad de plántulas con diámetros  $< 5$  cm de  $D_{1.30}$  (DP, número de plántulas/ha), número de plántulas (P con diámetros  $< 5$  cm de  $D_{1.30}$ ) por población y coeficiente plántulas/árboles (P/A) para las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*.

Población	Superficie (ha)	DA	A	DP	P	Total	P/A
<b><i>Picea mexicana</i></b>							
La Marta	33	74	2 442	375	12 375	14 817	5,068
El Coahuilón	65	135	8 775	167	10 855	19 630	1,237
El Mohinora	17	101	1 717	172	2 924	4 641	1,703
<b><i>Picea martinezii</i></b>							
Agua Fría	35	99	3 465	202	7 070	10 535	2,040
Agua Lardín	15	41	615	214	3 210	3 825	5,220
El Butano	20	108	2 160	276	5 520	7 680	2,556
La Encantada	3	161	483	152	456	939	0,944

Por otra parte, se conoce que estudios en poblaciones grandes de *Picea glauca* (O'Connell *et al.*, 2006) la estimación del tamaño crítico de la población, para escapar de los efectos negativos de la restricciones de polen y la endogamia para el mantenimiento de las poblaciones era de 180 árboles maduros, lo cual hace pensar que las poblaciones de piceas mexicanas están en una situación desfavorable (Figura 4 y 5), pues este valor sería inferior a 100 individuos por población.

**CAPÍTULO 3. VARIACIÓN MORFO-ANATÓMICA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DE *Picea*,  
Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE *Picea martinezii***

**CAPÍTULO 3. VARIACIÓN MORFO-ANATÓMICA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DE *Picea*, Y ESTRUCTURA GENÉTICA DE *Picea martinezii***

3.1 Variación morfo-anatómica en *Picea mexicana*

De acuerdo a los valores de las comunalidades por el bajo aporte a la explicación de la variabilidad total se eliminó la variable GRE (0,401) así como las variables relacionadas con el canal resinífero NCR, DHV, DI, d ya que en la especie dichos canales eran discontinuos y no tenían igual frecuencia por árbol (Figura 6). Los cuatro primeros componentes principales explican más del 67% de la varianza total (Tabla 8). En el primer componente está representado prácticamente por la mayoría de las características morfológicas del cono-escamas, el segundo por los caracteres de la semilla y el ala y el tercero por características anatómicas de las acículas y el cuarto de las acículas (Tabla 9).

Tabla 8. Análisis de la varianza total explicada en *Picea mexicana*

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,687	35,546	35,546	3,328	20,799	20,799
2	2,507	15,668	51,214	3,284	20,527	41,325
3	1,514	9,465	60,679	2,654	16,585	57,911
<b>4</b>	<b>1,154</b>	<b>7,210</b>	<b>67,889</b>	<b>1,597</b>	<b>9,978</b>	<b>67,889</b>

A pesar que la mayoría de los estudios realizados para la descripción morfológica y anatómica de coníferas refieren las características del cono y las anatómicas de las acículas, éstos han usado un reducido número de variables de este tipo; donde han



encontrado variación entre las especies (Weng y Jackson, 2000), pero muy pocos estudios han permitido diferenciar entre poblaciones dentro de una especie. A nivel intrapoblacional, evaluando las características del cono sobresalen los estudios de *Picea chihuahuana* (Prieto, 1992), de *Pseudotsuga sp.* (Reyes et al., 2005), de *Pinus cembroides* (Muñoz, 1995) y de *Pinus chiapensis* (Hernández, 1986). Para las características anatómicas de las acículas, se encuentran los estudios con *Pinus greggii* (Beristáin, 1992), *Pinus chiapensis* (Hernández, 1986), *Pseudotsuga* (Santos, 1998; Reyes et al., 2005) y con *Pinus arizonica* (Rodríguez y Capó, 2005) con un promedio de cinco variables. Sin embargo, estudios donde se combinaran más de 15 variables morfo-anatómicas para evaluar la variación a nivel poblacional en el género *Picea*, no han sido descritos hasta el momento.

Los resultados muestran que las variables morfológicas del primer componente (AE, AC, LAE, LEL, LC) y del segundo (LS, LA, AS, AA) son las mejores para caracterizar las poblaciones de la especie, y éstas y las de anatomía de las acículas (NHEH, NHEE, NE1M, DHV) pudieran ser un instrumento factible para la caracterización de la variación intrapoblacional en *P. mexicana*; así como para la identificación interespecífica de piceas. Por otra parte, conforme a los resultados de los valores de correlación entre las variables y el componente a que están asociadas, podrían usarse una o dos variables dentro de cada componente principal para estudios posteriores, es decir determinar ancho de escama (AE) y ancho del cono (AC) como variables principales de las características del cono. Las variables anatómicas pudieran ser válidas, además, en estudios de adaptación y de

respuesta ante cambios del medio al estar relacionadas con caracteres adaptativos (Johnsen *et al.*, 2005; Reyes *et al.*, 2005; Vilela y Acosta, 2001).

Tabla 9. Matriz de componentes principales rotados para las variables morfológicas y anatómicas para *Picea mexicana*

Variables	Componente			
	1	2	3	4
Ancho de la escama (AE)	<b>0,815</b>	0,172	0,055	0,144
Ancho del cono (AC)	<b>0,786</b>	0,032	-0,004	0,134
Largo de escama (LAE)	<b>0,781</b>	0,359	-0,097	-0,040
Longitud de la escama libre (LEL)	<b>0,716</b>	0,234	-0,130	-0,091
Longitud del cono (LC)	<b>0,708</b>	0,246	-0,065	0,229
Longitud de semilla (LS)	0,144	<b>0,865</b>	-0,164	0,177
Longitud del ala (LA)	0,246	<b>0,861</b>	-0,057	0,035
Ancho de la semilla (AS)	0,209	<b>0,844</b>	-0,198	0,097
Ancho del ala (AA)	0,292	<b>0,756</b>	-0,125	0,112
Número de hileras de estomas en el haz (NHEH)	-0,110	-0,222	<b>0,895</b>	-0,020
Número de estomas en un milímetro (NE1M)	-0,046	-0,158	<b>0,843</b>	-0,189
Número de hileras de estomas en el envés (NHEE)	-0,155	-0,180	<b>0,738</b>	0,096
Diámetro del haz vascular (DHV)	0,211	0,091	<b>0,505</b>	0,357
Ancho de acícula (AAC)	0,094	0,136	-0,285	<b>0,763</b>
Largo de acícula (LAC)	0,109	0,146	0,343	<b>0,757</b>

Los canales resiníferos se clasifican en cuatro tipos en función de su posición en el corte transversal de una acícula: (1) canales en contacto con la hipodermis (externos), (2) canales dentro del parénquima clorofílico (medio), (3) canales en contacto con haz vascular en el parénquima clorofílico (endodermis o endonal) y (4) canales dentro del haz vascular (Fahn, 1990 citado por Sheue *et al.*, 2003) y se reconoce que para el tipo (2) y (3) tienen un control genético y son menos susceptibles a factores ambientales (Sheue *et al.*, 2000). Las variaciones en el número de los canales son el resultado de factores genéticos y

ambientales debido al hábitat donde se desarrollan y evolucionan, de hecho un aumento en la altitud hace variar muchos factores físicos gradualmente como temperatura, presión, luz ultravioleta (UV), viento y lluvia, además de factores relativos a los genotipos, la edad, la altura de los individuos (Telewski *et al.*, 1999; Jinxing *et al.*, 2001). En el caso de *P. mexicana* dichos canales aunque son discontinuos se presentan, generalmente, siguiendo el patrón (2).

El análisis de la continuidad y frecuencia de canales resiníferos en la acícula (Figura 6) muestran que éstos pueden caracterizar las poblaciones de esta especie, en particular la población de El Mohinora donde se presentan en baja frecuencia. Resulta relevante señalar que la especie posee dichos canales resiníferos discontinuos lo cual no coincide con la descripción inicial por Martínez (1961) donde no aparecen descritos éstos, quizás por el alcance limitado de su muestreo en relación a los caracteres diagnósticos y al número de individuos evaluados y además porque estos canales son discontinuos y más comunes en los 5 mm desde la base de la acícula.

La razón por la cual en El Mohinora hayan aparecido menos del 2% de individuos con canales resiníferos pudiera estar asociada a la selección en esa población en contra de los individuos con canales, como respuesta adaptativa al ambiente durante miles de años. En este sentido, la población El Mohinora se encuentra bajo condiciones de mayor humedad y menor aridez, dichos factores en *Picea sitchensis* y *Picea glauca* están asociados a una disminución tanto en la presencia como en el número de canales resiníferos en sus poblaciones reforzado por el efecto de la continentalidad en poblaciones al interior de su área de distribución (O'Neill *et al.*, 2002). Por otro lado, Sheue *et al.* (2003) informa que

en los canales resiníferos de tipo (2) se observa una variación en el número altitudinal en *Pinus taiwanensis*. Asimismo, el canal se localiza en el área que ocupa el parénquima clorofílico de las acículas (Figura 6), con una dimensión aproximada de 280 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), lo que pudiera afectar la fotosíntesis al reducir el área del parénquima, esta variable pudiera resultar de interés para estudios próximos de ecofisiología y adaptación a nivel de especie.

Por otra parte, en estudios sobre características morfo-anatómicas en *Picea* de Norteamérica, Weng y Jackson (2000) para una sola muestra de *P. mexicana* encontraron canales resiníferos solamente en la base, pero éste estudio detecta que dichos canales están concentrados en la base, y más dispersos en la parte media y en el ápice de las acículas, lo cual pudiera usarse como variable para diferenciar poblaciones y la especie, así como carácter diagnóstico de *P. mexicana*.

El análisis de discriminante obtenido con las variables usadas en el análisis de componentes principales final, resultó en dos funciones, la primera función discriminante que explica el 71,5% de la variabilidad (correlación canónica de 0,885) donde generalmente se relacionan variables morfo-anatómicas (Tabla 10) y que más aportan a la diferenciación; y una segunda función que explica el 28,5% (correlación canónica de 0,768) relacionada con variables fundamentalmente de morfología del cono.

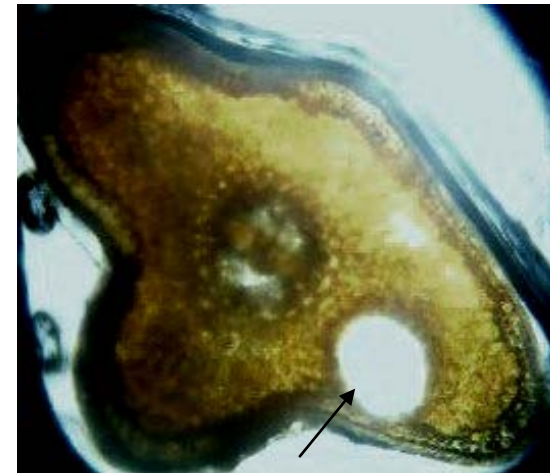
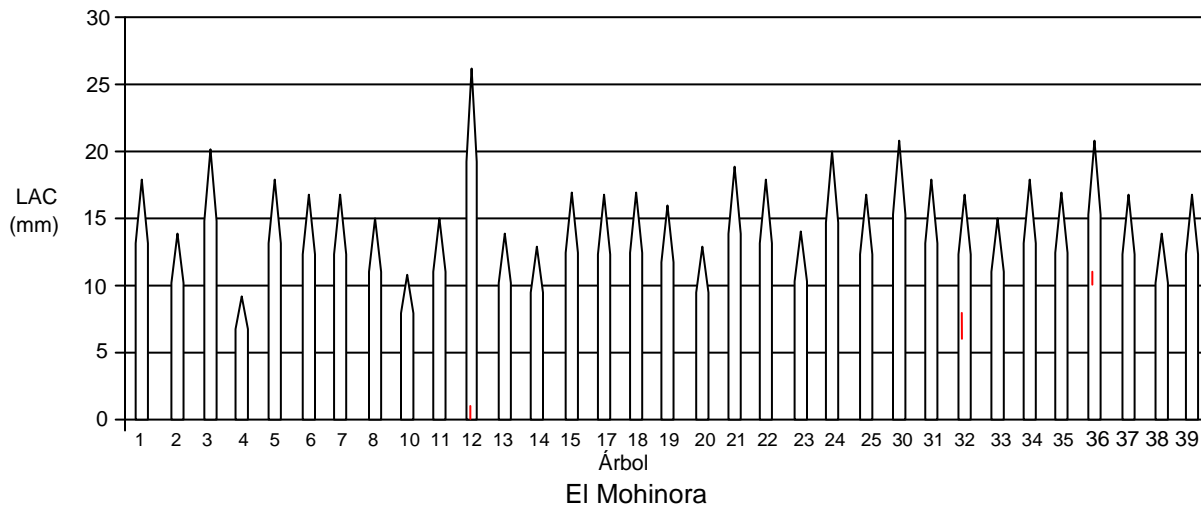
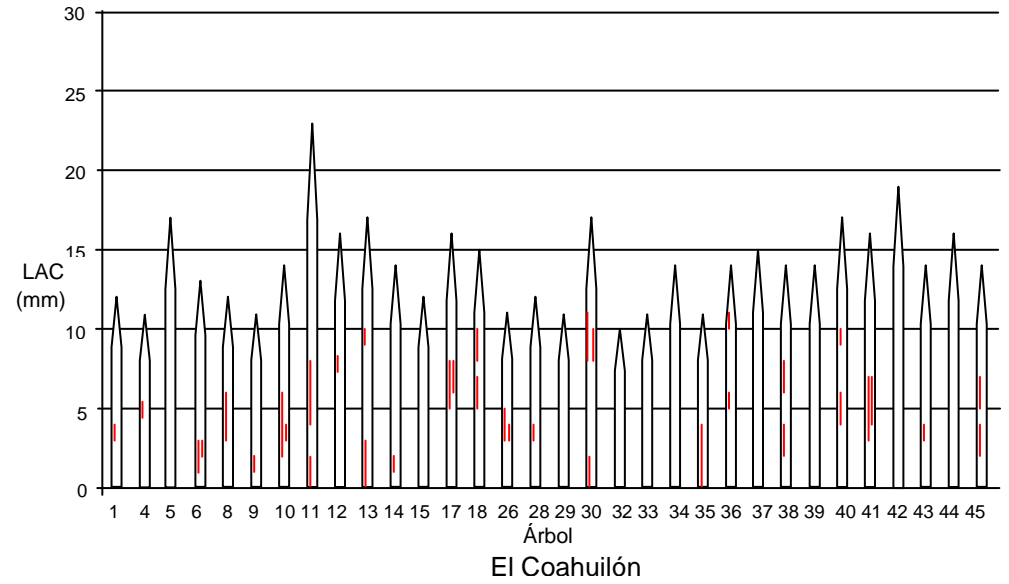
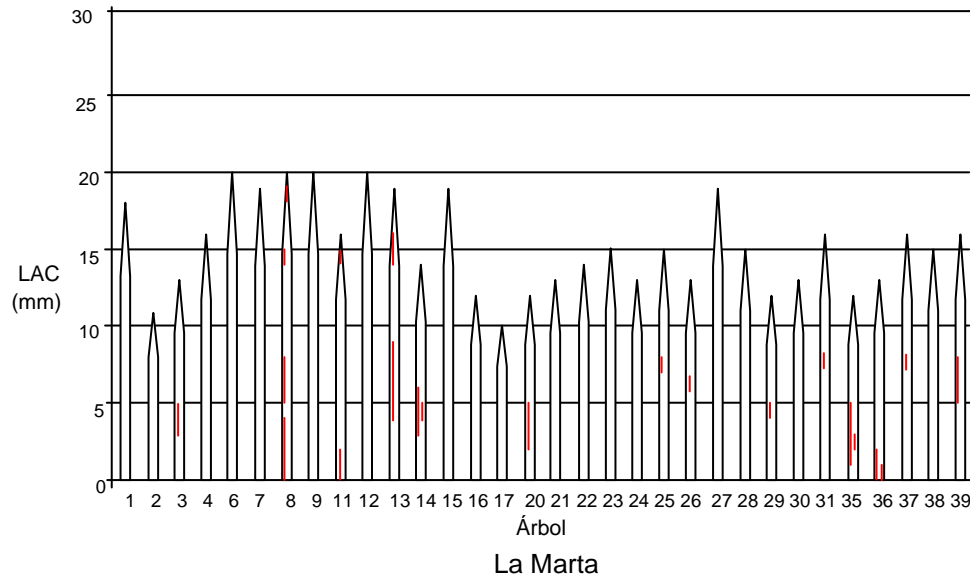


Figura 6. Frecuencia de canales resiníferos en las tres poblaciones de *Picea mexicana* (LAC= Largo de acículas por árbol, representación de una acícula por árbol de *P. mexicana* con presencia de canal resinífero). Sección transversal de la acícula y canal resinífero

El análisis de discriminante logra clasificar correctamente el 96,5% de los casos en los grupos originales (poblaciones), por lo que se puede discriminar cada población a partir de las variables utilizadas (Figura 7). Asimismo, se puede apreciar que la población La Marta nunca comparte ningún caso con las otras dos restantes, a pesar de estar geográficamente cercana a El Coahuilón lo cual resulta sorprendente si se conoce que la distancia aproximada entre la Sierra Madre Occidental (El Mohinora) con la Sierra Madre Oriental es de 800 Km (El Coahuilón y La Marta), mientras que entre El Coahuilón y La Marta solo es 5 Km. Este hecho resultaría paradójico pero pudiera explicarse por la naturaleza de estas variables que muestran un patrón similar porque se hayan adaptado a similares condiciones (bióticas o abióticas) entre El Mohinora y El Coahuilón.

Tabla 10. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para las variables morfológicas y anatómicas de *Picea mexicana*

Variables	Función	
	1	2
Longitud de semilla (LS)	<b>0,691</b>	-0,287
Ancho de la semilla (AS)	<b>0,597</b>	0,101
Longitud del ala (LA)	<b>0,402</b>	-0,200
Ancho del ala (AA)	<b>0,386</b>	0,144
Largo de escama (LAE)	<b>0,354</b>	-0,006
Longitud de la escama libre (LEL)	<b>0,300</b>	0,122
Número de hileras de estomas en el haz (NHEH)	<b>-0,269</b>	-0,228
Número de hileras de estomas en el envés (NHEE)	<b>-0,251</b>	0,063
Número de estomas en un milímetro (NE1M)	<b>-0,231</b>	-0,113
Largo de acícula (LAC)	<b>0,197</b>	0,015
Ancho de la escama (AE)	<b>0,192</b>	0,028
Ancho del cono (AC)	0,246	<b>0,341</b>
Longitud del cono (LC)	0,266	<b>0,309</b>
Ancho de la acícula (AAC)	0,152	<b>-0,178</b>
Diámetro del haz vascular (DHV)	0,072	<b>-0,136</b>

Este resultado coincide parcialmente con Taylor y Patterson (1980) y Taylor *et al.*, (1994) que encontraron diferencias morfológicas dentro y entre El Mohinora y La Marta y donde la variación fue mayor en la población El Mohinora; pero al no incluir El Coahuilón les fue imposible detectar este patrón. Con este estudio queda determinado que existen evidencias morfológicas que sugieren la separación entre las dos poblaciones de la Sierra Madre Oriental.

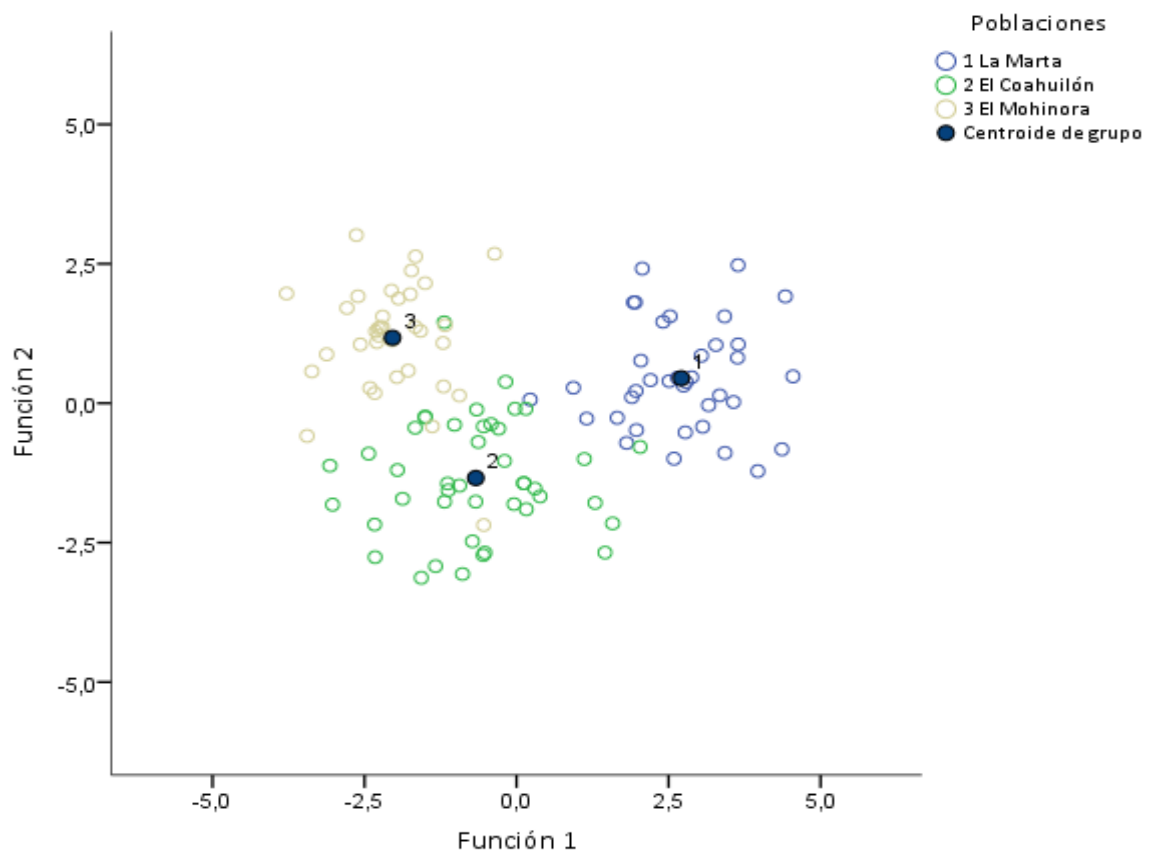


Figura 7. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las poblaciones *Picea mexicana*

Es de destacar que la variable LS y AS son de las más importantes para la discriminación entre poblaciones, esto significa reconocer que existen diferencias entre las poblaciones con respecto al tamaño de las semillas, es decir hay poblaciones con semillas más grandes (La Marta) con relación a las restantes y esto además se relaciona estrechamente con indicadores reproductivos (Tabla 15), donde aparecen sin diferencias significativas con El Coahuilón y El Mohinora. En este sentido, la presencia de semillas más pequeñas pudiera estar relacionado con indicadores reproductivos más bajos asociados a baja densidad de individuos reproductivos en las poblaciones (Figura 4) y patrones de aislamiento entre poblaciones; éstos pueden aumentar la endogamia y la reducción en el tamaño de la semilla, la capacidad germinativa y el desarrollo normal de las plántulas (Sorensen, 1999; Mosseler *et al.*, 2000; Johnsen *et al.*, 2005; Mápula-Larreta *et al.*, 2007; Katsuki *et al.*, 2011).

### 3.2 Variación morfo-anatómica de *Picea martinezii*

De las variables iniciales fueron eliminadas del análisis GRE y DI (por su bajo aporte a la variación) y NCR debido a que se identificaron dos canales resiníferos laterales continuos. A través de los cuatro primeros componentes principales se logra explicar aproximadamente el 69% de la variación (Tabla 11), el primer componente principal está asociado a variables de las características del cono y las semillas (28%), el segundo contiene las características anatómicas y de los canales resiníferos (23,2%), el tercero relacionado con las semillas y el cuarto con características de la acícula (Tabla 12).



Tabla 11. Análisis de la varianza total explicada por componente principal en *Picea martinezii*

Componente	Autovalores iniciales			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,776	28,095	28,095	4,006	23,565	23,565
2	3,953	23,253	51,348	3,768	22,165	45,730
3	1,718	10,105	61,454	2,159	12,699	58,430
<b>4</b>	<b>1,285</b>	<b>7,558</b>	<b>69,012</b>	<b>1,799</b>	<b>10,582</b>	<b>69,012</b>

Tabla 12. Matriz de componentes principales rotados para variables morfo-anatómicas para *Picea martinezii*

Variables	Componente			
	1	2	3	4
Ancho de escama (AE)	<b>0,820</b>	0,073	0,190	0,125
Ancho del cono (AC)	<b>0,811</b>	-0,056	0,047	-0,033
Largo de escama (LAE)	<b>0,804</b>	0,020	0,115	0,188
Largo del cono (LC)	<b>0,779</b>	0,227	0,055	-0,023
Longitud del ala (LA)	<b>0,687</b>	0,082	0,411	0,122
Ancho del ala (AA)	<b>0,668</b>	-0,017	0,519	0,100
Longitud de la escama libre (LEL)	<b>0,519</b>	-0,017	-0,475	0,116
Número de hileras de estomas en el haz (NHEH)	-0,019	<b>0,892</b>	-0,051	0,084
Número de hileras de estomas en el envés (NHEE)	-0,029	<b>0,865</b>	-0,105	0,073
Número de estomas en 1 mm (NE1M)	0,051	<b>0,834</b>	-0,127	0,158
Diámetro del haz vascular (DAHV)	-0,144	<b>-0,767</b>	0,020	0,008
Distancia desde la esquina lateral del ángulo al centro del canal resinífero (d)	-0,143	<b>-0,641</b>	0,118	-0,389
Longitud de semilla (LS)	0,301	-0,163	<b>0,815</b>	-0,026
Ancho de semilla (AS)	0,250	-0,147	<b>0,844</b>	-0,018
Largo de acícula (LAC)	0,068	0,080	0,038	<b>0,802</b>
Ancho de la acícula (AAC)	0,184	0,295	-0,026	<b>0,797</b>
Diámetro del canal resinífero (DCR)	0,017	-0,567	-0,136	<b>0,490</b>

Las variables anatómicas de los canales resiníferos facilitan la identificación interespecífica de *Picea* (Weng y Jackson, 2000), pero además demuestra que estos puede ser un instrumento para la evaluación de las variación intrapoblacional de *P. martinezii*, en esta especie los canales

son continuos y se localizaban dentro de la hipodermis siguiendo un patrón de tipo (1) (Figura 8) y no dentro de parénquima clorofílico como en *P. mexicana*.

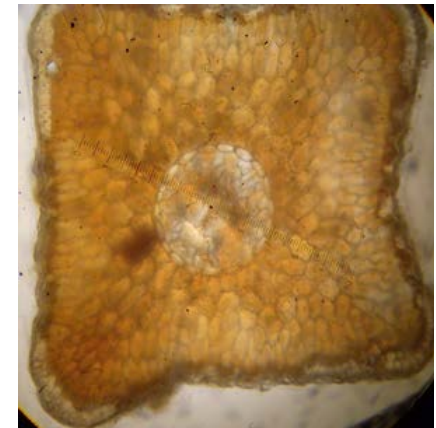
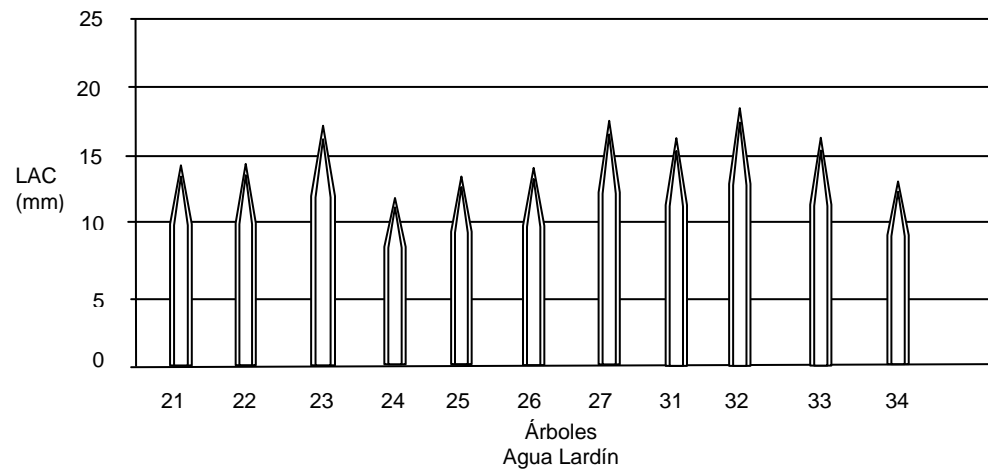
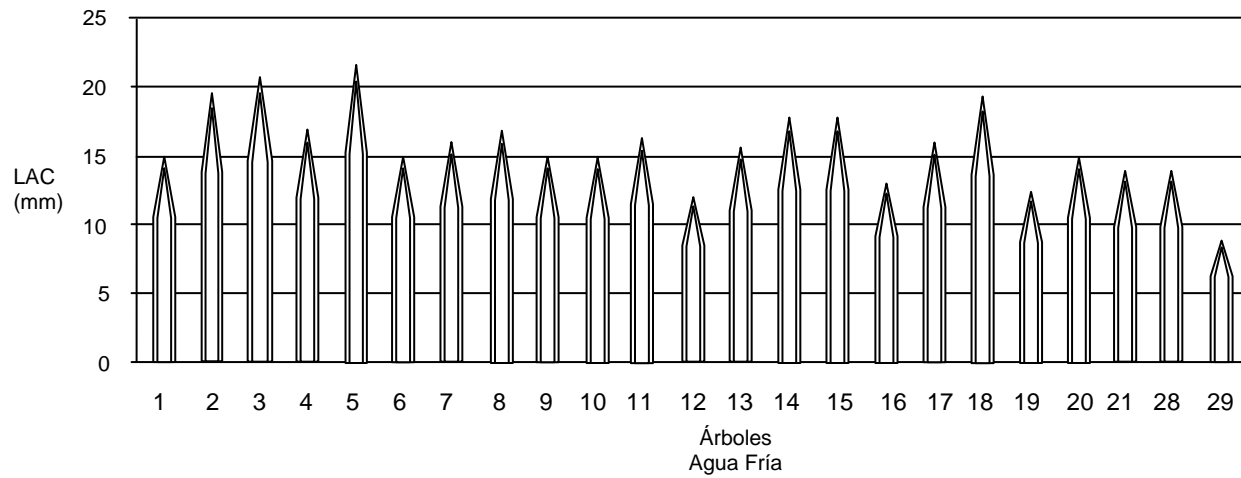
Es importante señalar que en la descripción inicial de *Picea martinezii*, Patterson (1988) no menciona la presencia de canales resiníferos, sin embargo, en el análisis de frecuencia de número de canales resiníferos en acículas por árbol para en cada una de las poblaciones (Figura 8) se observa la presencia de dos canales resiníferos pequeños y continuos a lo largo de la acícula en todos los individuos con un diámetro del canal resinífero aproximadamente de 35  $\mu\text{m}$ , aunque esta variable tuvo poco aporte a la diferenciación de las poblaciones. La posible presencia de canales en la especie fue examinada preliminarmente por Wen y Jackson (2000) pero en solo tres individuos tomados de un *arboretum* sin confirmación taxonómica de éstos.

Este resultado confirma la presencia de dos canales continuos a lo largo de cada extremo de la acícula, por lo que se puede considerar la inclusión de este carácter en la descripción de *P. martinezii* como carácter diagnóstico.

Las variables anatómicas número de estomas, número de hileras de estomas en el haz y envés pueden ser usadas en la caracterización de la especie *P. martinezii* así como en estudios de la variación ante respuestas a diferentes condiciones altitudinales y ecológicas (Qiang *et al.*, 2003; Zhou *et al.*, 2012; Tiwari *et al.*, 2013). Estas variables han sido utilizadas en evaluaciones de las poblaciones de especies de otros géneros como *Pinus greggii* (Beristáin, 1992), *Pinus arizonica* (Rodríguez y Capó, 2005) y *Pseudotsuga sp.* (Santos, 1998) y serían muy útiles en estudios de variación interespecífica de piceas mexicanas, por ejemplo para *P. mexicana* el número de hileras estomas en el haz (3-5) fue muy inferior al de *P. martinezii* (8-12); mientras que en *Picea*

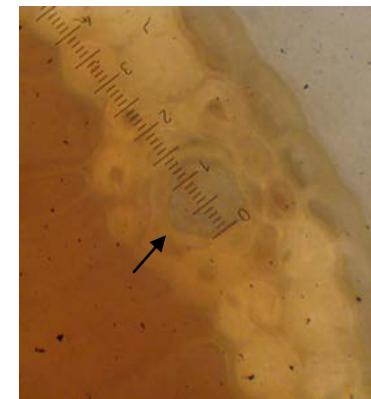
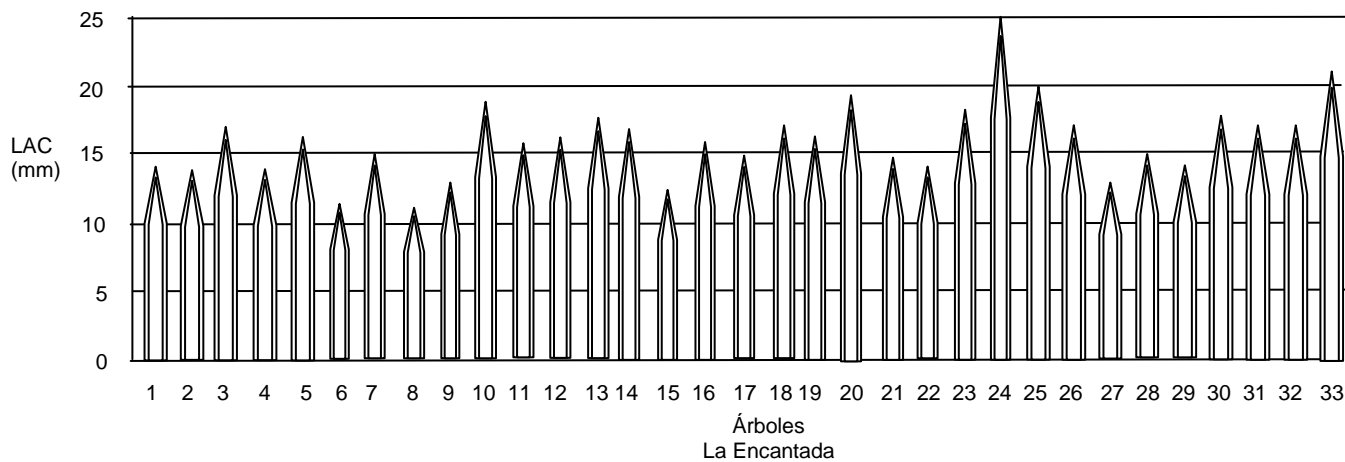
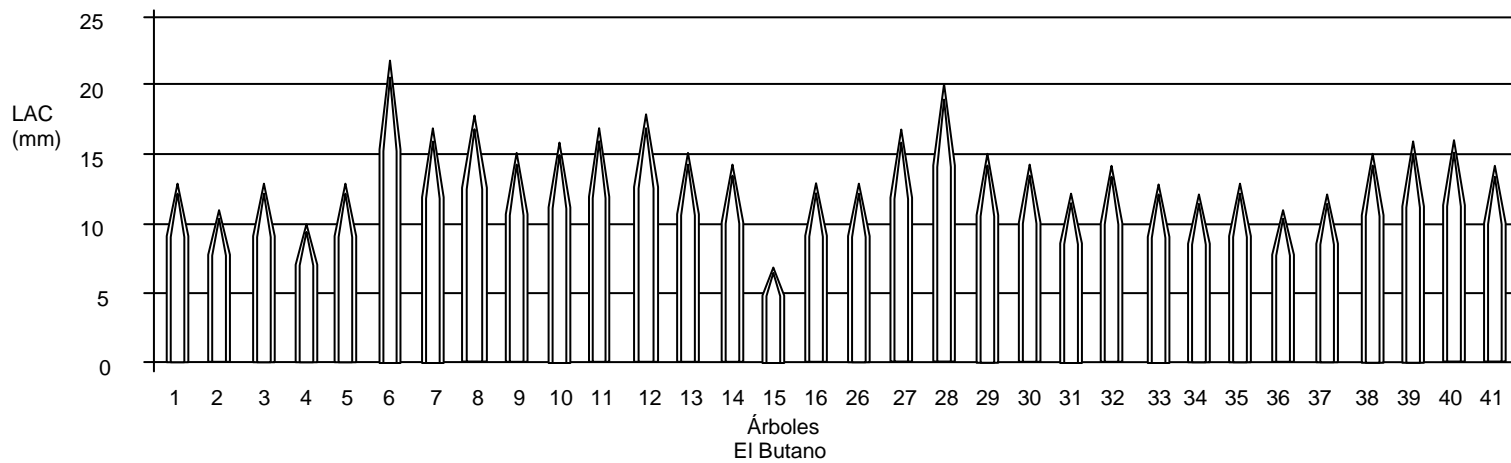
*chihuahuana* los rangos son de 5-9, lo que refleja claramente la relación de respuesta altitudinal y a condiciones más secas en *P. mexicana*.

En el análisis discriminante la primera función discriminante explica 57,6% de la variación (correlación canónica de 0,86), la segunda función explica el 22,4% (correlación de canónica de 0,73), ambas explican el 80% de la variabilidad. Las variables que más contribuyen a la diferenciación en la primera función y segunda función canónica son relativas a la morfología, número de estomas, diámetro del canal resinífero (Tabla 13), mientras que en la tercera función que explica 20% se encuentran el resto de las variables anatómicas.



**A**

Figura 8. Frecuencia de canales resiníferos de *Picea martinezii* para las cuatro poblaciones naturales. Representación de una acícula por árbol, todas las poblaciones tienen dos canales resiníferos laterales. LAC= largo de acícula. A) Sección transversal de la acícula. B) Canal resinífero



**B**

Figura 8 (continuación). Frecuencia de canales resiníferos de *Picea martinezii* para las cuatro poblaciones naturales. Representación de una acícula por árbol, todas las poblaciones tienen dos canales resiníferos laterales. LAC= largo de acícula. A) Sección transversal de la acícula. B) Canal resinífero

Tabla 13. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas para las variables morfológicas y anatómicas de *Picea martinezii*

Variables	Función		
	1	2	3
Número de estomas en 1 mm (NE1M)	<b>0,430</b>	0,155	0,091
Longitud de semilla (LS)	<b>-0,386</b>	0,277	0,326
Ancho de semilla (AS)	<b>-0,315</b>	0,099	0,241
Longitud de la escama libre (LEL)	<b>0,207</b>	-0,053	0,075
Largo del cono (LC)	<b>0,071</b>	0,020	-0,050
Longitud del ala (LA)	0,091	<b>0,336</b>	0,071
Ancho de escama (AE)	0,010	<b>0,287</b>	0,181
Largo de escama (LAE)	0,063	<b>0,243</b>	0,088
Diámetro del haz vascular (DAHV)	-0,201	<b>-0,231</b>	-0,119
Diámetro del canal resinífero (DCR)	-0,051	<b>0,161</b>	0,037
Ancho del cono (AC)	0,038	<b>0,140</b>	0,015
Ancho de la acícula (AAC)	0,260	0,154	<b>0,399</b>
Número de hileras de estomas en el envés (NHEE)	0,361	-0,234	<b>0,385</b>
Número de hileras de estomas en el haz (NHEH)	0,304	-0,113	<b>0,375</b>
Distancia desde la esquina lateral del ángulo al centro del canal resinífero (d)	-0,312	-0,139	<b>-0,366</b>
Largo de acícula (LAC)	0,147	0,217	<b>0,233</b>
Ancho del ala (AA)	-0,082	0,163	<b>0,169</b>

El análisis de discriminante logra clasificar correctamente el 92,1% de los casos en los grupos originales (poblaciones) por lo que se puede discriminar cada población a partir de las variables utilizadas (Figura 9), excepto las poblaciones Agua Fría y Agua Lardín las cuales podrían suponer una sola unidad morfológica indicando que podrían constituir dos subpoblaciones separadas alrededor de 2,5 Km, cuando se analizan estas dos poblaciones como una unidad entonces se logra clasificar el 95% en los grupos originales (Tabla 14) y se discrimina a través de dos funciones una que explica el 69,3% considera variables morfo-anatómicas y la otra que explica el 30,7% que contiene variables morfológicas y de diámetro del canal resinífero, segregándose además las poblaciones de La Encantada, El Butano y Agua Fría-Agua Lardín (Figura 10).

Ambos análisis muestran que las poblaciones de El Butano y La Encantada son unidades morfológicamente diferenciables, separadas a 146 Km. Una posible explicación a la variación en variables morfológicas para las poblaciones Agua Fría y Agua Lardín podría estar dada por la adaptación a condiciones más húmedas y altitudes más bajas (Flores-López *et al.*, 2013).

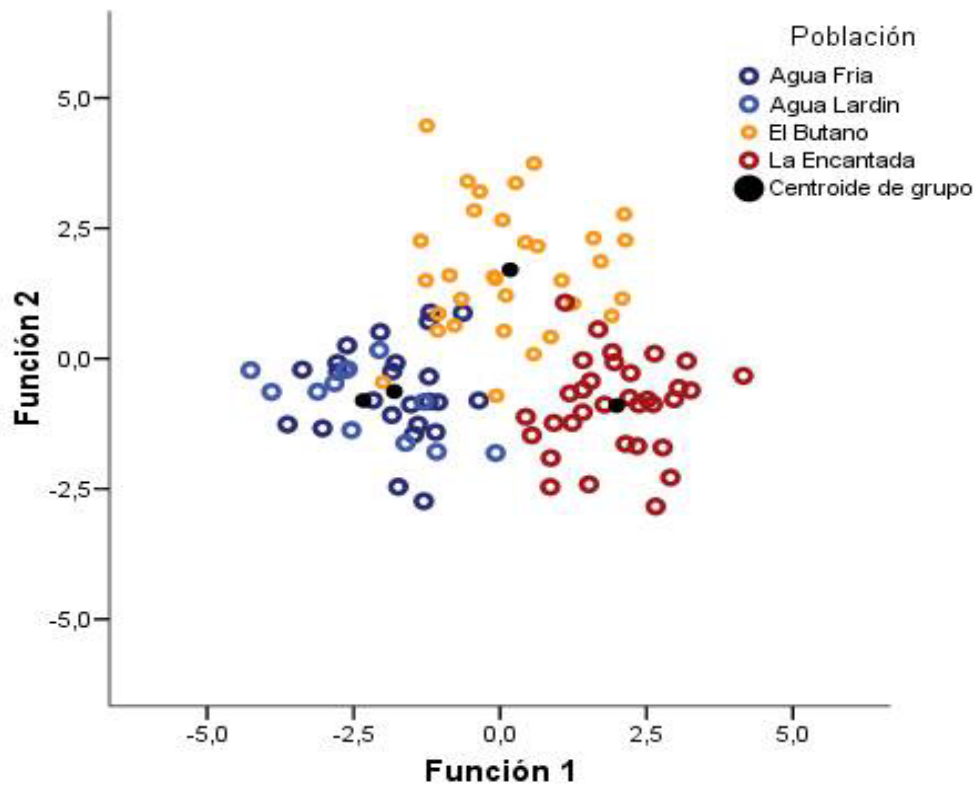


Figura 9. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las cuatro poblaciones de *Picea martinezii*

Tabla 14. Resultados de la clasificación a partir de las funciones discriminantes

	Poblaciones	Grupo de pertenencia pronosticado			Total	
		Butano	Encantada	Agua Fría-Lardín		
Original	Recuento	Butano	29	1	2	32
		Encantada	1	32	0	33
		Agua Fría-Lardín	0	1	35	36
%		Butano	90,6	3,1	6,3	100,0
		Encantada	3,0	97,0	,0	100,0
		Agua Fría-Lardín	0	2,8	97,2	100,0

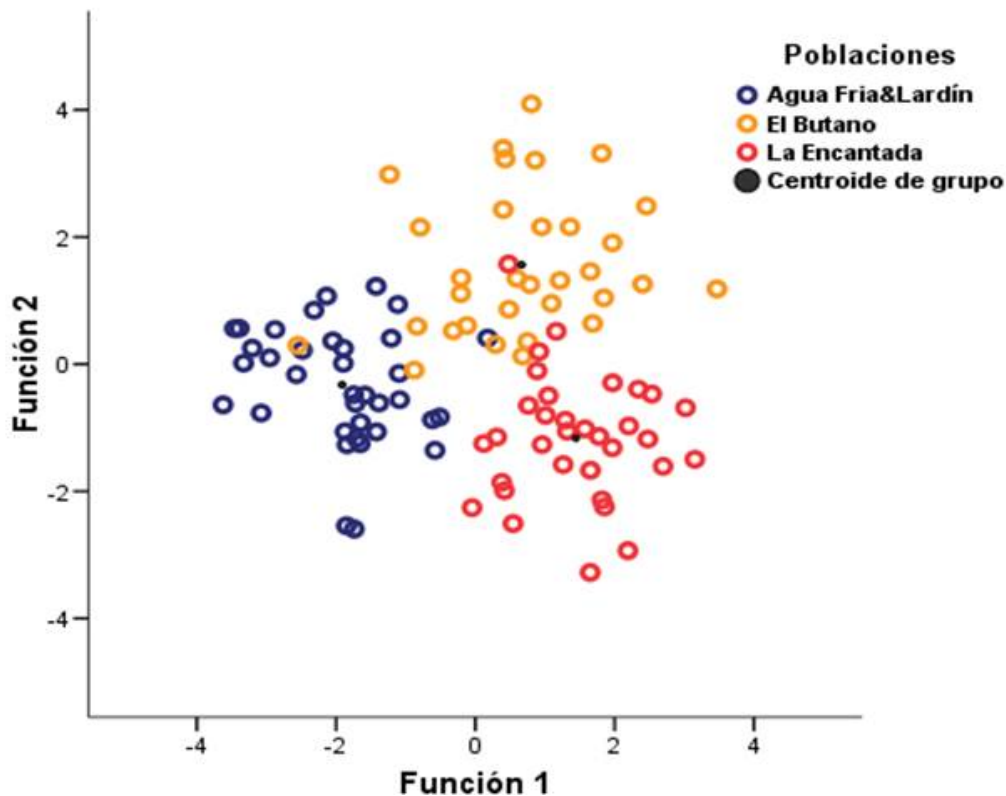


Figura 10. Proyección de los casos por población en el plano definido por las dos primeras funciones canónicas de las tres poblaciones de *Picea martinezii*

### 3.3 Indicadores reproductivos en poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

Las características reproductivas en las poblaciones de *P. mexicana* y *P. martinezii* fueron significativamente diferentes entre las poblaciones (Tabla 15), para *P. mexicana* La Marta obtuvo los mejores resultados, mientras que en *P. martinezii* las poblaciones Agua Lardín y Agua Fría reportan los mejores indicadores.



Tabla 15. Características reproductivas promedios de conos y semillas evaluadas en *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

<i>Picea mexicana</i>				
Variables	La Marta	El Coahuilón	El Mohinora	
Longitud del cono (cm)	5,94±0,54a	5,24±0,52b	5,52±0,24b	
Peso seco del cono (g)	4,91±1,65a	3,84±1,29b	3,93±0,74b	
Número de escamas fértiles	116,5±9,25a	99,1±5,4b	91,50±0,35b	
Potencial de semillas	233±18,5a	198±10,8b	183±0,70b	
Proporción de óvulos abortados	0,36±0,06b	0,47±0,01a	0,39±0,01ab	
Proporción de semillas vanas	0,46±0,05a	0,44±0,01a	0,49±0,04a	
Proporción de semillas llenas <sup>a</sup>	0,18±0,01a	0,09±0,01b	0,12±0,02b	
Tamaño de semillas (g)	3,94±0,72a	3,57±0,84b	3,62±0,63b	
Eficiencia de reproductiva <sup>c</sup> (mg/g)	36,10±4,75a	15,70±1,10b	19,30±2,97b	
Índice de endogamia <sup>b</sup>	0,73b	0,84a	0,82a	
<i>Picea martinezii</i>				
	Agua Fría	Agua Lardín	El Butano	La Encantada
Longitud del cono (cm)	11,65±1,78a	11,57±1,64a	9,94±1,76b	9,90±2,43b
Peso seco del cono (g)	26,84±0,90a	24,33±0,69a	19,35±0,52b	20,55±0,78b
Número de escamas fértiles	127,53±1,71b	147,04±2,38a	126,13±1,31b	131,23±2,11b
Potencial de semillas	255,06±1,99b	294,08±3,01a	252,26±1,31b	262,46±2,00b
Proporción de óvulos abortados	0,65±0,02b	0,54±0,02b	0,83±0,01a	0,87±0,01a
Proporción de semillas vanas	0,26±0,02a	0,31±0,02a	0,12±0,01b	0,10±0,01b
Proporción de semillas llenas <sup>a</sup>	0,08±0,01ab	0,13±0,01a	0,04±0,01b	0,02±0,01b
Eficiencia de reproductiva <sup>c</sup>				
Índice de endogamia <sup>b</sup>	0,78a	0,67a	0,74a	0,82a

<sup>a</sup>Eficiencia de semillas. <sup>b</sup>Semillas vanas/total de semillas. <sup>c</sup>Peso de la semilla en mg/Peso de cono en g. Medias con diferentes letras son significativamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) determinado por la prueba de diferencia mínima significativa. Las letras minúsculas son para la comparación entre poblaciones.

El potencial de semillas fue mayor en *P. martinezii* que para *P. mexicana*, en promedio de las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* tuvieron similar comportamiento: Agua Fría, El Butano y La Encantada, sin embargo sobresale Agua Lardín con valores superiores. En *P. mexicana* fueron similares El Mohinora y El Coahuilón, sobresaliendo la población La Marta. Las

diferencias en el potencial de semillas se presenta también entre especies variando desde 11 para *Pinus catarinae* hasta 266 para *Picea martinezii* (Tabla 16), por otra parte, es reconocido que existen diferencias entre años semilleros para las poblaciones de la misma especie (Albalanda *et al.*, 2003; Flores-López *et al.*, 2005; López, 2005). Las diferencias entre el potencial de semillas entre especies pueden deberse a las condiciones ambientales donde se encuentran estas especies, especialmente la presencia de una mayor humedad.

En la Tabla 16 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 (Flores-López *et al.*, 2012); esta condición de humedad en algunas especies de coníferas hace que tengan una mayor producción de biomasa y también son las de mejor producción de semilla. Un ejemplo es el de *Pinus greggii*, en la que se realizó un estudio en 11 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).

Tabla 16. Potencial de semillas de coníferas mexicanas en diferentes localidades

Especie	Población	Potencial de semillas (rango)	Referencia
<i>Pinus catarinae</i>	Casa Blanca, Sta. Catarina, N. L., Méx.	11	Lemus (1999)
<i>Pinus johannis</i>	Concepción del Oro, Zac. El Coahuilón, Coah.	25 (18 a 25) <sup>a,b</sup> 26 (18 a 25) <sup>a,b</sup>	López (2005)
<i>Pinus patula</i>	Cartón Colombia	29 (11 a 39)	Clements y Vallejo (1988)
<i>Pinus pinceana</i>	Coahuila, Zacatecas, San Luís Potosí e Hidalgo Méx.	50 <sup>¶</sup> (44 a 66)	Hernández (2006)
<i>Pseudotsuga macrolepis</i>	El Cerezo, Pachuca Hidalgo, Méx.	52	Zavala y Méndez (1996)
<i>Pinus patula</i>	Orizaba, Veracruz, Mex.	82	Alba-Landa <i>et al</i> (1999)
<i>Pinus arizonica</i>	Madera, Chihuahua Méx.	90 (48 a 126) <sup>a</sup>	Narváez (2000)
<b><i>Picea mexicana</i></b>	Chihuahua, Nuevo L. y Coahuila, Méx.	103 (91 a 116) <sup>a,b</sup>	Flores-López <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus cooperi</i>	Cielito Azul, Durango Méx. La Taunita, Durango Méx.	103 (60 a 142) <sup>b</sup> 115 (60 a 154) <sup>b</sup>	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus tecunumanii</i>	La Suiza, Colombia La Arcadia, Colombia	123 127	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus oocarpa</i>	El Pital, Colombia	137 <sup>a,b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus maximinoi</i>	Cabuyerita, Colombia	140 <sup>a,b</sup>	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus greggii</i>	Carrizal Chica, Zacualpan Veracruz, Méx.	161 (152 a 170) <sup>a</sup>	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus oaxacana</i>	Lázaro Cárdenas, Tlaxcala, Méx.	186 (76 a 242)	Vázquez <i>et al.</i> (2004)
<i>Pinus hartwegii</i>	La Malinche, Tlaxcala Méx. Cofre, Perote Veracruz Méx.	187 199	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
<b><i>Picea martinezii</i></b>	C. Butano, La Tinaja. A. Fría. Cañada del Puerto I, N. L. Méx.	266 <sup>a</sup> ( 253 a 294)	Trabajo actual

<sup>a</sup> Estudios realizados en diferentes poblaciones, <sup>b</sup> Estudios realizados en diferentes años de colecta

La eficiencia de semilla en ambas especies son muy bajos en comparación con otras coníferas (Tabla 17) lo pudiera estar relacionado con la distribución fragmentada y tamaños poblacionales pequeños de *P. mexicana* y *P. martinezii*; y factores asociados con el proceso y momento de maduración, liberación del polen, su morfología y distancia de dispersión, a las características

fisiológicas inherentes a la fecundación en cada especie (Tighe, 2004; White *et al.*, 2007) y a la variación entre poblaciones en particular aquellas con distribuciones irregulares. La baja eficiencia en la producción de semillas llenas dentro de *P. mexicana* y *P. martinezii* posiblemente se deba a la escasa disponibilidad de polen e intercambio entre las poblaciones y altas tasa de autofecundación reflejado por índices de endogamia que oscilan entre el 0,80 - 0,73, en particular las poblaciones más afectadas son El Mohinora y El Coahuilón para *P. mexicana* y El Butano y La Encantada en *P. martinezii*, lo que representa un indicador importante en los planes de manejo y conservación en particular para las piceas (Ledig, 2012).

Debido a que las especies de coníferas tienen un sistema reproductivo principalmente alógamo, el aumento de endogamia tiene consecuencias negativas sobre características de valor adaptativo de los individuos (Sorensen y Campbell, 1993). Para ambas especies las poblaciones tienen una elevada producción de semillas vanas, y las semillas viables son de menor tamaño (Flores-López *et al.* 2005) similar a lo observado en *Pseudotsuga menziesii* (Mápula-Larreta *et al.*, 2007) y en pequeñas poblaciones de *Picea glauca* (O'Connell *et al.*, 2006). A esto se le suma que bajo los diferentes escenarios (A2, B1 y B2) de calentamiento global Ledig *et al.* (2010) y Ledig (2012) sugieren que para los próximos 50 años no habrá un hábitat propicio para las poblaciones en Sierra Madre Oriental, lo cual pudiera verse potenciado con los problemas reproductivos en dichas especies. Por lo que, el riesgo es mayor si en las poblaciones existe una tasa reducida de cruzamiento cruzado, debido al efecto de la depresión endogámica con la consecuente reducción de la diversidad genética y acumulación de mutaciones deletéreas por eventos estocásticos (Frankham y Kingsolver, 2004).

Tabla 17. Comparación de la eficiencia de semillas de coníferas en diferentes poblaciones

Especie	Eficiencia de semillas (rango)	Referencia
<i>Picea martinezii</i>	7% (2 - 13%)	Presente estudio
<i>Picea mexicana</i>	13%(9-18%)	Flores-López <i>et al.</i> (2005)
<i>Picea rubens</i>	20 - 45%	Mosseler <i>et al.</i> (2000)
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	14-44 %	Mápula-Larreta <i>et al.</i> (2007)
<i>Pinus catarinae</i>	20.9 %	Lemus (1999)
<i>Pinus pinceana</i>	35 % (0 – 54 %)	Hernández (2006)
<i>Pinus arizonica</i>	37 % (4.4 – 80.7 %)	Narváez (2000)
<i>Pinus oxacana</i>	53% (35% - 80%)	Alba-Landa y Marquéz-Ramírez (2006)
<i>Pinus chiapensis</i>	44 – 59%	Martínez <i>et al.</i> (1998)
<i>Pinus banksiana</i>	27 – 35%	Todhunter y Polk (1981)
<i>Pinus patula</i>	55 %	Clements y Vallejo (1988)
<i>Pinus patula</i>	64.6 %	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus cooperi</i>	68.8 % (65.2 - 72.4 %)	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus hartwegii</i>	71.5 % (68 - 75 %)	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
<i>Pinus greggii</i>	78.9 % (70.88 - 86.96 %)	Alba-Landa <i>et al.</i> (2005) López-Upton y Donahue (1995)

Los ensayos de germinación para ambas especies determinaron que del total de semillas llenas solo unas pocas germinaron y de éstas entre un 10-70% fueron plántulas anormales (como anomalía se reconocen: enanismo, germinación inversa y encorvamiento del epicotilo). En *P. mexicana* La Marta presentó uno de los porcentajes más altos de germinación (Tabla 18), de plántulas anormales y a su vez los mejores indicadores reproductivos, por lo que esto pudiera indicar un proceso de depresión por endogamia y de erosión genética en la población a pesar de tener mayor variabilidad (Ledig *et al.*, 2002). En el caso de *P. martinezii* la situación es más crítica ya que los porcentajes de germinación son los más bajos de las dos especies, dentro de esta resalta el de La Encantada con baja germinación y mayor porcentaje de plántulas anormales, de igual manera esta población pudo haber experimentado un “cuello de botella”

(Ledig *et al.*, 2000), seguido de la reducción de los tasa de outcrossing, depresión por consanguinidad y de erosión genética (Tabla 18). Para el género *Picea* con niveles de diversidad genética altos, cuando sufren de autofecundación se reduce hasta el 17% el porcentaje de germinación acompañado de la reducción en el tamaño de las plántulas y una mortalidad promedio del 82% (Ledig *et al.*, 2000b; Mosseler *et al.*, 2000). De igual manera en poblaciones altamente fragmentadas como *P. chihuahuana* y *P. breweriana* la germinación es superior al 54% (Ledig *et al.*, 1997; Ledig *et al.*, 2005), mientras que para especies de más amplia distribución tienen valores del 60 - 90%, por lo que dichos valores revelan el estatus de riesgo en *P. martinezii*.

Tabla 18. Resultados de las pruebas de germinación en *Picea mexicana* y *P. martinezii*

Población	% de germinación	% de semillas no germinadas	% semillas podridas	% de plántulas anormales
<b><i>Picea mexicana</i></b>				
La Marta	32,5	33,9	22,3	11,3
El Coahuilón	9,2	53,7	20,2	16,9
El Mohinora	53,5	20,6	15,8	10,1
<b><i>Picea martinezii</i></b>				
Agua Fría	26,0	20,7	6,0	47,3
Agua Lardín	25,5	29,2	1,5	43,8
El Butano	34,8	16,6	4,6	44,0
La Encantada	2,0	26,0	0	72,0

### 3.4 Estructura genética de *Picea martinezii*

Un total de 41 muestras de *P. martinezii* con 18 sistemas isoenzimáticos fueron evaluadas, detectándose 10/32 *loci* polimórficos. Solo dos *loci* (MNR, SKD2) se encontraron fuera del HWE y hubo dos alelos privados en el locus ACO-1 y MNR1 para La Encantada. El polimorfismo y la

heterocigosidad fue muy baja en cada una de las poblaciones (Tabla 19) y en la especie en comparación a lo que pudiera esperarse para especies alógamas usando isoenzimas (Hamrick *et al.* 1992; Hamrick y Godt 1996). Asimismo, estos valores fueron inferiores a los de sus congéneres mexicanos *P. mexicana* (0,117 - 0,136), *P. chihuahuana* (0,093) (Ledig *et al.*, 2002; Ledig *et al.*, 1997), a los de *P. breweriana* (0,123) cuya distribución es también muy fragmentada (Ledig *et al.*, 2005) y a los reportados en ésta especie (13 sistemas de isoenzimas y 9 *loci* polimórficos) de 0,101-0,121 por Ledig *et al.* (2000b) para las poblaciones de El Butano y La Encantada; pero muy similares a los reportados para poblaciones pequeñas mexicanas de *Abies ssp.* (0,0975) (Piñero *et al.*, 2008).

La población menos variable fue el Agua Fría (0,076) lo que pudiera estar asociado al “efecto Wahlund”, que puede experimentarse en subpoblaciones que están separadas hasta 5 km (Ledig *et al.*, 2005) y donde la heterocigosidad se ve reducida, con estimados de endogamia relativamente altos a partir de indicadores reproductivos (Tabla 15).

La diferenciación entre las poblaciones fue moderada  $F_{ST} = 0,10$  similar a lo reportado para *P. koyamae* del 0,067 (Katsuki *et al.*, 2011) con igual patrón de distribución, sin embargo este no suele ser el estándar en *Picea* donde en solo dos de los 18 estudios realizados tienen estimados de diferenciación mayores de 0,10 (ver revisión de Ledig *et al.*, 1997); un caso especial es *P. chihuahuana* endémica mexicana, relictas con una distribución muy fragmentada donde  $F_{ST} = 0,248$ .

Esta diferenciación genética la aporta fundamentalmente la población La Encantada pues cuando se excluye del análisis el  $F_{ST} = 0,027$ , lo que correspondería a poblaciones con alto intercambio genético y distribuciones continuas.

El árbol UPGMA muestra que las poblaciones se agrupan en dos grupos uno que contiene las de Agua Fría, Agua Lardín y El Butano y la otra para La Encantada (Figura 11). De acuerdo al análisis isoenzimático podría hablarse de una población integrada por las subpoblaciones Agua Lardín, Agua Fría y El Butano, mientras que La Encantada sería la otra unidad poblacional, lo cual pudiera ser comprensible si conocemos que La Encantada es la población más interna dentro de la cadena de la Sierra Madre Oriental, por lo que el intercambio genético hacia esta población puede estar limitado.

La estructura genética de las poblaciones reflejan que algunas de ellas han experimentado un “cuello de botella” como es el caso de La Encantada y El Butano (Tabla 19, ver Figura 5 y Tabla 6 y 7) con tamaños poblacionales inferiores a 100 individuos en etapa reproductiva, lo que fue referido anteriormente por Ledig *et al.* (2000) pero detectando niveles de variabilidad mayores (0,12 y 0,10) en estas poblaciones, además en éstas se aprecia una deficiencia de heterocigotos reproduciéndose (Tabla 18).

Cuando las poblaciones son pequeñas pierden su variabilidad genética, son presa de factores estocásticos (tanto genéticos como demográficos y ambientales) que aceleran su declive (Primack *et al.*, 2001), la reducción de su fitness (Frankham y Kingsolver, 2004) y aumenta el riesgo a acumular mutaciones deletéreas que pueden conducir a los llamados vórtices de extinción (Frankham *et al.*, 2002; Ledig, 2012). Lynch *et al.* (1995) observaron que las mutaciones deletéreas se acumulan más en poblaciones pequeñas, cuando la población comienza a declinar, el número de individuos disponible para que se eliminen las mutaciones deletéreas disminuye y la purga se vuelve cada vez menos eficiente, aumenta la carga genética



de la población y la adaptación disminuye. El resultado es una retroalimentación negativa similar al vórtice de extinción (Amos y Balmford, 2001).

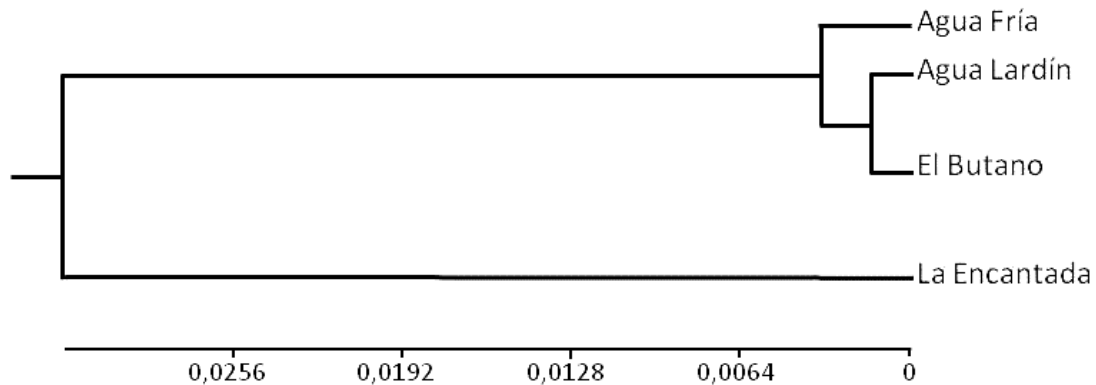


Figura 11. Árbol de UPGMA basado en la distancia genética de Nei (1978) para las poblaciones de *Picea martinezii*

Tabla 19. Diversidad genética e índices de fijación para las poblaciones naturales de *Picea mexicana* (Ledig *et al.*, 2002) y para *Picea martinezii* en México

Especie	Poblaciones	<i>n</i>	<i>P</i>	<sup>1</sup> <i>He</i>	<sup>2</sup> <i>Ho</i>	<sup>3</sup> <i>F<sub>IS</sub></i>	<sup>4</sup> <i>F<sub>ST</sub></i>
<i>Picea mexicana</i>	El Mohinora	6	33,3	0,130	0,124	0,007	
	La Marta	10	38,9	0,129	0,147	-0,103	
	El Coahuilón	9	33,3	0,117	0,137	-0,185	
	Media	8	35,2	0,125	0,136	-0,107	0,069
<i>Picea martinezii</i>	Agua Fría	9	28,12	0,078	0,076	-0,031	
	Agua Lardín	8	25,0	0,082	0,086	-0,097	
	El Butano	9	28,12	0,085	0,078	0,052	
	La Encantada	5	15,62	0,081	0,073	0,023	
	Media	10	31,2	0,086	0,079	-0,016	0,10

*n*: Número de *loci* polimórficos, *P*: polimorfismo, <sup>1</sup>*He*: Heterocigosidad esperada, <sup>2</sup>*Ho*: Heterocigosidad observada, <sup>3</sup>*F<sub>IS</sub>*: índice relativo a la endogamia, <sup>4</sup>*F<sub>ST</sub>*: índice de relativo a la diferenciación genética *F<sub>ST</sub>*.

Los resultados estimados asociados a la endogamia fueron bajos, esto estaría debido al número de sistemas probados y la variabilidad de los mismos, los cuales son regularmente bajos en este género.

Por lo que, la introducción de los resultados procedentes del análisis de los datos de estructura genética y cruzamiento en los planes de manejo y conservación son una de las tareas más urgentes en particular para especies endémicas, relictas y pequeñas, las cuales siempre estarían en mayor riesgo de extinción.

## **CAPÍTULO 4. LÍNEAS DE CONSERVACIÓN PARA LAS POBLACIONES DE**

*Picea*

## CAPÍTULO 4. LÍNEAS DE CONSERVACIÓN PARA LAS POBLACIONES DE *Picea*

4.1 Análisis jurídico y organización institucional sobre la conservación y manejo de especies en riesgo para México.

Para proponer líneas de conservación de especies forestales en México es importante conocer el Programa Estratégico Forestal para México 2025 (SEMARNAT-CONAFOR, 2001a) que analiza y propone las estrategias nacionales para el fomento, aprovechamiento, conservación y restauración de los recursos forestales de México, y además, los documentos rectores de la conservación que son Ley General del Equilibrio Ecológico y la Ley de Protección al Ambiente (DOF, 1988), la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2001) y la Ley General de Vida Silvestre (DOF, 2000) pues establecen los procedimientos y la regulación de las actividades forestales de protección. A pesar, que se cuenta con el Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (SEMARNAT-CONAFOR, 2004), en el cual esboza aspectos a tener en cuenta para realizar la conservación y manejo, no existe un conjunto de líneas estratégicas y acciones para llevar a cabo esta actividad. Por lo que deja a la voluntad de los técnicos la decisión de éstas.

Por otra parte, las instituciones que se dedican a la conservación de los recursos genéticos forestales se rigen federalmente y enfocan sus directrices hacia la conservación de especies en estatus de riesgo conforme a la NORM-059, al establecimiento y manejo de áreas naturales protegidas y al fomento y restauración de áreas naturales con especies en riesgo, principalmente para conservación *in situ*.

La selección de las especies y áreas están definidas por la CONABIO (2012) y se realiza conforme a los informes e investigaciones que justifiquen la propuesta en función de la riqueza de especies y el estatus de riesgo en el que se encuentren sus principales especies (CONANP, 2013). Por ello, la CONABIO declara 152 regiones terrestres prioritarias; entre las que se encuentran áreas como “Cumbres de Monterrey” (RTP-81) donde se halla la población El Butano de *P. martinezii* y “Cerro El Mohinora” (RTP-26) donde está la población El Mohinora de *P. mexicana*, actualmente para esta área prioritaria se tiene el aviso mediante el cual se informa al público la disposición de los estudios realizados para justificar la expedición del decreto por el que se pretende declarar como área natural protegida con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna (DOF, 2005). Para estas áreas la implementación de acciones destinadas a la investigación y conservación de los recursos es más viable y exitosa. No obstante, la CONABIO y la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) están abiertas a la inclusión de nuevas áreas protegidas y especies en riesgo para la actualización de la NORM-059. Existe otra entidad institucional (SEMARNAT) que regula las actividades de protección, restauración y aprovechamiento de las especies en riesgo a través de un instrumento jurídico que establece los sitios o poblaciones de estas especies en riesgo, que pueden declararse dichos sitios como Unidades de Manejo y Conservación de Vida Silvestre (UMA) a partir de una propuesta hecha para técnicos forestales sobre la base de estudios detallados que comprenden la regeneración, la ecológica, la evaluación de impacto ambiental y productos de la especie, pues es la categoría bajo la cual se pueden ejecutar acciones concretas en la conservación y mantenimiento de una población. Es decir, si una población

no se encuentra dentro del área declarada como UMA no es legal manejable para especies “En Peligro Crítico”.

El hecho que algunas de las poblaciones no se encuentren dentro de las áreas protegidas limitaría, también las acciones para la conservación del genofondo de las especies, como es el caso de algunas poblaciones de *P. mexicana* y *P. martinezii*. Por ello, estudios que ecológicos y genéticos que fundamenten la importancia de los recursos son necesidades imperiosas para llevar a cabo la conservación de este género.

#### 4.2 Líneas de conservación

Para la conservación de las especies *Picea mexicana* y *Picea martinezii* se proponen tres líneas (Tabla 19):

1. Conservación de las poblaciones de *Picea*.
2. Difusión del conocimiento, educación y capacitación.
3. Participación social y organización comunitaria

##### 4.2.1 Conservación de las poblaciones

A continuación se proponen las siguientes acciones para la conservación genética de cada recurso a partir de la propuesta y registro a la SEMARNAT de las poblaciones como UMA y de registrar las poblaciones como Unidades Productoras de germoplasma forestal, en función de cada especie y por población.

Tabla 19. Líneas para la conservación, manejo y restauración de las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii*

1. CONSERVACIÓN DE LAS POBLACIONES	2. DIFUSIÓN, EDUCACIÓN Y CAPACITACIÓN	3. PARTICIPACIÓN SOCIAL Y ORGANIZACIÓN COMUNITARIA
1.1 Conservación de cada población.	2.1 Difusión del conocimiento de las especies.	3.1 Participación institucional
1.2 Especies exóticas y transferencia.	2.2 Educación ambiental.	3.2 Reorganización
1.3 Prevención y control de actos ilícitos.	2.3 Capacitación y formación.	3.3 Diversificación productiva y conservación
1.4 Monitoreo		

*Picea mexicana*

De forma general para la especie se propone en cada población la combinación de los métodos *in situ* y *quasi in situ*. Censo de cada individuo en etapa reproductiva de cada población. Conservación de germoplasma (semillas) en banco germoplasma colectados en el área una vez evaluadas en el laboratorio. Monitoreo de los indicadores reproductivos y dinámica de la regeneración a partir del censado de cada individuo.

Para las poblaciones de La Marta y El Coahuilón sería factible, además, el método *quasi in situ* que resultaría de la recolección y propagación de individuos en áreas *ex situ*, para después su reintroducción a las poblaciones naturales y también la relocalización de individuos en áreas proyectadas sobre la base de estudios de hábitats potenciales a partir de la modelación de Ledig *et al.* (2010) con un tamaño mayor de 500 individuos, de forma tal que se recuperará la variación genética y adaptativa, y que a largo plazo permitiera la

recolección de semilla más viables producto del aumento de los cruces al azar y el aumento de la variabilidad genética.

En el caso de La Mohinora al estar localizada como una única población relictas de la Sierra Madre Occidental, y en vista a los resultados de la simulación para *Picea* por Ledig *et al.*, (2010) en la definición de los hábitats potenciales ante eventos de cambio climático, se proponen la relocalización del material procedente de la misma ya que ésta tiene los valores superiores en los indicadores reproductivos, de germinación y menor cantidad de anomalías con nivel de variabilidad relativamente altos (Ledig *et al.*, 2002).

En este sentido, las proyecciones de los hábitats potenciales basados en los escenarios evaluados por Ledig *et al.* (2010) para 2030, estima que los climas adecuados para *P. mexicana* desaparecen excepto para el Cerro El Potosí ( $\approx 3\ 600$  msnm), localidad donde la especie no se encuentra actualmente, por lo que es necesario su establecimiento.

La proyección 2060 y para 2090, es drástica pues el clima adecuado desaparece por completo en la Sierra Madre Oriental y su hábitat potencial aparece, por primera vez, en el Eje Volcánico Transversal en la montañas Tláloc y La Malinche y a lo largo de los flancos del volcán Popocatepetl ( $\approx 5\ 454$  msnm) y del Iztaccíhuatl ( $\approx 5\ 230$  msnm); donde la altitud adecuada de distribución de *P. mexicana* sería aproximadamente de 3 900 hasta 4 200 msnm, es decir representa un aumento en la elevación de aproximadamente 600 a 700 msnm por encima de su actual rango altitudinal (Anexo 3).



### *Picea martinezii*

Al estar las poblaciones dentro del Bosque Mesófilo de Montaña son de interés nacional y de prioridad en la conservación para la CONABIO, resultaría más fácil las acciones de manejo en las poblaciones de *P. martinezii*, no obstante éstas se tratarán diferencialmente para Agua Lardín-Agua Fría considerándolas una sola unidad por distancia geográfica entre población (Figura 1), las similitud de especies asociadas (Figura 3), los valores en la variación morfológica (Figura 9 y 10) y similitud genética (Figura 11), otra para El Butano y La Encantada, esto implicaría la propuesta a CONANP de tres UMA.

Para cada una de las UMA, llevará consigo el censo de cada individuo en etapa reproductiva. Conservación de germoplasma (semillas) en banco germoplasma colectados una vez evaluadas en el laboratorio. Monitoreo de los indicadores reproductivos y dinámica de la regeneración a partir del censado de cada individuo.

De acuerdo a Ledig *et al.* (2010), esta especie tiene las mayores posibilidades de desplazamiento de sus poblaciones, bajo los modelos bioclimáticos de predicción de futuros hábitats, hacia la parte central del Eje Neovolcánico Transversal, de manera tal que la altitud no sería una limitante la colonización de nuevos ambientes.

Al respecto las proyecciones de los hábitats potenciales para el 2030 para *P. martinezii* estarán cerca de la frontera de los estados de Coahuila y Nuevo León a altitudes por encima de los 2 400 msnm, en forma de pequeños fragmentos. Por el contrario, se presentan oportunidades hacia sur en la frontera entre los estados de Nuevo León y Tamaulipas, así como en el área en los estados de Puebla, Veracruz, México y Tlaxcala. El hábitat adecuado se expande al norte de Puebla en una zona conocida como Sierra Norte

de Puebla ( $\approx 2\,000$  msnm), y hacia el este, en el Estado de Veracruz en torno al Pico de Orizaba ( $\approx 5\,610$  msnm, la montaña más alta de México) y alrededor de Cofre de Perote ( $\approx 4\,200$  msnm). Una nueva predicción de hábitat también se produce en torno a la montaña Tláloc ( $\approx 4\,158$  msnm), así como en la cadena montañosa Iztaccíhuatl-Popocatepetl, en el Estado de México, Puebla y Tlaxcala; pequeñas manchas en el sureste de Puebla, al noreste de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cucatlán, y en el este del estado de Hidalgo.

Para el 2060, se prevé que para *P. martinezii* desaparecería de la frontera Coahuila-Nuevo León y los mapas muestran una expansión hacia La Malinche ( $\approx 4\,420$  msnm), en el Estado de Tlaxcala. Hábitats apropiados aparecen por primera vez en las partes altas de las montañas cerca de la frontera de los estados de México y Michoacán; en Michoacán, este nuevo hábitat está cerca de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca; en el Estado de México, el nuevo hábitat incluye la faldas del Nevado de Toluca ( $\approx 4\,680$  msnm); Cerro la Guadalupeana ( $3\,360$  msnm), Cerro Veguachi ( $3\,080$  msnm), Cerro Pelón ( $3\,325$  msnm), y Cerro las Palmas ( $3\,200$  msnm). Pequeñas áreas aparecen en el estado de Querétaro en Cerro el Gallo ( $2\,900$  msnm) y en el Estado de Guanajuato en el Cerro Los Rosillos ( $3\,180$  msnm) y Cerro Siete Cruces ( $3\,100$  msnm).

Para 2090, las proyecciones para el noroeste de la Sierra Madre Oriental indican sólo unas pocas áreas, muy reducidas cerca de la frontera de Nuevo León y Tamaulipas. Sin embargo, se predice que un ambiente adecuado seguirá existiendo en los estados de Puebla, México y Michoacán, pero puede moverse hacia mayores altitudes. Mientras hay pérdidas en la zona alrededor de Tláloc, el hábitat previsto para *P. martinezii* se agranda

en torno La Malinche, Nevado de Toluca, y en los picos del Eje Volcánico Transversal cerca de la frontera entre el Distrito Federal y el Estado de Morelos, lo que representa un aumento en altitud de unos 600 a 700 msnm por encima de lo que ocupa en la actualidad (Anexo 3).

Por lo tanto, esto sugeriría que el método más oportuno sería el *quasi in situ*, donde las colecciones vivas (procedentes de la mezcla de individuos) generen mayor variabilidad genética. Agua Fría-Agua Lardín debe usarse el método *quasi in situ* y permitiría aumentos de los cruces aleatorios, disminuir la endogamia y obtener mejores indicadores reproductivos, viabilidad de la semilla y mantener niveles de regeneración altos (Figura 5). El Butano sería una UMA que podría conservarse *in situ*, la población parece tener indicadores reproductivos buenos; además la población comunitaria La Trinidad desarrolla actividades de conservación al área.

La Encantada se preferiría el método *in situ* dado por las particularidades la accesibilidad al lugar, altas altitudes y la diferenciación de esta población en todos los análisis y *ex situ* de material de semillas en bancos de germoplasma (Banco germoplasma vegetal Coahuila, Centro de Recursos Genéticos), además la población comunitaria Ejido la Encantada tiene demarcada y está integrada a los apoyos por servicios ambientales del CONAFOR. Asimismo, podrían realizarse acciones de enriquecimiento con plántulas (posturas) obtenidas en vivero a partir de las semillas de la propia La Encantada.

*Especies exóticas y transferencia.* Formular directrices en el control de movimiento de especies exóticas a estas poblaciones, sobre todo de plantaciones realizadas para restauración, protección o justificación del manejo forestal.

*Prevención y control de actos ilícitos.* Reforzar los instrumentos y capacidades para prevenir y controlar actos ilícitos contra los rodales naturales de *Picea*.

*Monitoreo.* Organizar y aumentar los esfuerzos de monitoreo de las condiciones de las poblaciones de *Picea* a través del inventario de los sitios permanentes, enfatizando primordialmente las condiciones de regeneración, el balance de las estructuras vegetales de las poblaciones y de indicadores reproductivos.

#### 4.2.2 Difusión, educación y capacitación

*Difusión del conocimiento de las especies.* Promover una comprensión pública generalizada de la importancia de las piceas como parte de la biodiversidad en las poblaciones, así como formas de protegerlas, manejarlas y conservarlas.

*Educación ambiental.* Estimular los esfuerzos de educación ambiental a todos los niveles, encaminados a propiciar cambios de actitud y comportamiento en la sociedad frente a las especies en riesgo.

*Capacitación y formación.* Incrementar la cantidad, capacidad y calidad de los recursos humanos dedicados al conocimiento, uso y protección de las poblaciones de *Picea*, especialmente en las carreras técnicas y profesionales con formación forestal con asignaturas sobre la conservación de especies, así como los encargados de áreas protegidas donde estas especies se desarrollan.

#### 4.2.3 Participación social y organización comunitaria

*Participación institucional.* Participar en los Consejos Técnicos Estatales Forestales y de Comités Regionales de Recursos Naturales ya que estos tienen mayor reconocimiento y

más facultades de decisión en el diseño y operación de proyectos relacionados con la conservación de las especies en riesgo y en sí en las políticas públicas en la conservación de la biodiversidad.

*Reorganización.* Fortalecer las capacidades gerenciales y administrativas de las comunidades forestales asociadas a las poblaciones de *Picea*, para que estas tengan permanencia y continuidad en los proyectos que impliquen las modalidades actuales de uso de la biodiversidad, desalentando o reorientando las no sustentables e incentivando aquellas que lo sean.

*Diversificación productiva y conservación.* Promover la incorporación de los programas sociales del gobierno federal para la restauración, protección y conservación de las poblaciones de *Picea* con los esquemas de producción y uso sustentables.

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

1. *Picea mexicana* es una especie subalpina formada por tres poblaciones en dos unidades florísticas por encima de 3 000 msnm y asociada principalmente a *Pseudotsuga sp.*; mientras que *Picea martinezii* es característica de los Bosques Mesófilos de Montaña de la provincia florística Sierra Madre Oriental, a 2 800- 2500 msnm, asociada a *Taxus-Ilex-Quercus*, en ambas especies la relación plántula/árbol son los más bajos reportados para este género.
2. Las variables morfológicas del cono (LC, AC, AE, LAE, LEL) y anatómicas de la acícula (NHEE, NHEH, NE1M) permiten la caracterización y diferenciación entre y dentro de las poblaciones y los canales resiníferos un carácter diagnóstico en *Picea martinezii*; los indicadores reproductivos muestran que las poblaciones están sufriendo por endogamia en particular en *P. martinezii* donde los coeficientes de diferenciación genético son altos.
3. Las líneas están dirigidas fundamentalmente a la conservación genética de las poblaciones a través del método de conservación *quasi in situ*, a la difusión del conocimiento, educación y capacitación, y a la participación social y organización comunitaria.
4. La fragmentación afecta la estructura de las poblaciones en ambas especies, reduciendo el número de individuos reproductores y la viabilidad de las mismas.

## **RECOMENDACIONES**



## RECOMENDACIONES

1. Diseñar un plan estratégico para el manejo y conservación de las poblaciones de *Picea mexicana* y *Picea martinezii* de forma participativa con las autoridades competentes estatales y locales, las asociaciones no gubernamentales (ONG), las áreas naturales protegidas, las organizaciones comunitarias forestales y las unidades de manejo forestal (UMAFOR) para la implementación de las acciones de conservación genética de las poblaciones.
2. Evaluar las poblaciones usando marcadores moleculares de ADN como microsatélites y AFLP para evaluar la diversidad genética ampliando la muestra del genoma.
3. Proponer a la SEMANART el registro y autorización de las UMA para *Picea mexicana* La Marta, La Mohinora y EL Coahuilón y en *Picea martinezii* Agua Fría-Agua Lardín, El Butano y La Encantada para la implementación de las acciones de conservación genética de las poblaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre C., O. A., J. J. Jiménez P., H. Kramer y A. Akça. 2003. Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL* 2(6): 219 – 225.
- Alba-Landa, J. y J. Márquez-Ramírez. 2006. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de Los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 8(1): 31-36.
- Alba-Landa, J., R. J. Márquez y C. H. S. Bárcenas. 2005. Potencial de producción de semillas de *Pinus greggii* Engelm. en tres cosechas de una población ubicada en Carrizal Chico, Zacualpan, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(2): 37-40.
- 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., 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.
- Alcántara, O. y I. Luna. 2001. Análisis florísticos de dos áreas con bosques mesófilos de montaña en el estado de Hidalgo. *Acta Botánica Mexicana*. 54: 51 – 87.
- Alexander, R. R. y W. D. Shepperd. 1990. *Picea engelmannii* Parry ex Engelm. Engelmann spruce. *In* *Silvics of North America*. Volume 1. Conifers. Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., technical coordinators. Agric. Handb. 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 187-203.
- Amaral, W., L. Thomson y A. Yanchuk. 2004. Conservation of genetic resources in their natural environment. *In* *Forest genetic resources conservation and management*. Vol. 1: Overview, concepts and some systematic approaches. International Plant Genetic Resources Institute, FAO, FLD, IPGRI. Rome, Italy. pp. 1-2.

- Amos, W. y A. Balmford. 2001. When does conservation genetics matter? *Heredity* 87: 257-265.
- Arriaga L., J., M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Escala de trabajo 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. ([www.conabio.gob](http://www.conabio.gob)).
- Association of Official Seed Analysis (AOSA). 1992. Seedling evaluation handbook. Contribution No. 35 to the handbook on seed testing. 101 p.
- Bauche, P., P. R. Villavicencio G., A. Gallegos R. y M. Huerta M. 2002. Índices de diversidad aplicados a comunidades arbóreas en la zona de protección de flora y fauna "Sierra de Quila", estado de Jalisco. CUCBA, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 9 p.
- Beristáin B., J. J. 1992. Variación morfológica y anatómica de acículas de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 93p.
- Braham S., S. 1995. Regeneración natural de *Picea engelmannii* var. *mexicana* en Arteaga, Coah., y Rayones, N. L. Tesis Profesional. UAAAN. Saltillo, Coah., México. 70 p.
- 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. Genetic Technical Report. SE-13. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C. U. S. A. 28 p.
- Capó A., M., S. Valencia M., C. Flores L., y S. Braham S. 1997. Informe final de actividades del proyecto: Autoecología del género *Picea* en Nuevo León. Presentado a: Consejo Consultivo Estatal para la Preservación y Fomento de la Flora y Fauna Silvestre de Nuevo León. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 160 p.
- Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz, J. G. Arreola-Ávila, I. Sánchez-Cohen, R. D. Valdez-Cepeda y G. García-Herrera. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. *Madera y bosques* 15(2):27-44.

- Cervantes-Zamora, Y., S. L. Cornejo Olgín, R. Lucero-Márquez, J. M. Miranda Viquez, E. Espinoza-Rodríguez y A. Pineda-Velázquez, 1990. Provincias Fisiográficas de México. Extraído de la clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. [En línea]. 8 de marzo de 2009. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?id=19](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?id=19)
- CETENAL. 1977b. Carta edafológica. G14C46. Rayones. Escala 1:50,000.
- 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, Cartón de Colombia. Cali de Colombia. 5 p.
- Colinvaux, P. 1982. Introducción a la ecología. 1ª. Reimpresión, Limusa S. A. México D. F. 663 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Listado de regiones terrestres prioritarias. México. [En línea]. 1 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistados.html>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2005. División Política Estatal. Escala 1:1000000. Extraído de Conjunto de Datos vectoriales topográficos y toponímicos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?id=398](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?id=398)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2004. Mapa base del estado de Nuevo León. Escala 1: 2 000 000. México. [Archivo en línea en formato Vectoriales (Arcview)]. [En línea]. 02 de febrero de 2009. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatosftp\\_esp.cgi?id=446&formato=d](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatosftp_esp.cgi?id=446&formato=d)
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Curvas de nivel para la República Mexicana. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

- (INEG). México. [En línea]. 20 de diciembre de 2008. Disponible en: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo\\_metadatos\\_esp.cgi?Id=110](http://www.conabio.gob.mx/informacion/cgi-bin/geo_metadatos_esp.cgi?Id=110)
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2013. Acciones y programas: Documentos para consulta. [En línea]. 2 de diciembre de 2013. Disponible en: <http://www.conanp.gob.mx/acciones/consulta/>
- Conifer Specialist Group. 2000. *Picea engelmannii* ssp. mexicana. In IUCN 2007. 2007 IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org/>. Downloaded on 30 August 2008.
- Cornejo O., E. H. 1987. Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga*, *Pinus*, *Abies* en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 196 p.
- Cruz-Nicolás, J., J. J. Vargas-Hernández, P. Ramírez-Vallejo y J. López-Upton. 2008. Patrón de cruzamiento en poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en México. *Agrociencia*, 42: 367-378.
- Curtis, J.T. y R.P. MacIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of wisconsin. *Ecological society of America. Ecology* 32(3): 476-496.
- Del Río, M., F. Montes, I. Cañellas y G. Montero. 2003. Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales* 12(1): 159 – 176.
- Delgado, P., L. E. Eguiarte, F. Molina-Freaner, E. R. Alvarez-Buylla y D. Piñero. 2008. Using phylogenetic, genetic and demographic evidence for setting conservation priorities for Mexican rare pines. *Biodiversity and Conservation* (2008) 17:121–137.
- DETENAL. 1978. Carta edafológica. F14A17. Zaragoza. Escala 1:50 000.
- DETENAL. 1977. Carta edafológica. G14C87. Aramberri. Escala. 1:50 000.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2005. Aviso mediante el cual se informa al público en general que están a su disposición los estudios realizados para justificar la expedición del Decreto por el que se pretende declarar como área natural protegida con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la zona conocida como Cerro de Mohinora, localizada en el municipio de Guadalupe y Clavo, en el

Estado de Chihuahua. Tomo DCXXI No. 3, p-3, 3 de junio 2005. Poder ejecutivo, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. México, D.F.

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable: Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de diciembre de 2001. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 4 de junio de 2012. Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. México, D.F. 76 p. Fecha de consulta 2 febrero 2013. [<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/leyesfederales.aspx>]

Diario Oficial de la Federación (DOF). 2000. Ley General de Vida Silvestre. Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 2000. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 06-06-2012. México, D.F. 76 p. Fecha de consulta 2 febrero 2013. [<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/leyesfederales.aspx>]

Diario Oficial de la Federación (DOF). 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente: Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988. Texto vigente. Última reforma publicada DOF 01-06-2012. Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión. México, D.F. 113 p. Fecha de consulta 2 febrero 2013. [<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/leyesfederales.aspx>].

FAO-UNESCO. 1990. Mapa mundial de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 60. Roma, Italia. 190 p.

Farjon, A. 2001. World checklist and bibliography of conifers. 2nd edition. Kew: Royal Botanic Gardens. 316 p.

Farjon, A. y C. N. Page (compiladores). 1999. Conifers. Status survey and conservation action plan. IUCN/SCC Conifer Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 121 p.

Flores M., G., J. Jiménez L., X. Madrigal S., F. Moncayo R. y F. Takaki T. 1971. Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México 59 p.

- Flores-López, C., G. Geada-López y López-Upton, J. 2013. Morphological variation in natural population of *Picea mexicana* Martínez. *Revista Forestal Baracoa* 32(2).
- Flores-López, C., G. Geada-López, J. López-Upton y E. López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa* 31(2): 49-58.
- Flores-López, C., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos de poblaciones de *Picea Mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39 (01): 117-126.
- Fowler, D. P., and Y. S. Park. 1983. Population studies of white spruce. I. Effects of self-pollination. *Canadian Journal of Forest Research*, 13: 1133-1138.
- Frankham, R., J. D. Ballou y D. A. Briscoe. 2007. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 617 p.
- Frankham, R. y J. Kingsolver. 2004. Responses to environmental change: adaptation or extinction. *In* Ferrière R, Dieckmann U, Couvet D (eds.) *Evolutionary conservation biology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 85–100.
- Frankham, R., D. A. Briscoe y J. D. Ballou. 2002. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press, New York, New York, USA. 642 p.
- Frankham, R. 1998. Inbreeding and extinction: island populations. *Conservation Biology* 12 (3): 665-675.
- Furnier, R. 2004. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In*: Manejo de recursos genéticos forestales. Vargas H., J. J., B. Bermejo V. y F. T. Frankham Editores. 2ª Ed. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp. 20-31.
- García, N., R. M. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 54 p.
- García, E. y CONABIO. 1998. *Isotermas Medias Anuales*. Escala 1:1000000, México. [En línea]. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 4ta. Ed. 1987. Secretaría de

- la Presidencia. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México. 217 p.
- Gómez L., J. A. 2007. Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T. F. Patterson en tres poblaciones de Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 44 p.
- Gómez-Jiménez, D.M, C. Ramírez-Herrera, J. Jasso-Mata y J. López-Upton. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlttdl. & Cham. Revista Fitotecnia Mexicana, 33 (4): 297-304.
- González-Tagle, M. A., L. Schwendenmann, J. Jiménez-Pérez y W. Himmelsbach. 2007. Reconstrucción del historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. Madera y bosques. 13(2): 51-63.
- Gordon, E. A., O. E. Franco y M. L. Tyrrell. 2005. Protecting biodiversity: a guide to criteria used by global conservation organizations. Global Institute of Sustainable Forestry, Yale School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, USA 165 p.
- Graham, A. 1993. Historical factors and biological diversity in Mexico. In T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa [eds.], Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press, Oxford. pp. 109–127.
- Graham, A. 1976. Source studies in Neotropical Paleobotany. II. The Miocene Communities of Veracruz, Mexico. Annals of the Missouri Botanical Garden 63 (4):787-842.
- Hamrick, J. L. y M. J. W. Godt. 1996. Effects of life history traits on genetic diversity in plant species. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B 351 (1345): 1291–1298.
- Hamrick J.L., M.J.W. Godt, S.L. Sherman-Broyles. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forests, 6:95–124.
- Hedrick, P. W. 2000. Conservation genetics: where are we now? Trends in Ecology and Evolution. 16:629–636.
- Hernández G., J. J. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* de Oaxaca y Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.



- Hernández S., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 32 p.
- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. *In*: análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Franco, T. L., R. Hidalgo Editores. Boletín Técnico No. 8, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) Cali, Colombia. pp. 2-26.
- Hinton, J. y G. S. Hinton. 1995. Checklist of Hinton's collections of the flora of South-Central Nuevo Leon and adjacent Coahuila. *Acta Botánica Mexicana*, 30: 41 – 112.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1979. Handbook for Seedling evaluation. Int. Seed Test. Assoc. Zurich, Switzerland. 130 p.
- Isaza N., W.S. Dvorak y J. López-Upton. 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 p.
- Jaramillo-Correa, J. P., E. Aguirre-Planter, D. P. Khasa, L. E. Eguiarte, D. Piñero, G. R. Furnier y J. Bousquet. 2008. Ancestry and divergence of subtropical montane forest isolates: molecular biogeography of the genus *Abies* (Pinaceae) in southern México and Guatemala. *Molecular Ecology* 17: 2476–2490.
- Jaramillo-Correa, J. P., J. Beaulieu, F. T. Ledig y J. Bousquet. 2006. Decoupled mitochondrial and chloroplast DNA population structure reveals Holocene collapse and population isolation in a threatened Mexican-endemic conifer. *Molecular Ecology* 15: 2787–2800.
- Jiménez S., M. del P. 2000. Análisis de la variabilidad genética de *Quercus suber* L. mediante marcadores moleculares y su aplicación a la conservación de recursos genéticos. Tesis profesional. Departamento de Silvopascicultura Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes Universidad Politécnica de Madrid. Madrid España. 158 p. +anexos.

- Jinxing L., D.A. Sampson, y R. Ceulemans. 2001. The effect of crown position and tree age on resin-canal density in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Canadian Journal of Botanic* 79: 1257–1261
- Johnsen, Ø., C. G. Fossdal, N. Nagy, J. Mølmann, O. G. Dæhlen y T. Skrøppa. 2005. Climatic adaptation in *Picea abies* progenies is affected by the temperature during zygotic embryogenesis and seed maturation. *Plant, Cell and Environment* 28: 1090–1102.
- Katsuki, T., K. Shimada y H. Yoshimaru. 2011. Process to extinction and genetic structure of a threatened Japanese conifer species. *Journal of Forestry Research* 16:292–301.
- Keel, S., A. H. Gentry and L. Spinzi. 1993. Using vegetation analysis to facilitate the selection of conservation sites in Eastern Paraguay. *Conservation biology* 7(1): 66-75.
- Kjær, E., W. Amaral, A. Yanchuk y L. Graudal. 2004. Strategies for conservation of forest genetic resources. *In* Forest genetic resources conservation and management. Vol. 1: Overview, concepts and some systematic approaches. International Plant Genetic Resources Institute, FAO, FLD, IPGRI. Rome, Italy. pp. 5-24.
- Kuuluvainen, T., K. Syrjänen y R. Kalliola. 1998. Structure of a pristine *Picea abies* forest in northeastern Europe. *Journal of Vegetation Science* 9 (4): 563–574.
- Lambshead, P. J. D., G. I. J. Paterson y J. D. Gage. 1997. BioDiversity Professional Version 2. Written by Neil Mc Aleece. Natural History Museum & The Scottis Association for Marien Science. [En línea]. 20 de febrero de 2009. Paquete gratuito disponible en: <http://www.bio.unipg.it/ecologia/download/bdpro.zip.htm>
- Ledig, F. T. 2012. Climate change and conservation. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 8: 57–74.
- Ledig, F. T., G. E. Rehfeldt, C. Sáenz-Romero y C. Flores-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany* 97(6): 970-987.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss, y D. R. Johnson. 2005. Genic diversity, genetic structure, and mating system of brewer spruce (pinaceae), a relict of the arcto-tertiary forest. *American Journal of Botany* 92(12): 1975–1986.

- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss, K. U. Krutovskii, D. B. Neale y T. Eguiluz-Piedra. 2004. Relationships among the Spruces (*Picea*, Pinaceae) at Southwestern North America. *Systematic Botany* 29(2): pp. 275-295.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss y V. Jacob-Cervantes. 2002. Genetic diversity, mating system, and conservation of a Mexican subalpine relict, *Picea mexicana* Martínez. *Conservation Genetics* 3 (2): 113-122.
- Ledig, F. T., M. Mápula L., B. Bermejo V., C. Flores L., V. Reyes H., y M. A. Capó A. 2000a. Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño* 47:71-88.
- Ledig, F. T., B. Bermejo V., P. D. Hodgskiss, D. R. Johnson, C. Flores L. y V. Jacob C. 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* 30 (9): 1156-1164.
- Ledig, F. T., M. T. Conkle, B. Bermejo-Velazquez, T. Eguiluz-Piedra, P. D. Hodgskiss, D. R. Johnson y W. S. Dvorak. 1999. Evidence for an extreme bottleneck in a rare Mexican pinyon: genic diversity, disequilibrium, and the mating system in *Pinus maximartinezii*. *Evolution* 53: 91-99.
- Ledig, F. T., V. Jacob C., P. D. Hodgskiss y 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.
- Lemus S., J. L. 1999. Análisis de conos y semillas de *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini. Tesis profesional. UAAAN Buenavista, Saltillo, Coahuila. 130p.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W.W. Stroup y R. D. Wolfinger. 1996. SAS<sup>®</sup> System for mixed models. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA 633 p.
- 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.
- López L., D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en las poblaciones naturales de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 57 p.

- López U., J., V. Velazco F., J. Jasso M., C. Ramírez y J. J. Vargas H. 2001. Hibridación natural entre *Pinus oocarpa* y *P. pringlei*. *Acta Botánica Mexicana* 57: 51-66.
- 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* Engelm. *Agrociencia, Recursos Naturales Renovables* 3: 81-95.
- López-Upton, J. y J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. in natural stands in México. *Tree Planters' Notes* 46 (3): 1-10.
- Lynch, M., J. Conery y R. Burger. 1995. Mutation accumulation and the extinction of small populations. *American Naturalist* 146: 489–518.
- Malusa, J. 1992. Phylogeny and Biogeography of the Pinyon Pines (*Pinus* subsect. *Cembroides*). *Systematic Botany* 17(1): 42-66.
- Mápula-Larreta, M., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y A. Hernández-Livera. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16: 727-742.
- Martin, P. S. y B. E. Harrell. 1957. The Pleistocene history of temperate biotas in Mexico and eastern United States. *Ecology* 38: 468 – 480.
- Martínez C., N. 1998. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* 69 (2): 119-134.
- Martínez, M. 1961. Una nueva especie de *Picea* en México. *Anales del Instituto de Biología UNAM* 32 (1-2): 137-142.
- 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.
- Miyazawa K. y M. J. Lechowicz. 2004. Comparative seedling ecology of eight north american spruce (*Picea*) species in relation to their geographic ranges. *Annals of Botany* 94: 635–644.

- Morales-Velázquez., M.G., C.A. Ramírez-Mandujano, P. Delgado-Valerio y J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana Ciencia Forestal*. 1(2):31-38.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T—Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España. 84 p.
- 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.
- Mosseler, A. y O.P. Rajora. 1998. Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success. In *Environmental Forest Science*. Edited by K. Sissa. Kower Academic Publishers, Dordrecht, the Wetherlands. pp. 333-344.
- Mostacedo B. y T. S. Fredericksen. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Muñoz C., E. 1995. Variación morfológica de acículas, conos y plántulas en distintas procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 41 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.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89: 583-590.
- Newton, A.C., T. R. Allnutt, W. S. Dvorak, R. F. Del Castillo y R. A. Ennos. 2002. Patterns of genetic variation in *Pinus chiapensis*, a threatened Mexican pine, detected by RAPD and mitochondrial DNA RFLP markers. *Heredity* 89: 191–198.
- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. *In Memoria mejoramiento genético y plantaciones forestales*. T. Eguiluz P. y A. Plancarte B. Editores. Ed. Centro Genética Forestal, A.C. Lomas de San Juan, Chapingo. pp. 16-23.

- O'Connell, L. M., A. Mosseler y O. P. Rajora. 2006. Impacts of forest fragmentation on the reproductive success of white spruce (*Picea glauca*). *Canadian Journal of Botany* 84:956–965.
- O'Neill, G. A., S. N. Aitken, J. N. King y R. I. Alfaro. 2002. Geographic variation in resin canal defenses in seedlings from the Sitka spruce × white spruce introgression zone. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 390–400.
- Oosting, H. J. y W. D. Billings. 1951. A Comparison of Virgin Spruce-Fir Forest in the Northern and Southern Appalachian System. *Ecology* 32:84–103.
- Palacios Ch., R. y J. Rzedowski. 1993. Estudio palinológico de las floras fósiles del Mioceno Inferior y principios del Mioceno Medio de la región de Pichucalco, Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 24: 1 - 96.
- Park, Y. S. y D. P. Fowler. 1984. Inbreeding in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.): self-fertility, genetic load, and performance. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 17-21.
- Patterson, T. E. 1988. A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo Leon, Mexico. *SIDA* 13: 131-135.
- Piñero, D., J. Caballero-Mellado, D. Cabrera-Toledo, C. E. Canteros, A. Casas, A. Castañeda S., A. Castillo, R. Cerritos, O. Chassin-Noria, P. Colunga-GarcíaMarín, P. Delgado, P. Díaz-Jaimes, L. E. Eguiarte, A. E. Escalante, B. Espinoza, A. Fleury, S. Flores R., G. Fragoso, J. González-Astorga, V. Islas V., E. Martínez, F. Martínez, J. Martínez-Castillo, A. Mastretta Y., R. Medellín, L. Medrano-González, F. Molina-Freaner, B. Morales V., A. Murguía V., E. Payró de la C., M. del R. Reyes-Montes, M. R. Robles S., G. Rodríguez-Arellanes, L. Rojas B., R. Romero-Martínez, J. H. Sahaza-Cardona, R. Salas L., E. Sciotto, Ch. S. Baker, Y. Schramm U., C. Silva, V. Souza, M. L. Taylor, J. Urbán R., M. Uribe-Alcocer, M. de J. Vázquez C., E. Vázquez-Domínguez, A. P. Vovides, A. Wegier, A. Zaldívar R. y G. Zúñiga. 2008. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. *In* Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México. pp. 437-494.

- Priego, A., H. Morales, A. Fregoso, R. Márquez y H. Cotler. 2003. Diagnóstico biofísico. *In*: Diagnóstico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. INE, Dirección General de Investigaciones en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. 13 – 84 pp. [En línea]. 03 de setiembre de 2007. Disponible en: [http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag\\_lerma\\_chapala .pdf](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag_lerma_chapala.pdf)
- Prieto M. E. 1992. Variación morfológica de conos y semillas de 13 poblaciones naturales de *Picea* (Pinaceae) en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 73 p.
- 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.
- Primack R., R. Rozzi, P. Feisinger, R. Dirzo y F. Masardo. 2001. Fundamentos de conservación biológica. Fondo de cultura económica, México. 797 p.
- Qiang, W., X. Wang, T. Chen, H. Feng, L. An, Y. He y G. Wang. 2003. Variations of stomatal density and carbon isotope values of *Picea crassifolia* at different altitudes in the Qilian Mountains. *Trees* 17: 258–262
- Rajora, O. P. y A. Mosseler. 2001. Challenges and opportunities for conservation of forest genetics resources. *Euphytica* 118: 197-212.
- Rajora, O. P., A. Mosseler, and J. E. Major 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. II. Genetic diversity, population structure, and mating behavior. *Canadian Journal of Botany* 78: 941-956.
- Ran J.-H., X.-X. Wei y X.-Q. Wang. 2006. Molecular phylogeny and biogeography of *Picea* (Pinaceae): Implications for phylogeographical studies using cytoplasmic haplotypes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 41: 405–419.
- Rehfeldt, G. E. 2004. Interspecific and Intraspecific variation in *Picea engelmannii* and its congeneric cohorts: biosystematics, genecology, and climate Change. *General*

- Technical Report RMRS-GTR-134. United States Department of Agriculture Forest Service. Rocky Mountain Research Station. 18 p.
- Reyes H., V. J., J.J. Vargas H., J. López U. y H. Vaquera H. 2005. Variación morfológica y anatómica en poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* (pinaceae). Acta Botánica Mexicana 70: 47-67.
- Rodríguez L., R., y M. A. Capó A. 2005. Morfología de acículas y conos en poblaciones naturales de *Pinus arizonica* Engelm. Ra Ximhai 1(1): 131-152.
- Rodríguez, L. R. 1996. Variación morfológica en algunas poblaciones naturales de *Pinus Arizona* Engelm. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 61 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México 504 p.
- Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. Acta Botánica Mexicana, 35: 25 – 44.
- Sáenz-Romero, C. y B. L. Tapia-Olivares. 2003. *Pinus oocarpa* isoenzymatic variation along an altitudinal gradient in Michoacán, México. Silvae Genetica 52(5-6): 237-240
- 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.
- Santillán–Hernández, M., E. H. Cornejo–Oviedo, J. Villanueva–Díaz<sup>3</sup>, J. Cerano–Paredes, S. Valencia–Manzo y M. A. Capó–Arteaga. 2010. Dendroclimatic potential of *Pinus pinceana* Gordon in the Sierra Madre Oriental. Madera y bosques. 16(1): 17-30.
- Santos G., R. 1998. Variación morfológica y anatómica en hojas y conos de ocho localidades de *Pseudotsuga* en el Norte de México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- 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. D. O. F. 30 de diciembre de 2010. México. 77 p. [En línea]. 25 de abril de 2011. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/SEMARNAT%20DOF/Norma%20Oficial%20Mexicana%20NOM-059-SEMARNAT-2010.pdf>
- SEMARNAT-CONAFOR. 2004. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales. 35 pp.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2001a. Programa Nacional Forestal 2001-2006. 118 p.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2001b. Programa Estratégico Forestal para México 2025. 173 p.
- SEMARNAT-CONANP 2005. Estudio previo justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida: Área de Protección de Flora y Fauna “Cerro del Mohinora”. México DF. 64 p.
- Sheue, C. R., Y. P. Yang y L. L. Kuo-Huang. 2003. Altitudinal variation of resin ducts in *Pinus taiwanensis* Hayata (Pinaceae) needles. Botanical Bulletin of Academia Sinica 44: 305-313.
- Sheue, C. R., Y. P. Yang y L. L. Kuo-Huang. 2000. Structural variation of the needles of *Pinus taiwanensis* Hay. along an elevational gradient. Taiwan Journal Forest Science 15: 337-349.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de los suelo en el campo. Publicación especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México. 57 p.
- Sit, V. 1995. Analyzing ANOVA Designs. Biometrics Information Handbook 5. Research Branch, B. C. Ministry of Forests. Working Paper 07/1995. Victoria, B. C, Canada 61 p.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2008a. Normales Climatológicas, periodo 1971 - 2000, San Antonio de las Alazanas. Estado de Coahuila, México [en línea]. México, 2008. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2008]. Disponible en: <<http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/coah/NORMAL05049.TXT>>
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2008b. (Servicio Meteorológico Nacional). Normales Climatológicas, periodo 1971 – 2000, Guadalupe y Calvo. Estado de Chihuahua, México [en línea]. México, 2008. [Fecha de consulta: 25 de octubre de

2008]. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/estacion/chi/NORMAL08073.TXT>

- Snedecor, W. G y G. W. Cochran. 1981. Métodos estadísticos. Ed. Continental. México. 703 p.
- Sorensen, F. C. 1999. Relationship between self fertility, allocation of growth, and inbreeding depression in three coniferous species. *Evolution* 53:417–425.
- Sorensen, F. C. y R. K. Campbell. 1993. Seed weight-seedling size correlation in coastal Douglas-fir: genetic and environmental components. *Canadian Journal of Forest Research*, 23: 275-285.
- Sorensen, F. C. and R.S. Miles. 1974. Self-pollination on Douglas-fir and ponderosa pine seeds and seedlings. *Silvae Genetica* 23 (5): 135-165.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. AGT México. 690 p.
- Taylor, R. J., T. F. Patterson y R. J. Harrod, R.J. 1994. Systematics of Mexican Spruce-Revisited. *Systematic Botany* 19: 47-59.
- Taylor, R. J. y T. F. Patterson. 1980. Biosystematics of Mexican spruce species and populations. *Taxon* 29 (4): 421-469.
- Telewski, F.W., R.T. Swanson, B.R. Strain, y J.M. Burns. 1999. Wood properties and ring width response to longterm atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment in field-grown loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Plant Cell Environment* 22: 213-219
- Tighe, M. E. 2004. Manual de recolección y manejo de polen de pinos tropicales y subtropicales procedentes de rodales natural. CAMCORE. Raleigh, NC, USA. 20p.
- Tiwari, S. P., P. Kumar, D. Yadav y D. K. Chauhan. 2013. Comparative morphological, epidermal, and anatomical studies of *Pinus roxburghii* needles at different altitudes in the North-West Indian Himalayas. *Turkish Journal of Botany* 37: 65-73.
- Todhunter, M. N. y R. B. Polk. 1981. Seed and cone production in a clonal orchard of jack pine (*Pinus banksiana*) *Canadian Journal of Forest Research*, 11: 512-516.
- UICN– Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza. 2004. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2004 [en línea]. UICN – Unión Internacional de

- Conservación de la Naturaleza, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Disponible en: <http://www.iucnredlist.org>. Fecha de acceso: 15 de enero de 2013.
- UICN– Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza. 2001. Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp.
- UNAM. 1970. Carta de climas. Clave 14R-VII. Monterrey. Secretaría de la Presidencia. Escala 1:500 000.
- Valdez T., V., R. Foroughbakhch P. y G. Alanís F. 2003. Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México. *Ciencia UANL* 6(3): 360 - 365.
- Vázquez C., O. G., E. O. Ramírez-García. y J. Alaba-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.
- Vilela, A. E. y S. Acosta C. 2001. *Pinus chiapensis*: un enfoque ecológico de anatomía foliar. *Polibótanica*. 11: 111-120.
- Villa-Pérez, V. H. 2010. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus johannis* M.-F. Robert en el noreste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 37 p.
- Villavicencio E., L. y J. I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37(4): 413 - 423.
- Volis, S. y M. Blecher. 2010. *Quasi in situ*: a bridge between *ex situ* and *in situ* conservation of plants. *Biodiversity and conservation* 19 (9): 2441-2454.
- Weng, C. y S. T. Jackson. 2000. Species differentiation of North American spruce (*Picea*) based on morphological and anatomical characteristics of needles. *Canadian Journal of Botany* 78 (11): 1367-1383.
- White, T. L., W. T. Adams y D. B. Neale. 2007. *Forest genetics*. CABI. Cambridge, MA, USA. 682 p.
- Williams L., G., A. Rowden y A. C. Newton. 2003. Distribution and stand characteristics of relict populations of Mexican beech (*Fagus grandifolia* var. *mexicana*). *Biological Conservation* 109: 27 – 36.

- Wright, S. 1965. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution* 19: 395-420.
- Yeh, F. C., R. Yang y T. Boyle. 1999. POPGENE version 1.31, Microsoft Window-based Freeware for Population Genetic Analysis, Quick User Guide. Department of Renewable Resources University of Alberta Edmonton, AB Canada. 28 p.
- 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.
- Zhou, Y., M. Schaub, L. Shi, Z Guo, A. Fan, C. Yan, X. Wang, C. Wang, S. Han y M. Li. 2012. Non-linear response of stomata in *Pinus koraiensis* to tree age and elevation. *Trees* 26:1389–1396.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Ordenación Fitosociológica de las parcelas para *Picea mexicana*

Especies	MO8	MO3	MO9	MO7	MO11	MO5	MO6	MO2	MO10	CO5	CO4	CO6	CO3	CO2	MA2	MA1	MA5	CO1	MA6	MA4	MA3	MO4	MO1	AR (%)	DR (%)	FR (%)	IVIE (%)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	12	15	9	8	4	3	8	3	2	5	7	10	10	11	5	7	9	1	2	1	35	5	3	28,7	31,1	27,4	87,1
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	3	5	1	3	5	6	1	3	12				1	1	9	5	9		11	1	3	15	16	16,9	22,0	22,6	61,6
<i>Pinus rudis</i> Endl.										7	7	9	6	13	4	5	2	14	4		15			20,7	21,3	13,1	55,1
<i>Abies durangensis</i> Martínez	9	13	6	3	8	5	14	1	22													2		13,4	11,3	11,9	36,6
<i>Abies vejari</i> Martínez															4	4	10		20	26	2			16,6	9,0	7,1	32,8
<i>Populus tremuloides</i> Michx.	3	2	2	1					1											3		4	4	2,6	4,1	9,5	16,2
<i>Pinus arizonica</i> Engelm.						1			1														1	0,3	0,2	3,6	4,1
<i>Pinus cooperi</i> Blanco					2																			0,2	0,9	1,2	2,3
<i>Sambucus sp.</i> L.																				1				0,4	0,0	1,2	1,6
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehrenb. ex Schltdl.									1															0,2	0,0	1,2	1,4
<i>Salix paradoxa</i> H. B. K.		1																						0,1	0,0	1,2	1,3

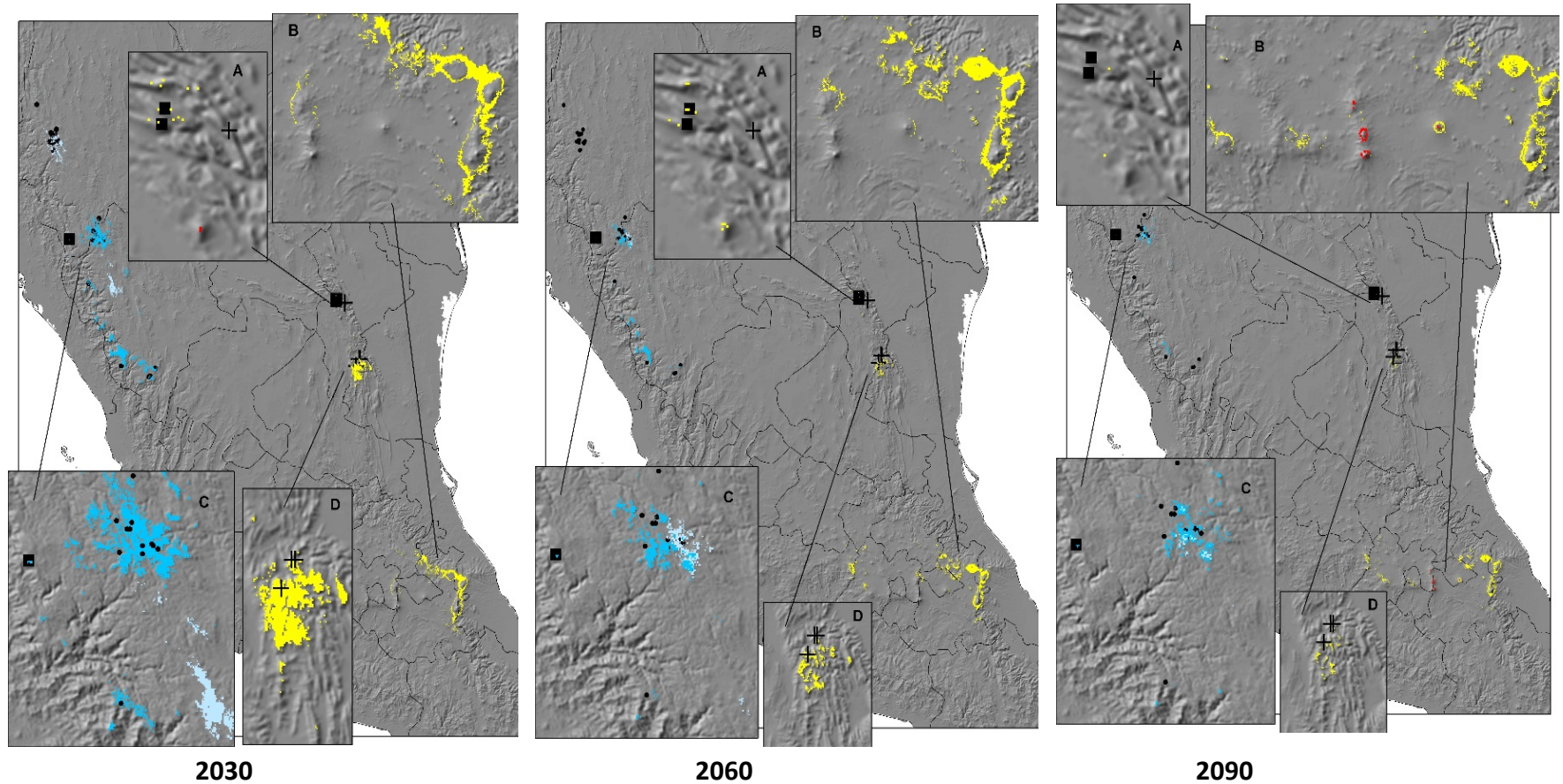
Parcelas muestreadas de poblaciones de *Picea mexicana*: MO: El Mohinora, CO: El Coahuilón y MA: La Marta, AR= Abundancia relativa, DR=Dominancia relativa, FR=Frecuencia relativa, IVIE= índice valor de importancia ecológica

Anexo 2. Ordenación Fitosociológica de las parcelas para la *Picea martinezii*

Especie	EN2	EN1	EN3	AF2	AF1	AL2	AF5	AF3	AF7	AF4	AL1	BU6	BU3	BU2	BU1	BU5	BU4	AL3	AF6	AR(%)	DR (%)	FR (%)	IVIE (%)		
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	11	10	6	5	17	1	7	8	2	8	6	2	19	8	4	5	7	4	2	13,9	17,1	13,6	44,6		
<i>Taxus globosa</i> Schltld.	13	9	11	4			2	1	1			4	11	7	6	1	1	3	1	13,1	3,6	10,7	27,5		
<i>Ilex rubra</i> S. Watson							11	3	1	11	11	10	5	1	5	26	16	1		8,5	7,4	8,6	24,4		
<i>Quercus sp.</i> L.	12	8								1		6	3	1		7		10		5,3	11,4	5,7	22,5		
<i>Abies vejari</i> Martínez	20	21	10																	9,6	6,1	2,1	17,8		
<i>Abies duranguensis</i> var. <i>coahuilensis</i> (Johnston) Martínez												9	12	21	10	5	17			6,0	5,8	4,3	16,2		
<i>Sambucus nigra</i> L.										3		8	1	5	34		3	1	1	7,1	1,6	5,7	14,4		
<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>brachyptera</i> Shaw	9	9	15																	6,1	4,8	2,1	13,1		
<i>Abies sp.</i> L.					8		15	1	4	1	5									4,1	3,9	5,0	13,0		
<i>Quercus sideroxylla</i> H.B. K.						24														3,2	8,6	0,7	12,6		
<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh. ssp. <i>mexicana</i> Martínez				1	7			1		5	10									2,0	5,5	3,6	11,1		
<i>Carpinus caroliniana</i> Walter			2	3				1	7		6						6		1	3,2	1,5	5,0	9,7		
<i>Juglans mollis</i> Engelm.												6	3	8	6	2	1			2,5	2,5	4,3	9,3		
<i>Quercus laurina</i> Humb. & Bonpl.			5				1	20	3											2,7	3,4	2,9	9,0		
<i>Pinus teocote</i> Schltld. et Cham.	1		1			10														1,9	3,3	2,1	7,3		
<i>Quercus greggii</i> (A.DC.) Trel.	4		10																1	2,0	2,9	2,1	7,0		
<i>Pinus estevezii</i> (Mtz) Perry				2	2	4	3													1,1	1,9	2,9	5,9		
<i>Cornus florida</i> L. ssp. <i>urbiniana</i> (Rose) Rickett.			1										2				2	5		1,5	1,1	2,9	5,4		
<i>Tilia americana</i> L.											2									4	1	0,7	1,9	2,1	4,7
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth.	1					3			1											0,7	1,5	2,1	4,3		
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	2	2	2																	0,7	1,0	2,1	3,8		
<i>Crataegus baroussana</i> Ettl.				2									3	1	4					0,1	0,7	2,9	3,7		
<i>Prunus serotina</i> Ehrh.												3	3						1	0,5	0,4	2,1	3,1		
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch.										1									9	1,0	0,3	1,4	2,8		
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ssp. <i>macrophylla</i> (Benth.) Dalwing														4						1,4	0,6	0,7	2,7		
<i>Liquidambar styraciflua</i> L.							3	1												0,2	0,8	1,4	2,4		
<i>Quercus laeta</i> Liebm.						4														0,8	0,3	0,7	1,9		

Parcelas muestreadas de poblaciones de *Picea martinezii*: EN: La Encantada, AF: Agua Fría, BU: El Butano y AL: Agua Lardín, AR= Abundancia relativa, DR=Dominancia relativa, FR=Frecuencia relativa, IVIE= índice valor de importancia ecológica

Anexo 3. Localización de las proyecciones de hábitats potenciales para 2030, 2060 y 2090 (tomado de Ledig, F. T., G. E. Rehfeldt, C. Sáenz-Romero y C. Flores-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. American Journal of Botany 97(6): 970-987)



Leyenda: rojo, *Picea mexicana*; amarillo, *Picea martinezii*; azul claro y oscuro, *Picea chihuahuana*  
A-frontera Coahuila-Nuevo-León, B-Puebla-Veracruz-Tlaxcala-Estado de México, C-frontera Chihuahua-Durango, D-frontera Nuevo León-Tamaulipas.