



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

**CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS Y ESTRUCTURA DE  
POBLACIONES DE *Pinus pinceana* GORDON EN EL ESTADO DE  
HIDALGO**

**ROSA ISELA QUIROZ VÁZQUEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

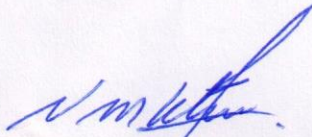
**2015**

La presente tesis titulada "**Características reproductivas y estructura de poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en el estado de Hidalgo**", realizada por la alumna: **Rosa Isela Quiroz Vázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS**  
**POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



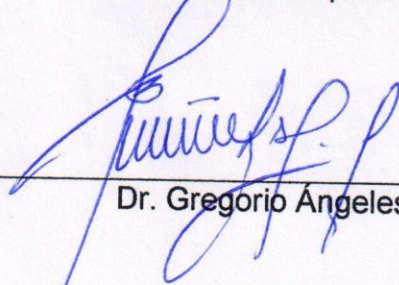
Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá

ASESOR:



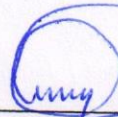
Dr. Javier López Uptón

ASESOR:



Dr. Gregorio Ángeles Pérez

ASESOR:



Dr. Antonio Trinidad Santos

Montecillo, Texcoco, Estado de México. Marzo de 2015

**EN MEMORIA DE MIS PADRES**

**GENARO (†) Y ROSA MARÍA (†)**

**A QUIENES AGRADEZCO TODO LO QUE ME DIERON Y SIEMPRE ME ACOMPAÑAN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al **Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología (CONACYT)**, por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios.

Al **Colegio De Postgraduados**, por todas las facilidades otorgadas durante mi estancia.

Al **Dr. Víctor M. Cetina Alcalá**, por todo su apoyo durante mi estancia en el programa doctoral, su amistad e impulsarme en mi formación profesional.

Al **Dr. Javier López Uptón**, por su detallada revisión de este documento, su valiosa orientación para concluir mi investigación y su amistad.

Al **Dr. Gregorio Ángeles Pérez**, por su paciencia y contribución en el desarrollo de este trabajo.

Al **Dr. Antonio Trinidad Santos**, por su disponibilidad y los comentarios emitidos al documento.

A los **Ingenieros Héctor Meza Álvarez y Marcelo Ortíz Ortega**, por su camaradería y apoyo en el trabajo de campo.

Al **Herbario de la Universidad Autónoma Chapingo**, por su apoyo en la identificación de ejemplares botánicos.

A mis amigos **Gisela, Juanita, Manuel, Celestino y Valentín** por brindarme su invaluable amistad todos estos años.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
ÍNDICE DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO II ESTRUCTURA Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE UN BOSQUE DE <i>Pinus pinceana</i> GORDON EN EL ESTADO DE HIDALGO</b>	<b>5</b>
<b>2.1 RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
2.4.1 Ubicación del área de estudio.....	9
2.4.2 Suelo.....	10
2.4.3 Clima.....	10
2.4.4 Método de muestreo.....	11
2.4.5 Análisis de la información.....	12
<b>2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>15</b>
2.5.1 Condiciones generales.....	15
2.5.2 Composición de especies.....	16
2.5.3 Distribución espacial.....	25
<b>2.6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>30</b>
<b>2.7 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO III CAPACIDAD REPRODUCTIVA DE <i>Pinus pinceana</i> GORDON EN EL LÍMITE SUR DE SU DISTRIBUCIÓN NATURAL</b>	
<b>3.1 RESUMEN.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 ABSTRACT.....</b>	<b>37</b>

<b>3.3</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
3.4.1	Descripción del área de estudio.....	41
3.4.2	Estimación de la producción de semilla.....	41
3.4.3	Análisis estadístico.....	43
<b>3.5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>3.6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>3.7</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN <i>Pinus pinceana</i></b>	
	<b>GORDON DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO</b>	
<b>4.1</b>	<b>RESUMEN.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>61</b>
<b>4.3</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>4.4</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
4.4.1	Prueba de viabilidad.....	65
4.4.2	Tratamientos pregerminativos.....	65
<b>4.5</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>69</b>
<b>4.6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>77</b>
<b>4.7</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>DISCUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>86</b>
<b>5.1</b>	<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>87</b>

## INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1. Características del suelo de la localidad El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	10
Cuadro 2.2. Composición florística y área basal de especies en el bosque de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	17
Cuadro 2.3. Índice de distribución espacial ( $I_{\delta}$ ) para <i>Pinus pinceana</i> y <i>Pinus cembroides</i> en un rodal en Cardonal, Hidalgo (individuos con $dn \geq 5$ cm fueron incluidos).....	28
Cuadro 2.4. Índice de Correlación Espacial ( $R_{\delta}$ ) de Morisita entre las especies de <i>Pinus</i> estudiadas y plántulas.....	29
Cuadro 3.1. Coordenadas geográficas y altitud de las poblaciones de <i>Pinus pinceana</i> Gordon, y valores promedio (y extremos) de altura, diámetro del fuste y edad de los árboles muestreados.....	41
Cuadro 3.2. Valores promedios de diferentes características de producción de semilla en dos poblaciones de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en el estado de Hidalgo, muestreados en tres años consecutivos (2001, 2002 y 2003).....	46
Cuadro 3.3. Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0.05$ ) entre características de producción de conos y semillas de <i>Pinus pinceana</i> Gordon ( $n=50$ ).....	52

	<b>Página</b>
Cuadro 4.1. Procedencias de semilla de <i>Pinus pinceana</i> utilizada en los tratamientos pregerminativos del estado de Hidalgo.....	65
Cuadro 4.2. Componentes de varianza (%) por factor y varianza total de la germinación de poblaciones de <i>Pinus pinceana</i> del estado de Hidalgo.....	71
Cuadro 4.3. Medias y error estándar de características germinativas en dos fechas de cosechas de dos poblaciones naturales de <i>Pinus pinceana</i> del estado de Hidalgo.....	72
Cuadro 4.4. Efecto del tratamiento pregerminativo con Hipoclorito de sodio al 1.95% sobre la germinación de poblaciones naturales de <i>Pinus pinceana</i> Gordon del estado de Hidalgo.	75



## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Fig. 2.1	Variación en temperaturas registradas en la estación meteorológica Cardonal, Hidalgo.....	11
Fig. 2.2.a	Distribución diamétrica del arbolado de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	20
Fig. 2.2.b	Distribución diamétrica del arbolado de <i>Pinus cembroides</i> en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	20
Fig. 2.3	Distribución diamétrica del arbolado de a) <i>Rhus andrieuxiii</i> b) <i>Gochnatia hypoleuca</i> y c) <i>Calia secundiflora</i> en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	21
Fig. 2.4	Distribución de edades y relación diámetro-edad de <i>Pinus pinceana</i> Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	23
Fig. 2.5	Distribución de edades y relación diámetro-edad en <i>Pinus cembroides</i> en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.....	24
Fig. 2.6	Distribución espacial de plántulas e individuos adultos (DAP $\geq$ 5 cm) de <i>Pinus pinceana</i> y <i>Pinus cembroides</i> en El Arenalito, Hidalgo.....	26
Fig. 3.1	Distribución de <i>Pinus pinceana</i> en México (basado en Favela <i>et al.</i> , 2009; Ledig <i>et al.</i> , 2001; Molina-Freaner <i>et al.</i> , 2001 y datos de campo).....	40

	<b>Página</b>	
Fig. 3.2	Variación en la producción de conos por árbol en dos localidades de <i>Pinus pinceana</i> Gordon del estado de Hidalgo durante tres años de muestreo (en los tres años se muestrearon los mismos árboles).....	45
Fig. 3.3	Contribución de árboles individuales a la producción total de conos (%) en cada una de las poblaciones de <i>Pinus pinceana</i> Gordon durante tres años de muestreo.....	49
Fig. 4.1	Germinación acumulada (%) de semillas obtenidas en dos cosechas de dos poblaciones de <i>Pinus pinceana</i> del estado de Hidalgo bajo diferentes pretratamientos germinativos.....	70

## RESUMEN

Rosa Isela Quiroz Vázquez, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2015

*Pinus pinceana* Gordon es una especie endémica de México, con distribución fragmentada, principalmente en el noreste y en menor escala en el Centro-Este del país, las poblaciones más sureñas se encuentran en el estado de Hidalgo. En este estudio se analizó el patrón de distribución espacial y diamétrica en un bosque maduro de esta especie en el estado de Hidalgo. Se evaluó la producción de conos y semillas durante tres años consecutivos y diferentes tratamientos pregerminativos en semillas almacenada por uno y dos años de recolecta en las localidades El Arenalito y San Cristóbal, Hidalgo. Para el estudio de distribución espacial, se estableció una parcela de observación de 30 x 200 m dividida en cuadros de 10 x 10 m. El análisis estructural se llevó a cabo a partir de la dominancia y densidad relativa. La distribución espacial de *P. pinceana* se analizó con el Índice de Dispersión ( $I\delta$ ) propuesto por Morisita. *P. pinceana* es un importante componente aunque no el principal en el bosque estudiado. La distribución espacial de manera general mostró un patrón de distribución agregado manteniendo una correlación negativa con los individuos de *Pinus cembroides*. Con respecto a indicadores reproductivos, las poblaciones mostraron diferencias significativas en seis de once características evaluadas, con alta variación entre árboles y fechas de producción. El primer año fue de alta producción de conos. La eficiencia de producción de semilla llena fue 54%, 43% y 26% para el primer, segundo y tercer año respectivamente. Pocos árboles generan la mayor cantidad de conos. La cantidad de semilla vana aumentó hasta en un 100% en El Arenalito durante el segundo y tercer año de evaluación. La viabilidad de la semilla con la prueba de tetrazolio al 1% fue de 77.5% en El Arenalito y 68% en San Cristóbal. En cajas Petri la contaminación por hongos fue común a pesar del uso de peróxido de hidrógeno. En invernadero fueron probados cinco tratamientos pregerminativos y un control. Las soluciones de hipoclorito de sodio por 5 (HS<sup>5</sup>) y 10 minutos (HS<sup>10</sup>) resultaron ser las mejores. No hubo diferencias significativas entre poblaciones o entre los dos años de recolecta en capacidad germinativa y vigor germinativo. La población de San Cristóbal tuvo el valor más grande del vigor germinativo en HS<sup>10</sup> en el segundo año, y la mejor velocidad de germinación. El tiempo de almacenamiento tiene un efecto negativo sobre la capacidad germinativa.

**Palabras clave:** estructura poblacional, patrón de distribución espacial, producción de conos y semillas, capacidad germinativa.

## ABSTRACT

Rosa Isela Quiroz Vázquez, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2015

*Pinus pinceana* Gordon is an endemic pine species to Mexico with discontinuous distribution throughout its range, located mainly in the northeast and the mid-east of the country. The southernmost populations are found in the state of Hidalgo where this fragmentation is more evident. In this study, I analysed the spatial pattern and diameter distribution of individuals of this species, in a mature forest in the state of Hidalgo. I also evaluated the cone and seed production during three consecutive years, testing for different pregerminative treatments of seeds stored for one and two years, for two seed collections from the localities “El Arenalito” and “San Cristóbal”, Hidalgo. The spatial distribution of the species was analyzed within one observation plot of 30 x 200 m, split into quadrants of 10 x 10 m. I used dominance and relative density indices to analyse the population structure. The spatial distribution of *P. pinceana* was analyzed with the Dispersion Index ( $I_d$ ) proposed by Morisita. Results showed that this species is an important but not the principal component in the ecosystem studied. In general, the spatial distribution showed an aggregate distribution pattern, maintaining a negative correlation with individuals of another pinion pine, *Pinus cembroides*. Reproductive indicators showed that populations have significant differences in six of the eleven characteristics evaluated, with high variation between trees and production dates. The efficiency of full seed production was 54 %, 43 % and 26 % for the first, second, and third year, respectively. Few trees produced the majority of cones. The amount of empty seed increased to 100 % during the second and third years, mainly in the population El Arenalito. The viability of seed was 77.5 % for El Arenalito and 68 % in San Cristóbal, obtained with a tetrazolium test with a 1% solution. Fungi contamination was a common problem despite the use of hydrogen peroxide. In greenhouse conditions, I tested five pregerminative treatments and a control. The best results were obtained using sodium hypochlorite by 5 (HS<sup>5</sup>) and 10 minutes (HS<sup>10</sup>). There were not significant differences, neither among populations nor between the two years of harvest, in germination capacity and germination value. The population of San Cristóbal had the largest value for germination vigor with HS<sup>10</sup> at the second year, and the best speed of germination. The storage time had a negative effect on the germination capacity.

**Key words:** population structure, spatial distribution pattern, cone and seed production, germination capacity.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las pináceas son una familia exclusiva del hemisferio norte, que exhiben la mayor diversidad de géneros tanto taxonómicamente como biológicamente (Farjon, 2003). En México, se cuenta con alrededor de 47 especies de pinos y 18 taxa infraespecíficos (Farjon y Styles, 1997), de las cuales muchas son endémicas. Los pinos piñoneros, tienen un alto grado de endemismo en México (Perry, 1991), algunos son especies de distribución muy amplia, como *Pinus cembroides* Zucc., otros con distribución muy restringida y con poblaciones pequeñas en riesgo de extinción local y global como *Pinus culminicola* Andresen et Beaman y *Pinus maximartinezii* Rzed. *Pinus pinceana* es una especie de piñonero endémica de México considerada como sujeta a protección especial por la NOM-059-ECOL-2010 (SEMARNAT, 2010) y se encuentra en la lista roja de la Internacional Union for Conservation of Nature and Natural Resources bajo esta misma categoría (IUCN, 2014).

*Pinus pinceana* forma poblaciones pequeñas en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro, Nuevo León e Hidalgo (Perry, 1991; Favela *et al.*, 2009); se presenta entre los 1400-2300 msnm en montañas áridas y semiáridas de la Sierra Madre Oriental (Martínez, 1948; Farjon, 1997). Este piñonero es un árbol de bajo porte (de hasta 15 m rara vez llega a 20 m) con ramas colgantes y copa redondeada (Perry, 1991), sus comunidades muestran una combinación de especies propias de bosque de encinos con elementos de matorral, presentándose como una forma de transición entre comunidades de vegetación xerófila y mesófila (Villareal-

Quintanilla *et al.*, 2009). Se presenta en rodales ralos o parcialmente asociados a *P. cembroides* y a otras plantas típicas del desierto (Passini, 1985).

*Pinus pinceana* ha mostrado que tiene un valor potencial como una especie para la práctica de la agroforestería (De los Ríos *et al.*, 2008) y ornamental por lo que representa un recurso natural que puede resultar útil en los programas de reforestación para lugares con precipitaciones muy escasas, y con sequías más severas y duraderas en las zonas áridas de nuestro país. Esto tiene importantes implicaciones ecológicas para la conservación del suelo, el hábitat y para la mitigación de los impactos del cambio climático. Más aún, se podrían considerar establecer plantaciones de propósito múltiples, como es la producción de semilla, por su bella forma lo hace apropiado para plantaciones ornamentales y para proporcionar sombra en poblaciones de las zonas áridas.

Sin embargo, es una especie severamente impactada por la actividad humana, lo que ha sugerido que requiere un programa de protección para algunas de sus poblaciones (Molina-Freaner *et al.*, 2001). Con la pérdida de partes de una población o con la destrucción de una población completa, se pierden componentes genéticos potencialmente importantes del género. Por ejemplo, un mayor número de individuos en una población garantizará mayor diversidad genética, la cual debe preservarse para mantener el potencial evolutivo de las especies.

El estado de Hidalgo representa el extremo sur de la distribución natural de *P. pinceana* donde habita en dos localidades. En recorridos de campo se observó que las plántulas o brinzales son extremadamente escasos. Por otro lado, se ha encontrado en algunos casos que las poblaciones que habitan en los márgenes de distribución de la especie en estudio, se encuentran más fragmentadas y aisladas de otras, con altos niveles de endogamia y baja capacidad reproductiva (Saccheri *et al.*, 1998; Mosseler, *et. al.* 2000), las condiciones ambientales son más limitativas ejerciendo una fuerte presión de selección; si a esto le aunamos los factores antropogénicos como la afectación por pastoreo de ganado caprino y recolección de leña, estas poblaciones están bajo riesgo de disminuir aún más.

El primer paso para establecer estrategias de conservación es recopilar la información necesaria sobre fenología, estructura de edades y factores que influyan en el proceso de regeneración; mientras que el estudio de características e indicadores reproductivos proporcionan medidas de la capacidad y éxito reproductivo y pueden ayudar a inferir el estado genético de la población (Mosseler *et al.*, 2000).

El desarrollo de métodos para la manipulación correcta de la semilla, incluyendo métodos de recolecta, almacenamiento, germinación y producción de planta apoyarán el manejo apropiado para lograr el éxito de las plantaciones, por lo tanto deben combinarse para impulsar esfuerzos de conservación *ex situ* y medidas de restauración de los ecosistemas naturales.

Por lo anterior, la presente tesis se divide en tres capítulos cuyos objetivos son:

- a. Analizar la estructura de las poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon del estado de Hidalgo.
- b. Determinar el potencial de producción de semilla en dos localidades de *Pinus pinceana* del estado de Hidalgo así como algunos parámetros descriptivos del estado reproductivo de la especie.
- c. Evaluar diferentes tratamientos pregeminativos y establecer un grupo inicial de plántulas en vivero.
- d. Determinar la variación genética de la germinación de semillas entre poblaciones.



## CAPITULO II. ESTRUCTURA Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE UN BOSQUE DE *Pinus pinceana* GORDON EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

### 2.I. RESUMEN

*Pinus pinceana* Gordon es una especie endémica de México con distribución restringida. En este estudio se analizó el patrón de distribución espacial y diamétrica en un bosque maduro de esta especie en el estado de Hidalgo. Se estableció una parcela de observación de 30 x 200 m dividida en cuadros de 10 x 10 m. Los individuos dentro de la parcela se clasificaron como plántulas, brinzales y adultos. En las especies de *Pinus* presentes, se incluyeron en la clasificación de adultos los individuos con diámetro  $\geq 5$  cm. El análisis estructural se llevó a cabo a partir de la dominancia y densidad relativa. La distribución espacial de *P. pinceana* fue realizada tomando las coordenadas X, Y de los individuos y analizadas con el índice de Dispersión ( $I_d$ ) propuesto por Morisita. *P. pinceana* es un importante componente del bosque estudiado aunque no el principal. Su estructura diamétrica presentó un patrón en forma de campana asemejando una curva normal. La distribución espacial de manera general demostró un patrón de distribución agregado manteniendo una correlación negativa con los individuos de *Pinus cembroides*.

Palabras clave: distribución, espacial, estructura, diamétrica.

## 2.2. ABSTRACT

*Pinus pinceana* Gordon is an endemic specie of México with a restricted distribution. In this study the pattern of spatial and diameter distribution in a small mature forest of *P. pinceana* in the State of Hidalgo was analyzed. A plot of observation of 30 x 200 m was established divided into quadrants of 10 x 10 m. In these plots, individuals were classified as seedlings, saplings and adults. The *Pinus* species were included in the classification of adult with diameter  $\geq 5$  cm. Structural analysis was conducted based on dominance and relative density. The spatial distribution of *P. pinceana* was performed taking the individuals coordinates of X, Y and analyzed with the index of Dispersion ( $I_{\delta}$ ) proposed by Morisita. *Pinus pinceana* is an important component of the studied forest but not the principal. The diameter structure showed a bell shape resembling a normal distribution. In general the spatial distribution showed an aggregated pattern maintaining a negative correlation with individuals of *Pinus cembroides*.

Key words: spatial, distribution, diameter, structure.

### 2.3. INTRODUCCIÓN

La estructura de un bosque se entiende como la forma en que elementos de una comunidad usan el espacio de manera horizontal y vertical. La cuantificación de la estructura espacial permite el entendimiento de su dinámica y la identificación de estados de desarrollo, mientras que el estudio de estructura horizontal en el ecosistema forestal permite evidenciar las complejas conexiones que caracterizan la dinámica espacial-temporal de los bosques (Cătălin-Constanti y Popa, 2007).

La estructura de edades y los patrones espaciales de árboles en los bosques proveen una comprensión crítica tanto de procesos de baja escala, como de la influencia de disturbios mayores ocurridos en el pasado (Antos y Parish, 2002).

Los patrones de distribución espacial reflejan el complejo mosaico histórico y ambiental impuesto por el proceso de establecimiento, las diferencias microambientales como humedad, temperatura, la disponibilidad de luz, la competencia y los cambios de crecimientos y competencia que ejercen diferentes especies sobre el tiempo (Moeur, 1993). Entre los mecanismos que se han planteado para intentar explicar los patrones de distribución de los árboles al interior de una comunidad vegetal, pueden mencionarse los procesos denso-dependientes tales como competencia excluyente o alta mortalidad de juveniles por ataques de plagas o enfermedades, estocasticidad demográfica por mortalidad aleatoria, asociada a patrones de distribución aleatoria y limitación en dispersión o especialización de hábitat (Montañez-Valencia *et al.*, 2012).

El grado en el cual los individuos están agregados o dispersos es una herramienta útil para entender cómo una especie usa un recurso, como estos son usados como recurso y su biología reproductiva (Condit *et al.*, 2000). En las especies forestales esta información puede utilizarse para determinar las estrategias de regeneración de las especies y su asociación de cohortes (Manabe *et al.*, 2000).

En México existen aproximadamente doce especies de piñoneros, de ellas siete endémicas de este país (Perry, 1991). *Pinus pinceana* es una especie endémica y con categoría de sujeta a protección especial (SEMARNAT; 2010), su rango de distribución es desde el estado de Coahuila en el norte hasta el estado de Hidalgo en el sur, pero este rango es altamente fragmentado especialmente en el sur (Leding *et al.*, 2001); se considera una especie de amplia plasticidad genética y ambiental y esto la hace importante en proyectos de reforestación o restauración de áreas degradadas (De los Ríos *et al.*, 2008). Adicionalmente, las comunidades de piñoneros ofrecen leña, madera, forraje, albergue para la fauna nativa y servicios ambientales (Romero *et al.*, 2014); así mismo las semillas de los piñoneros se emplean en el consumo humano y tienen propiedades alimenticias excelentes (López-Mata y Galván-Escobedo, 2011).

Diversos estudios indican que los cambios bióticos y abióticos asociados con la fragmentación de especies puede alterar la fertilidad, el crecimiento y sobrevivencia de una población vegetal remanente (Bruna *et al.*, 2009). Los patrones distribución espacial de las especies endémicas, son esenciales para nuestra comprensión y

conservación de la diversidad biológica, además de fundamentales para estimar las tasas de extinción debido a la pérdida de hábitat (Green y Ostling, 2003). El estudio de distribución espacial en especies localizadas en el límite de su distribución ha proporcionado señales en los procesos que influyen en la expansión o retracción de estas poblaciones quienes pueden responder más drásticamente al cambio climático que aquellas localizadas en la zona núcleo de su distribución (Camarero *et al.*, 2005) aportando valiosa información para un mejor manejo de la especie a largo plazo.

Los objetivos de esta investigación fueron estudiar y describir la estructura de un bosque *P. pinceana* Gordon en el extremo sur de la distribución natural de la especie y determinar el tipo de distribución espacial en el bosque seleccionado, localizado en el estado de Hidalgo.

## **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1. Ubicación del Área de estudio**

El área de estudio se localizó entre las coordenadas 20° 38' N y 99° 02' O, a 1959 msnm, en la cañada El Arenalito del ejido Cuesta Blanca, Municipio El Cardonal en el estado de Hidalgo, México. El rodal de *P. pinceana* Gordon presenta una pendiente del 60% y una exposición Noroeste y Suroeste.

### 2.4.2 Suelo

Para una mejor descripción se tomaron 11 muestras de suelo a 20 cm de profundidad y se realizó el análisis en el Laboratorio de Química de Suelos del Colegio de Postgraduados, usando el manual de Palmer y Troeh y van Reeuwijk; el pH por el método del potenciómetro, la conductividad eléctrica (CE) por el del conductímetro y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método del acetato de amonio pH 7. Los resultados de estos análisis se muestran en el Cuadro 2.1.

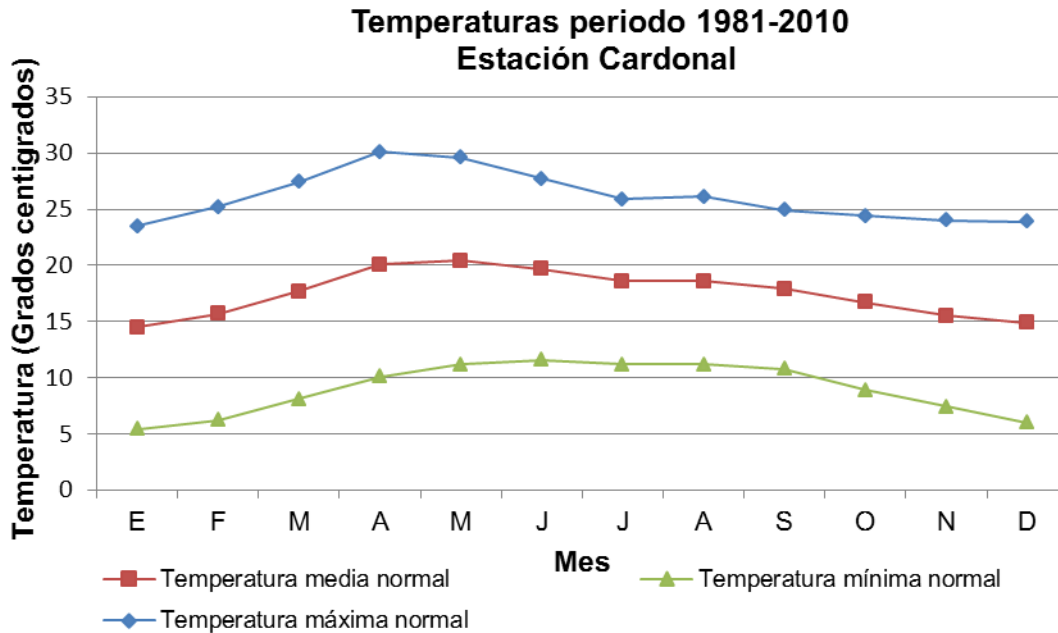
**Cuadro 2.1. Características del suelo de la localidad El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.**

Determinación	Media general (valor inferior-valor superior)	
pH	7.8	(7.6-8.3)
Conductividad eléctrica	0.15	(0.11-0.25)
Materia orgánica	10.9	(2.0-19.0)
Nitrógeno (%)	0.54	(0.10-0.95)
Fósforo (ppm)	15.0	(7-26)
Potasio (ppm)	0.34	(0.1-0.7)
Calcio (ppm)	55.98	(12.8-68.7)
Magnesio (ppm)	2.29	(1.0-4.0)
Sodio	1.34	(0.1-3.8)
Capacidad de intercambio catiónico	25.16	(12.7-31.8)

### 2.4.3 Clima

El clima es C(W1) (García, 1988), que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano con presencia de canícula. La temperatura máxima extrema es de 26.1 °C y una temperatura mínima extrema de 9 °C. aunque durante a lo largo del año la temperaturas pueden fluctuar (Figura 2.1).

La precipitación total es de 380.3 mm al año donde los valores de mayor precipitación en el periodo 1980-2010 se han presentado en Junio, Julio y Septiembre y 77 días de lluvia al año en promedio (COEDE, 2001, INEGI 2013).



Elaborado a partir de datos de CONAGUA, 2014

Figura 2.1. Variación en temperaturas registradas en la estación meteorológica Cardonal, Hidalgo.

#### 2.4.4. Método de muestreo

Se estableció una parcela de 0.6 ha (30 x 200 m) la cual se dividió en cuadros de 10 m x 10 m para realizar el registro de datos de campo. Dentro de cada cuadrante se consideraron como árboles adultos aquellos individuos con diámetro (DAP)  $\geq$  a 5 cm, los cuales se marcaron con etiquetas de aluminio de manera consecutiva y se registraron sus coordenadas cartesianas X, Y en cada cuadrante. El diámetro se registró a 1.30 m del ras del suelo y la altura de cada individuo se determinó con un estadal expansible.

Así mismo los individuos de las especies de *P. pinceana* y *P. cembroides* se clasificaron en estadios de crecimiento, plántulas (individuos  $\leq 50$  cm de altura) y brinzales (individuos  $\geq 50$  cm de altura y DAP  $\leq 5$  cm).

A cada uno de los árboles de *P. pinceana* ubicados dentro de cada cuadrante se les determinó la edad con base en el número de anillos de crecimiento (utilizando el taladro Pressler para este fin). En el caso de *P. cembroides* se tomó una muestra de cada clase diamétrica y la determinación de edad de los árboles no muestreados fue estimada de las curvas de regresión diámetro-edad.

También se realizó la colecta y prensado de ejemplares botánicos para su posterior identificación taxonómica en el herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

#### **2.4.5 Análisis de información**

El análisis estructural se llevó a cabo a partir de la densidad, definida como el número de individuos por hectárea y el área basal obtenida a partir de la fórmula:

$$AB = (\pi/4)D^2$$

En donde AB= Área basal,  $\pi$  es igual a 3.1416 y D es el diámetro a la altura de 1.30 m.



La distribución espacial de los individuos de *P. pinceana* fue analizada utilizando el índice de Dispersión ( $I_\delta$ ) propuesto por Morisita (1959a) que está dado por:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^q n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

De esta manera:

$$I_\delta = q\delta$$

Donde  $q$  es el número de cuadros de un tamaño fijo,  $n_i$  es el número de individuos en el  $i$ -th cuadrante y  $N$  es el número total de individuos en todos los  $q$  cuadros. Este índice mide la dispersión de individuos, y toma valores de  $I_\delta=1$  cuando los individuos se distribuyen al azar,  $I_\delta > 1$  si los individuos están agrupados y  $I_\delta < 1$  si los individuos están distribuidos regularmente en espacio. Los patrones espaciales fueron analizados a diferentes escalas (100 m<sup>2</sup>-25 m<sup>2</sup>). Se calculó el valor de  $F$  (Morisita, 1959a) para determinar la significancia estadística respecto a la distribución al azar.

Se determinó el índice de correlación espacial ( $R_\delta$ ) conforme a Morisita (1959b) para analizar la asociación o repulsión entre los diferentes estadios de desarrollo, donde la relación está dada por:

$$R_\delta = (q \sum_{i=1}^q nx_i ny_i) / (NxNy) - 1$$

Donde  $nx_i$  es el número de individuos de las  $x$ -th especies o estadio de desarrollo que ocurren en el  $i$ -th cuadrante y  $ny_i$  es el número de individuos de la especie  $y$ -th o estadio de desarrollo que ocurre en el  $i$ -th cuadrante.  $N_x$  y  $N_y$  son el número total de individuos de las  $x$ -th y  $y$ -th especies o estadio de desarrollo, respectivamente. El índice de correlación expresa el grado de asociación o repulsión entre especies o estadios de desarrollo. Si la correlación espacial entre las dos diferentes especies o estadios de desarrollo es positiva el valor de  $R_{\delta}$  es positivo ( $R_{\delta} > 0$ ) si la correlación es negativa,  $R_{\delta}$  toma valores negativos ( $R_{\delta} < 0$ ). Si la correlación es independiente el valor de  $R_{\delta}$  es cercano a 0.

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1 Condiciones generales

El municipio Cardonal pertenece al estado de Hidalgo, ubicado entre los paralelos 20° 25' y 20° 47' de latitud norte; y los meridianos 98° 55' y 99° 11' de longitud oeste. Colinda al Norte con los municipios de Nicolás Flores y Tlahuiltepa, al Sur con el municipio de Santiago de Anaya, al Este con los municipios de Eloxochitlán y Metztlán, y al Oeste con el municipio de Ixmiquilpan. Ocupa una superficie de 593.65 Km<sup>2</sup>, la cual representa el 2.84% de la extensión del estado.

Este municipio pertenece a las provincias fisiográficas, Sierra Madre Oriental subprovincia Carso Huasteco (96.0%) y al Eje Neovolcánico subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo (4.0%). Los sistemas de topofomas presentes son sierra en su mayor extensión (96%) y lomerío en una menor proporción. Presenta una altitud entre 900 y 2,900 msnm. Los suelos predominantes son los Leptosol (67.75%), Phaeozem (12.5%), Kastañozem (8.5%), Vertisol (5.0%), Calcisol (4.0%) y Cambisol (2.0%) (INEGI, 2013).

El área de estudio se encuentra localizada en la localidad El Arenalito. El microrelieve de esta zona es generalmente ondulado, se caracteriza por presentar pendientes muy pronunciadas del orden de 80 a 85% en las partes más altas. Los tipos de roca que se presentan son caliche y estructuras columnares basaltos, con suelos generalmente someros y calcáreos (Trejo, 1998). El suelo presente en el área

de estudio es de características muy alcalinas, rico en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, son suelos principalmente franco-arcillosos (Cuadro 2.1).

García (2002), describe la zona de cañada con *P. cembroides* y *Juniperus flaccida* como especies arbóreas dominantes y en la medida que disminuye la pendiente la dominancia arbórea se sustituye por *P. pinceana*, *Cephalocereus senilis* y en el estrato arbustivo por *Flourensia resinosa*, *Calia secundiflora*, *Dasyrion longissimum* y *Agave xylonacantha*.

### **2.5.2 Composición de especies.**

Se determinaron un total de doce especies leñosas y 769 individuos en total en la parcela de estudio en el rodal de *P. pinceana* en el Cardonal Hidalgo, como se muestra en el Cuadro 2.2. La mayor densidad la presenta el género *Rhus* que son arbustos y pequeños árboles de 1 a 10 m de altura que presentan una superposición en zonas semicálido-templadas, principalmente en bosque de pino-encino o en la transición con matorral xerófilo del este de México, entre los 1500-2500 m de altitud (Andrés *et al.*, 2006); el cual se ha mencionado como uno de los componentes importantes en otros bosques de piñoneros (Suzán-Azpiri, 1990; Villareal-Quintanilla *et al.*, 2009) y asociada al bosque de transición méxico-xérica (Romero *et al.*, 2014). En segundo término aparece *P. cembroides* con una densidad de 183 individuos/ha. Morales (2013) determina en un rodal de *P. cembroides* en el Cardonal, Hidalgo; una densidad de 405 árboles ha<sup>-1</sup> y donde las categorías diamétricas de 10, 15 y 20 cm son las que concentran los mayores valores.

En densidad, *P. pinceana* ocupó el tercer lugar con un total de 137 individuos/ha. Este valor es menor al registrado por otros autores como Hernández (1985), quien menciona una densidad de 590 individuos/ha en poblaciones en el estado de San Luis Potosí; mientras que Molina *et al.* (2001) observaron para Querétaro, San Luis Potosí y Coahuila densidades que variaron desde 1,000 hasta 3,000 árboles por hectárea. De acuerdo con esta comparación, *P. pinceana* en el estado de Hidalgo tendría la densidad más baja registrada hasta ahora.

**Cuadro 2.2. Composición florística y área basal de especies en el bosque de *Pinus pinceana* Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.**

Especie	Densidad	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área basal relativa
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	137	2.30	29.90
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	183	2.17	28.21
<i>Rhus andrieuxii</i> Engler	245	1.98	25.74
<i>Gochnatia hypoleuca</i> A. Gray	125	0.90	11.70
<i>Calia secundiflora</i> (Ortega) Yakovlev	30	0.02	0.26
<i>Yucca filifera</i> Chabaud	17	0.25	3.25
<i>Dasyilirion longissimum</i> Lem.	10	0.03	0.39
<i>Amelanchier denticulata</i> (Kunth) K. Koch	3	0.02	0.26
<i>Quercus eduardii</i> Trel.	3	0.01	0.13
<i>Acacia</i> sp.	2	0.003	0.06
<i>Juniperus flaccida</i> Schltld.	2	0.002	0.02
<i>Vauquelinia corymbosa</i> Humb. et Bonpl.	2	0.006	0.08
<b>TOTAL</b>	<b>769</b>	<b>7.691</b>	<b>100</b>

Las especies de pino ocupan el mayor porcentaje de área basal del total de las especies identificadas. *P. pinceana* a pesar de tener un número menor de individuos obtuvo una mayor área basal que *P. cembroides* y *Rhus andrieuxii*. El resto de las

especies son componentes presentes de la vegetación xerófila en el estado de Hidalgo (Puig, 1991).

De acuerdo con Villareal-Quintanilla *et al.* (2009) la composición florística de las comunidades donde crece *P. pinceana* muestra una combinación de especies propias de bosque de encinos con elementos de matorral, presentándose como una forma de transición entre comunidades de vegetación xerófila y mesófila. Por su parte García (2002) describe a las poblaciones de *P. pinceana* en Hidalgo, conforme a observaciones en campo, como coetáneas, con densidad abierta, pocos individuos por hectárea y siempre asociado a *P. cembroides*.

Para *P. pinceana* se obtuvo una altura promedio de 6.37 m con un valor mínimo de 1.7 m y un máximo de 11.8 m; estos valores son mayores a los reportados por Hernández (1985) quien determina 3.7 m de altura media para *P. pinceana* en la sierra de Guadalcázar en San Luis Potosí. Por otro lado *P. cembroides* tuvo una altura media de 5.43 m con un mínimo de 1.5 m y un máximo de 10.11 m., lo que es un valor ligeramente bajo en comparación a los obtenidos por Morales (2013), que reporta 6.4 m para esta misma especie en la localidad la Florida del mismo municipio.

Con base en la distribución de clases diamétricas las especies estudiadas mostraron dos patrones. En los pinos piñoneros estudiados se observó una forma de campana, donde la mayoría de los individuos se encuentran distribuidos en las clases

intermedias, principalmente entre 10-15 cm, mientras que disminuye hacia las categorías menores y mayores (Figura 2.2).

En *P. pinceana* la distribución diamétrica se asemeja a una curva normal, donde existen pocos individuos de las clases extremas. Esto puede considerarse como un indicador de una estructura no balanceada, donde el patrón de diámetros sugiere una fase avanzada de establecimiento y aparentemente no ha habido un establecimiento reciente de nuevos individuos.

Por otro lado, *P. cembroides* exhibe individuos en las clases pequeñas (0-5 cm) aunque en las clases intermedias se presentó la mayor parte de los individuos, lo cual es coincidente con *P. pinceana*. *Rhus andrieuxii*, *Gochnatia hypolueca* y *Calia secundiflora* presentan un patrón de distribución de clases diamétrica (Figura 2.3), donde la mayoría de los individuos se encuentran en la clase diamétrica pequeña y con un bajo número de individuos en las clases mayores.

La distribución de edades para las especies de pinos, muestra que *P. cembroides* cuenta con un número mayor de individuos jóvenes que *P. pinceana*; aunque en ambas especies el mayor número de individuos se presentó en el intervalo de 40-50 años. *P. pinceana* tienen un espectro más amplio de edades, la edad mínima determinada fue de 25 años mientras que la máxima fue de 122 años (Figura 2.4 y 2.5).

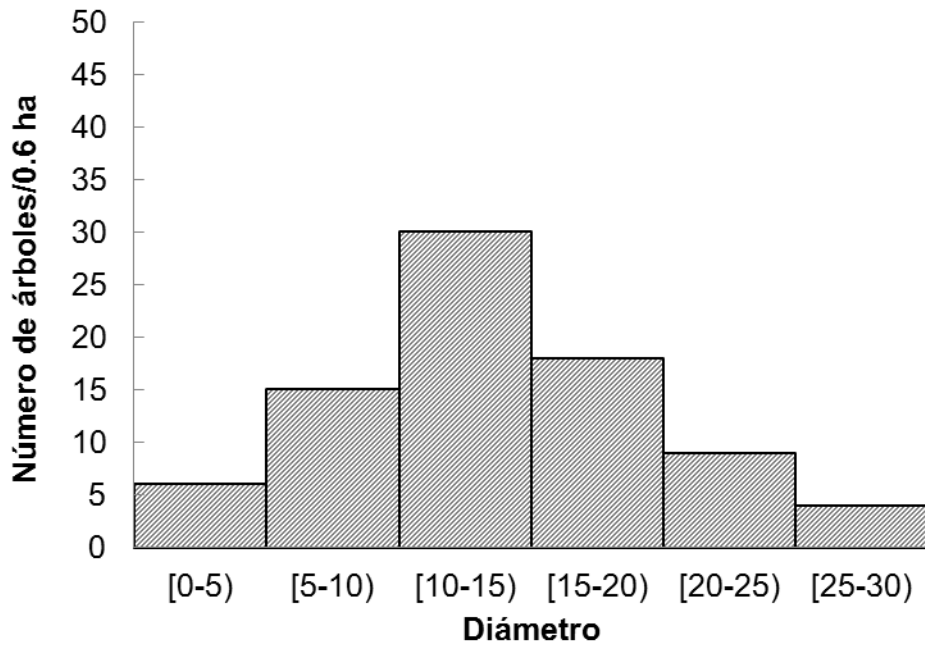


Figura 2.2.a. Distribución diamétrica del arbolado de *Pinus pinceana* Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.

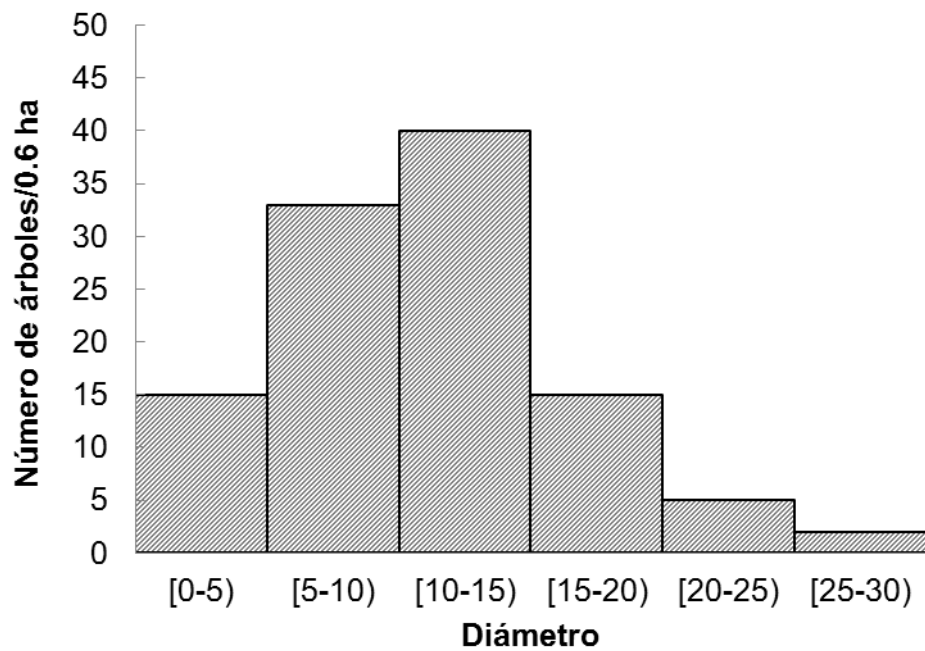


Figura 2.2.b. Distribución diamétrica del arbolado de *Pinus cembroides* en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.



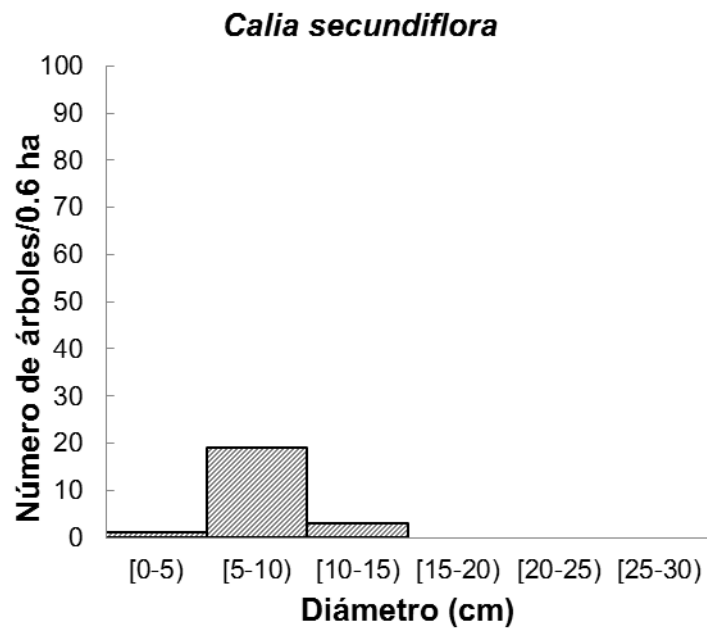
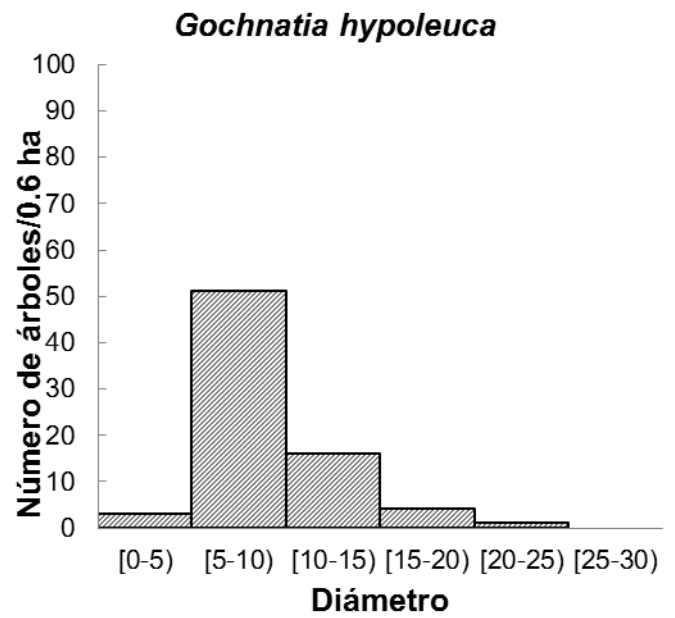
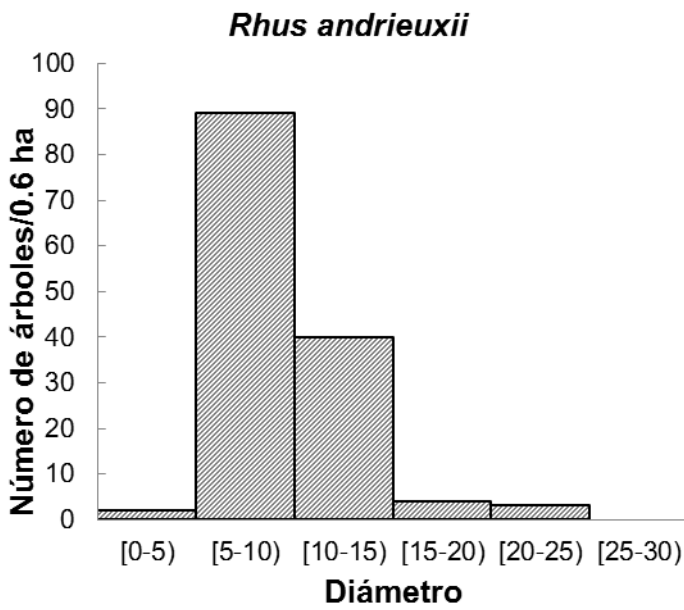


Figura 2.3 Distribución diamétrica del arbolado de a) *Rhus andrieuxii*, b) *Gochnatia hypoleuca* y c) *Calia secundiflora* en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.

Sin embargo, no se encuentran presentes todas las clases de edad en ambas especies, las clases jóvenes están ausentes principalmente en el caso de *P. pinceana*. Santillán-Hernández *et al.* (2010) determinó en 10 poblaciones estudiadas de esta misma especie cronologías por más de 100 años, destacando los sitios en el extremo norte de distribución de la especie ubicados en el estado de Zacatecas como las series más longevas, presentando valores de hasta 205 y 157 años, mientras que para la población de San Cristóbal en Hidalgo menciona 49 años.

Este autor relaciona además que los crecimientos de la especie se encuentran influenciados en cierto grado por factores climáticos respondiendo de manera significativa a la precipitación estacional de invierno-primavera.

Por otra parte, Morales (2013) en un rodal de *P. cembroides* en el municipio del Cardonal, Hidalgo; encontró valores promedio de edad de 68 años para esta especie, registrando una edad mínima y máxima de 50 y 101 años, respectivamente.

La relación entre el diámetro y la edad fue pobre en esta especie ( $r^2=0.29$ ) por lo que no se considera un buen indicador (Figura 2.4), la clase diamétrica más común fue la de árboles entre 10 y 15 cm de diámetro que varían entre los 40 y 60 años de edad. En el caso de *P. cembroides* (Figura 2.5) la relación entre ambas características fue ligeramente superior ( $r^2=0.44$ ).

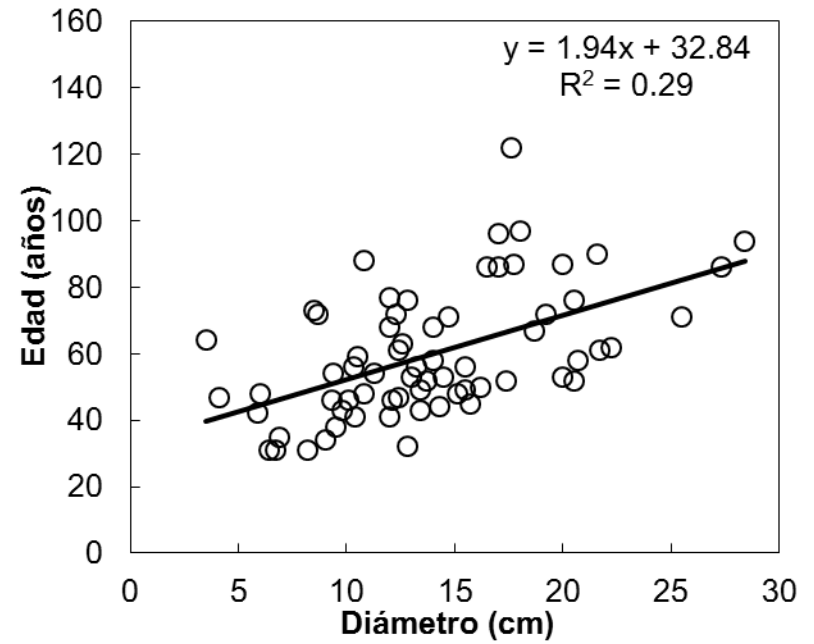
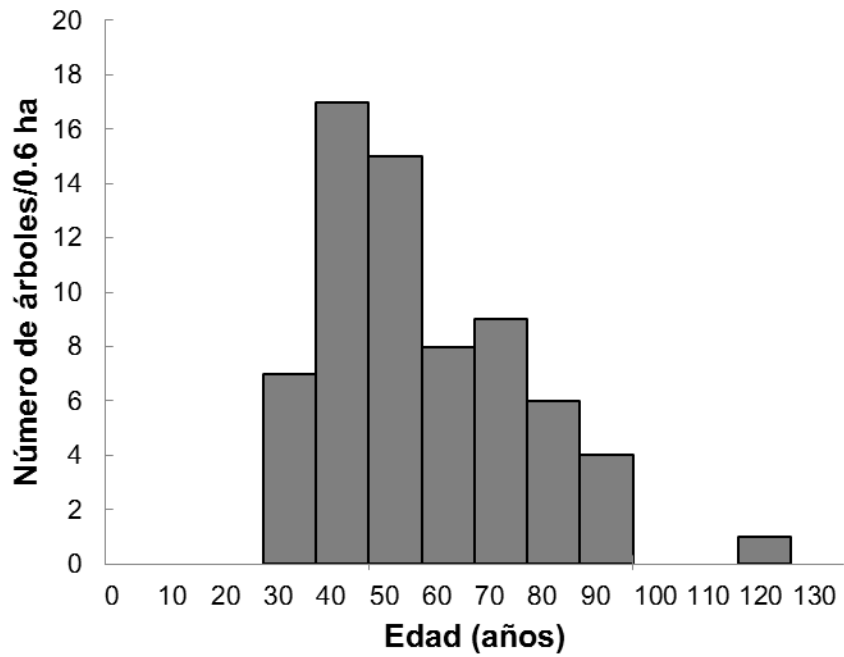


Figura 2.4. Distribución de edades y relación diámetro-edad de *Pinus pinceana* Gordon en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.

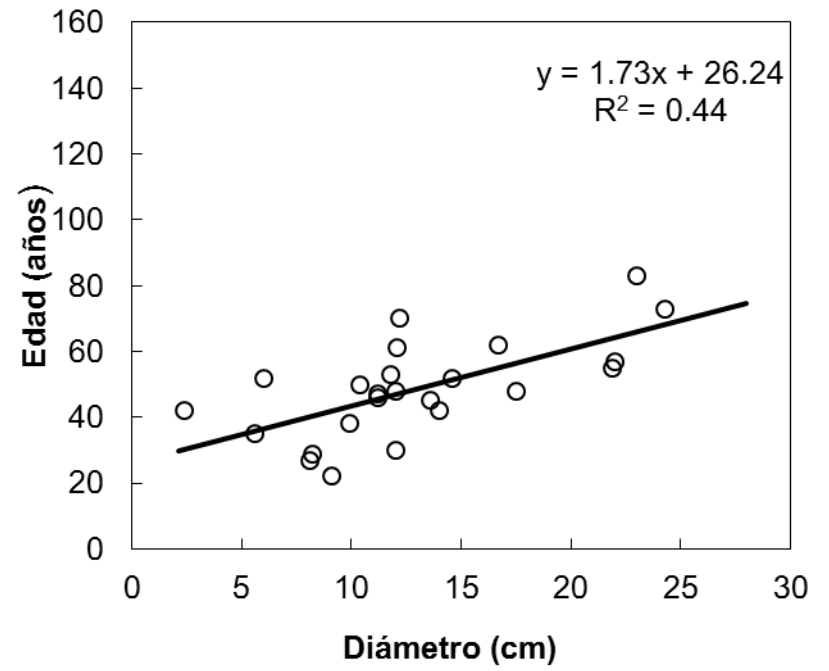
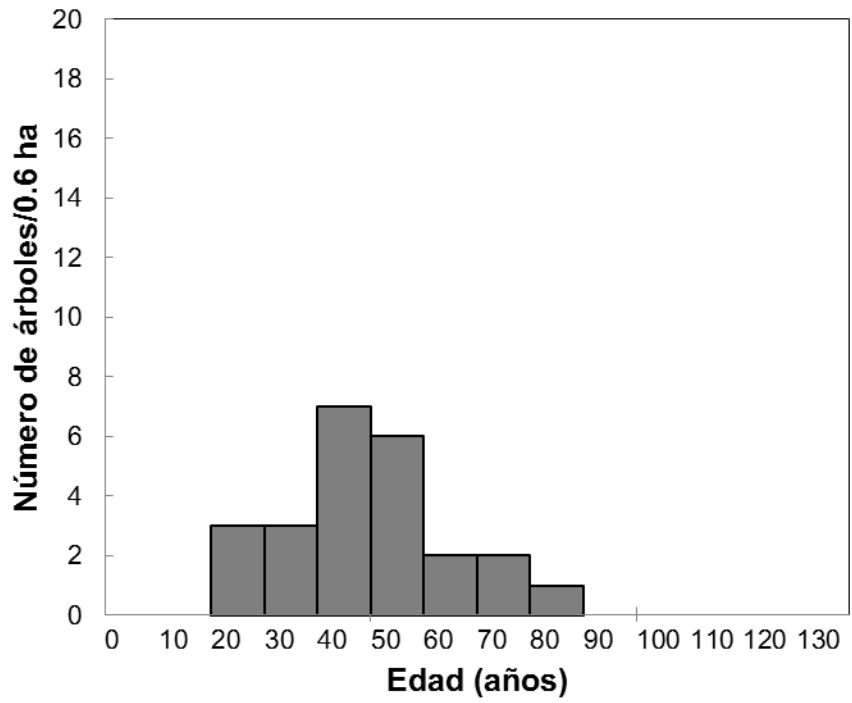


Figura 2.5. Distribución de edades y relación diámetro-edad en *Pinus cembroides* en El Arenalito, Cardonal, Hidalgo.

### 2.5.3 Distribución espacial

De acuerdo con el patrón espacial observado (Figura 2.6) y el índice de Morisita (Cuadro 2.3), *P. pinceana* presentó un patrón de distribución agregado en adultos, el cual se incrementa conforme la escala disminuye, aunque en los cuadros de escala menor de 10 x 10 m no existen diferencias significativas respecto a la distribución al azar.

El patrón agregado es bastante frecuente en las especies forestales (Taylor y Zisheng, 1988; Manabe *et al.*, 2000; Ledo, 2013) y se ha atribuido a diferentes factores entre los que se puede mencionar disturbios o patrones de regeneración (Stewart, 1986; Zhao *et al.*, 2004), una competencia muy severa entre individuos de otras especies (He y Duncan, 2000), a los mecanismos de diseminación de semilla en donde al existir una distancia de dispersión corta en especies con semillas grandes se propicia la distribución alrededor del árbol madre (Camarero y Rozas, 2006; Kyungeun *et al.*, 2012).

Estas dos últimas hipótesis se ha estudiado a través de diferentes trabajos, donde de manera reciente se sugiere que el hábitat y la dispersión agrupada actúan de manera conjunta para determinar la formación de la agregación espacial (Lin *et al.*, 2011). Las especies se agregan en parches que pueden proveer recursos adecuados para su regeneración; como resultado, las condiciones de hábitat pueden influir fuertemente en la distribución de estas especies (Lin *et al.*, 2009).

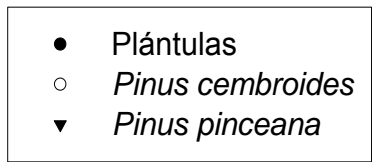
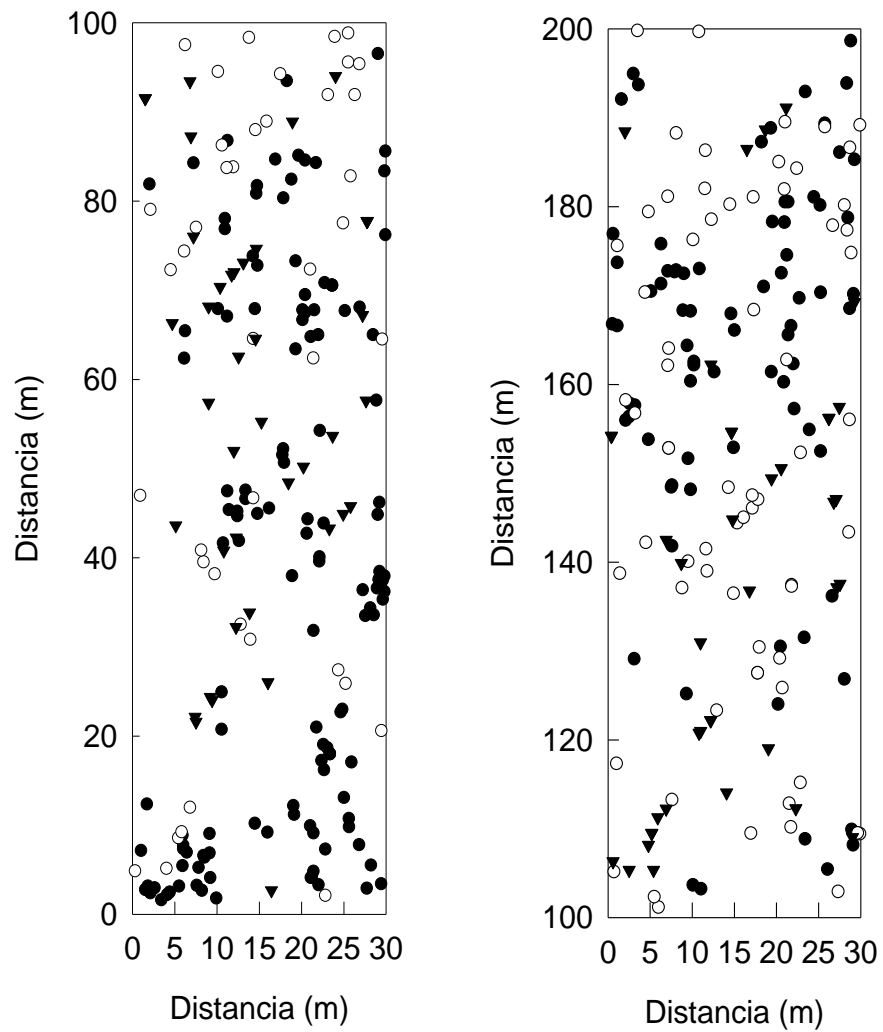


Figura 2.6. Distribución espacial de plántulas (n=211) e individuos adultos (DAP≥5 cm) de *Pinus pinceana* (n=82) y *Pinus cembroides* (n=110) en El Arenalito, Hidalgo.

En el caso de los pinos piñoneros este patrón se ha relacionado a la tolerancia a la sombra y sus semillas sin alas y de gran peso (Segura y Snook, 1992), características propias de las llamadas especies clímax, denominadas así de acuerdo con Whitmore (1989) por su habilidad para germinar y establecerse en la sombra.

En *P. cembroides* el patrón de distribución es agregado en la escala mayor, mientras que se observó un patrón de distribución regular después de que la escala disminuye de 10 x 10 m. Este mismo patrón se ha observado para este piñonero en otros sitios (González, 1990; Segura y Snook, 1992) y se ha relacionado a una fuerte competencia intraespecífica que puede modificar los patrones iniciales de establecimiento, debido a un aumento de la tasa de mortalidad después de éste (Phillips y MacMahon, 1981; Litle, 2002). Carrillo (2009) en un estudio sobre el análisis de la distribución espacial de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey de una localidad de Tlaxcala utilizó la función  $K(t)$  de Ripley determinando una distribución aleatoria en árboles adultos y en general agregada en individuos juveniles relacionándolo a un cambio gradual conforme al incremento de tamaño y la relación con factores como la disminución de la competencia interespecífica.

El número de brinzales no fue significativo, por lo que se excluyeron al momento del análisis. Debido a la similitud morfológica en las plántulas de los piñoneros no se logró identificar la especie específica por lo que los individuos encontrados se analizaron de manera general. Las plántulas de los dos pinos presentaron un patrón agregado que varía de manera significativa entre una distancia

y otra, excepto en la escala más pequeña, donde se observa un patrón de distribución regular. Esta tendencia en plántulas donde se inicia con un patrón de distribución agregado y posteriormente se modifica, se ha documentado en otras especies forestales (López, 2007; Carrillo, 2009; Kyungeun *et al.*, 2012) relacionado este patrón inicial a la forma de dispersión de la semilla y su posterior cambio a factores que afectan la mortalidad como son el microhábitat, la depredación, el ataque de patógenos y la competencia entre otros (Houle, 1992).

Diversos estudios determinan que a medida que la población madura el patrón de distribución inicial cambia conforme a diferentes factores influyen en el medio. La dispersión de semilla genera agregación espacial dentro de especies porque las semillas son típicamente dispersas a corta distancia de los padres, aunque factores como condiciones de micrositios pueden influir en la distribución (Llambi *et al.*, 2004).

**Cuadro 2.3. Índice de distribución espacial ( $I_{\delta}$ ) para *Pinus pinceana* y *Pinus cembroides* en un rodal en Cardonal, Hidalgo (individuos con  $dn \geq 5$  cm fueron incluidos).**

Tamaño (m)	<i>Pinus pinceana</i>		<i>Pinus cembroides</i>		Plántulas	
	$I_{\delta}$	$F$	$I_{\delta}$	$F$	$I_{\delta}$	$F$
10x10	1.37	1.74**	1.40	1.51*	2.17	5.16**
5x5	1.44	0.78	0.76	1.30*	1.48	1.84**
2.5x2.5	1.51	0.76	0.48	1.17	1.06	1.05**
1.25x1.25	2.31	0.89	0.56	1.22	0.86	0.94

Efecto significativo con \* ( $P \leq 0.05$ ); y \*\* ( $P \leq 0.01$ )

La correlación espacial también varía con el tamaño del cuadrante, *P. pinceana* y *P. cembroides* mantienen una correlación negativa la cual se acentúa conforme la escala espacial disminuye (Cuadro 2.4).



Las plántulas se asociaron de manera negativa en las escalas pequeñas. Estas asociaciones pueden ser una consecuencia de las diferencias en condiciones microambientales favorables. Las asociaciones positivas pueden esperarse cuando los cohortes tienen condiciones microambientales favorables similares y/o cuando el grado de competencia es débil (Manabe *et al.*, 2000).

**Cuadro 2.4. Índice de Correlación Espacial ( $R_\delta$ ) de Morisita entre las especies de *Pinus* estudiadas y plántulas.**

Tamaño (m)	<i>Pinus pinceana</i> vs. <i>P. cembroides</i>	<i>Pinus pinceana</i> vs. plántulas	<i>Pinus cembroides</i> vs. plántulas
10x10	-0.01	0.38	1.24
5x5	-0.45	-0.33	0.31
2.5x2.5	-0.54	-0.60	-0.38
1.25x1.25	-0.57	-0.89	-0.62

## 2.6. CONCLUSIONES

En el rodal El Arenalito del Ejido Cuesta Blanca, Cardonal, Hidalgo, *P. pinceana* forma un bosque maduro que cuenta con una baja densidad de individuos como resultado del bajo reclutamiento de juveniles. Sin embargo, es una de los principales componentes de este bosque. *P. pinceana* fue la especie con mayor área basal.

El patrón de distribución espacial para árboles adultos tanto de *P. pinceana* como de *P. cembroides* fue agregado, lo que sugiere una alta especificidad en los sitios donde la especie puede alcanzar la madurez. Así mismo, el grado de agrupamiento fue mayor en plántulas, las cuales también presentaron un patrón de asociación positivo con los adultos de ambas especies a escalas mayores.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Antos, J. A. and Y. Paris. 2002. Structure and dynamics of nearly steady-state subalpine forest in south-central British Columbia, Canada. *Oecologia* 130:126-135.
- Andrés H., A. R., J. J. Morrone, T. Terrazas y L. López M. 2006. Análisis de trazos de las especies mexicanas de *Rhus* subgénero *Lobadium* (angiospermae: Anacardiaceae). *Interciencia* 31(12):900-904.
- Bruna, E. M., I. J. Fiske and M.D. Trager. 2009. Habitat fragmentation and plant populations: is what we know demographically irrelevant? *Journal of Vegetation Science* 20:569-576.
- Camarero, J. J., E. Gutiérrez, M. Fortin and E. Ribbens. 2005 Spatial patterns of tree recruitment in a relict population of *Pinus uncinata*: forest expansion through stratified diffusion. *Journal of Biogeography* 32:1979-1992.
- Camarero, J. J. y V. Rozas. 2006. Técnicas de análisis espacial de patrones de superficies y detección de fronteras aplicadas en ecología forestal. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales* 15(1): 66-87.
- Carrillo F., J. A. 2009. Estructura y regeneración de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey en Santa María Las Cuevas, Tlaxcala. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. 64 p.
- Cătălin-Constantin, R. and I. Popa. 2007. The use of Ripley function for spatial structure study of natural forest "humosu old growth beech forest". *Proceedings of the Romanian Academy, Series B.* pp:171-179.
- Condit, R., P. S. Ashton, P. Baker, S. Bunyavejchewin, S. Gunatilleke, N. Gunatilleke, S. P., Hubell, R. B. Foster, A. Ithon, J. V. LaFrankie, H. Seng, E. Losos, N. Manokaran, R. Sukumar, and T. Yamakura. 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288:1414-1418.
- COEDE, 2001. Ordenamiento ecológico territorial del estado de Hidalgo. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Hidalgo. Tomo CXXXIV. Núm. 14. Pachuca, Hgo. México. 473 p.

CONAGUA, 2014. Comisión Nacional del Agua. Servicios Meteorológicos Nacional. Normales Climatológicas. <http://smn.cna.gob.mx>

De los Ríos C., E., R. de Hoogh y J. J. Návar Cháidez. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el Nordeste de México. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 14(2):97-104.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 205 p.

García M., H. 2002. Caracterización de hábitats de coníferas que ameritan protección en el estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 256 p.

Green, J. L. and A. Ostling. 2003. Endemics–area relationships: the influence of species dominance and spatial aggregation. Ecology. 84(11):3090-3097.

González G., J. A. 1990. Evaluación de la regeneración de *Pinus cembroides* Zucc. en condiciones naturales en la Amapola, S.L.P. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 79 p.

He, F. and R. P. Duncan. 2000. Density-dependent effects on tree survival in an oldgrowth Douglas fir forest. Journal of Ecology 88:676-688.

Hernández R., A. 1985. Análisis estructural de los piñonares del altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Méx. 155 p.

Houle, G. 1992. Spatial relationship between seed and seedling abundance and mortality in a deciduous forest of north-eastern North America. Journal of Ecology 80: 99-108.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cardonal, Hidalgo. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/13/13015.pdf>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2013. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo.

- Leding, F. T., M. A. Capo-Artega, P. D. Hodgskiss, H. Sbay, C. Flores-Lopez, M. T. Conkle and B. Bermejo-Velásquez. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and a comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* 88(11):1977-1987.
- Ledo, A. 2013. Tratado sobre la distribución espacial de las especies leñosas de un bosque de niebla tropical. *Ecosistemas* 22(1):77-79.
- Lin, L., H. Zhongliang, Y. Wanhui, C. Honglin, W. Shiguang, W. Zhigao, L. Juyu, S. I-Fang, M. Keping and H. Fangliang. 2009. Spatial distributions of tree species in a subtropical forest of China. *Oikos* 118:495-502.
- Lin, Yi-Ch, LW Chang, KC Yang, HH Wang and IF Sun. 2011. Point patterns of tree distribution determined by habitat heterogeneity and dispersal limitation. *Oecologia* 165:175-184.
- Litle, L. R. 2002. Investigating competitive interactions from spatial patterns of trees in multispecies boreal forests: the random mortality hypothesis revisited. *Canadian Journal of Botany* 89:93-100.
- Llambi, L. D., R. Law and A. Hodge. 2004. Temporal changes in local spatial structure of late-successional species: establishment of an Andean caulescent rosette plant. *Journal of Ecology* 92:122-131.
- López G., G. 2007. Estructura y distribución espacial de un bosque de *Pinus chiapensis* en la Sierra Sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. 82 p.
- López-Mata, L. y I. G. Galván-Escobedo. 2011. Extracción de semillas de *Pinus maximartinezii* y sus consecuencias poblacionales. CONABIO. *Biodiversitas* 98:1-7.
- Kyungeun, L., K. Soyoung, S. Youngseob and Ch. Yeonsook. 2012. Spatial pattern and association of tree species in a mixed *Abies holophylla*-Broadleaved deciduous forest in Odasean National Park. *Journal of Plant Biology* 55:242-250.
- Manabe, T., N. Nishimura, M. Miura and S. Yamamoto. 2000. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan. *Plant Ecology* 151:181-197.
- Manabe, T. and S. Yamamoto. 1997. Spatial distribution of *Eurya japonica* in an old-growth evergreen broad-leaved forest, SW Japan. *In*: R.H. Wauer and D.H. Riskind, editors. *Transactions of the Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region: United States and Mexico*. U.S. Department of the Interior National Park Service Transactions and Proceedings Series 3. *Journal of Vegetation Science* 8:761-772

- Moeur, M. 1993. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science* 39(4):756-775.
- Molina F., F., P. Delgado, D. Piñero, N. Pérez y E. Álvarez B. 2001. Do rare pines need different conservation strategies? evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany* 79:131-138.
- Montañez-Valencia, R. A., C. Y. Escudero-Vásquez y A. J. Duque-Montoya. 2012. Patrones de Distribución Espacial de Especies Arbóreas en Bosques de Alta Montaña del Departamento de Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 63(2):5629-5638.
- Morales B., J. 2013. Propuesta de administración silvícola para la producción de piñón en el ejido La Florida, Cardonal, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 63 p.
- Morisita, M. 1959a. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.)* 2(4):215-235.
- Morisita, M. 1959b. Measuring of interspecific association and similarity between communities. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E (Biol.)* 3(1):65-80.
- Perry, J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*, Timber Press, Portland, Oregon. 221 p.
- Phillips, D. L. and J. A. MacMahon. 1981. Competition and spacing patterns in desert shrubs. *Journal of Ecology* 69:97-115.
- Puig, H. 1991. *Vegetación de la Huasteca (México). Estudio fitogeográfico y ecológico*. Instituto de ecología A. C. 625 p.
- Romero M., A., Luna M. y E. García M. 2014. Factores físicos que influyen en las relaciones florísticas de los piñonares (Pinaceae) de San Luis Potosí, México. *Revista de Biología Tropical* 62 (2):795-808.
- Santillán-Hernández, M., E.H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, S. Valencia-Manzo y M.A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16(1):17-29.
- Segura, G. and L. C. Snook. 1992. Stand dynamics and regeneration patterns of a pinyon pine forest in east central México. *Forest Ecology and Management* 47:175-194.

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-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. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Diciembre 78 pp.
- Stewart, G. H. 1986. Population dynamics of a montane conifer forest, western Cascade Range, Oregon, USA. *Ecology* 67(2):534-544.
- Suzán-Azpiri, H. 1990. Estructura de un bosque de *Pinus nelsonii* Shaw en Tamaulipas. *Biotam* 1(4):29-35.
- Taylor, A. H. y Q. Zisheng. 1988. Regeneration patterns in old-growth *Abies-Betula* forests in the Wolong Natural Reserve, Sichuan, China. *Journal of Ecology* 76:1204-1218.
- Trejo R., O. 1998. Principales tipos de vegetación en el estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 188 p.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., O. Mares-Arreola, E. Cornejo-Oviedo, M. A. Capó-Arteaga. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta Botánica Mexicana* 89: 87-124.
- Whitmore, T. C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70(3):536-538.
- Zhao, C. M., Q. H. Chen, Y. K. Qiao and K. W. Pan. 2004. Structure and spatial pattern of a natural *Abies faxoniana* population on the eastern edge of Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Phytoecologica Sinaica* 28(3):341-350.

## CAPITULO III. CAPACIDAD REPRODUCTIVA DE *Pinus pinceana* GORDON EN EL LÍMITE SUR DE SU DISTRIBUCIÓN NATURAL

### 3.1. RESUMEN

*Pinus pinceana* Gordon es un pino endémico de México, con distribución fragmentada, mayormente en el noreste y escasamente en el centro-este del país, lugar donde se espera problemas reproductivos por estar aislado y en el margen sur. Se evaluó la producción de conos y semilla durante tres años consecutivos en las localidades El Arenalito y San Cristóbal, municipio El Cardonal, Hidalgo, poblaciones australes de este piñonero. Se recolectaron muestras de 25 árboles en cada localidad. Las poblaciones mostraron diferencias significativas en seis de once características evaluadas, con alta variación entre árboles y fechas de producción. El primer año fue de alta producción de conos (año semillero), la eficiencia de producción de semilla llena fue 54% contra 43 y 26% del segundo y tercer año, y el peso de semilla sobre el peso seco del cono fue de 0.96 y 1.10 en San Cristóbal y en El Arenalito durante el primer año y de 0.85 y 0.78, 0.72 y 0.44 en el segundo y tercer año en esas localidades, respectivamente, indicando mayor ubicación de recursos a la semilla en el año semillero. La cantidad de semilla vana aumentó hasta en un 100% en El Arenalito durante el segundo y tercer año de evaluación. Pocos árboles generan la mayor cantidad de conos, más notorio en los dos últimos años, siendo diferentes los árboles más productores durante los tres años.

**Palabras clave:** eficiencia de producción de semilla, pino piñonero, poblaciones marginales, producción de conos.



### 3.2. ABSTRACT

*Pinus pinceana* Gordon is an endemic pine of Mexico, with a fragmented distribution mostly in the northeastern of the country and sporadically in the central-east, where reproductive problems are expected due to isolation and being located on the southern edge of its range. The cone and seed production were evaluated for three consecutive years in El Arenalito y San Cristóbal, Cardonal municipality, Hidalgo state, the most southern populations of this pinyon tree. Twenty-five trees were sampled in each population. Populations had significant differences in six of eleven characteristics evaluated, however, a high variation was found among trees and production years. The first year was of high-cone production (mast year). Seed production efficiency (filled /potential seed) was of 54% vs. 43 and 26% from 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> year of harvest. The relation of seed weight over cone weight was of 0.96 and 1.10 in San Cristóbal and in El Arenalito during the first year, while in the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> year was of 0.85 and 0.78, 0.72 and 0.44 in those locations, respectively, which indicate more resources allocation to the seed in the mast year. The number of empty seeds notably increased in the El Arenalito during the second and third year of evaluation. Few trees generated the majority of cones, being more noticeable in the last two years. Different trees were the most producing individuals during the three years.

**Key words:** cone production, pinyon tree, marginal populations, seed production efficiency.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

*Pinus pinceana* Gordon es un pino piñonero endémico de México, que se distribuye en 17 poblaciones pequeñas y aisladas, en suelos de origen calcáreos entre 1,400 a 2,300 msnm, en montañas semiáridas de la sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Zacatecas, San Luis Potosí, Nuevo León, Querétaro e Hidalgo (Ledig *et al.*, 2001; Favela *et al.*, 2009; Villareal *et al.*, 2010). Su restringida distribución, el sobrepastoreo de ganado caprino y la recolección de leña y conos han colocado a la especie en riesgo de extinción (Richardson y Rundel, 1998; Ledig *et al.*, 2001). Este árbol piñonero está sujeto a protección especial por el gobierno Mexicano, por lo que se requiere estrategias de conservación y manejo (Ledig *et al.*, 2001; Molina-Freaner *et al.*, 2001).

El límite sur de la distribución natural de *P. pinceana* se ubica en el estado de Hidalgo, con dos poblaciones, El Arenalito y San Cristóbal, en el Municipio de El Cardonal (Ramírez-Herrera *et al.*, 2010). Las poblaciones que habitan los márgenes de la distribución de una especie se encuentran generalmente fragmentadas y aisladas de otras, y presentan una baja capacidad reproductiva, como es la producción escasa de semilla viable (Westemeier *et al.*, 1998; Mápula-Larreta *et al.*, 2007). En estas zonas las especies están limitadas por el ambiente que ejerce una fuerte presión de selección (Mosseler *et al.*, 2000). Ledig *et al.* (2002) indican que el factor primario de la declinación gradual de muchas coníferas hasta los niveles actuales, es el calentamiento global ocurrido desde el periodo de las glaciaciones.

Así, este pino pudo haberse desplazado hacia el norte sobre la parte interior de la sierra Madre Oriental, dejando poblaciones pequeñas en el estado de Hidalgo, que están aisladas de la mayor cantidad de poblaciones que se ubican en Coahuila y Zacatecas (Figura 3.1), donde además ocupan mayor extensión de terreno. Más aún, si los pronósticos de cambio climático se materializan en un futuro cercano, las especies tenderán a moverse hacia el norte, con la desaparición de las poblaciones sureñas (Sáenz-Romero *et al.*, 2010), ya que la migración natural estará limitada por los mecanismos naturales de dispersión de semillas.

En recorridos de campo previos se observó que a pesar de que el pastoreo y la cosecha del piñón son reducidos, los renuevos son escasos en una gran parte de los bosquetes de *P. pinceana* (Capítulo II), lo que puede estar vinculado a la escasa producción de semilla. En coníferas la generación de semillas es irregular y en periodos variables de años (Cain y Shelton, 2000), y para monitorear la viabilidad reproductiva de una población se ha utilizado el análisis de la producción de semilla, determinando el potencial de producción de semilla, la cantidad de semillas llenas y vanas, y la relación entre el peso de semillas llenas y el del cono (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000). El objetivo de este estudio fue determinar la producción de conos por árbol y la proporción de semilla llenas y vanas en la cosecha de tres ciclos de producción consecutivos en las dos localidades de *P. pinceana* del estado de Hidalgo, y aportar datos para la conservación de la especie en estas localidades.

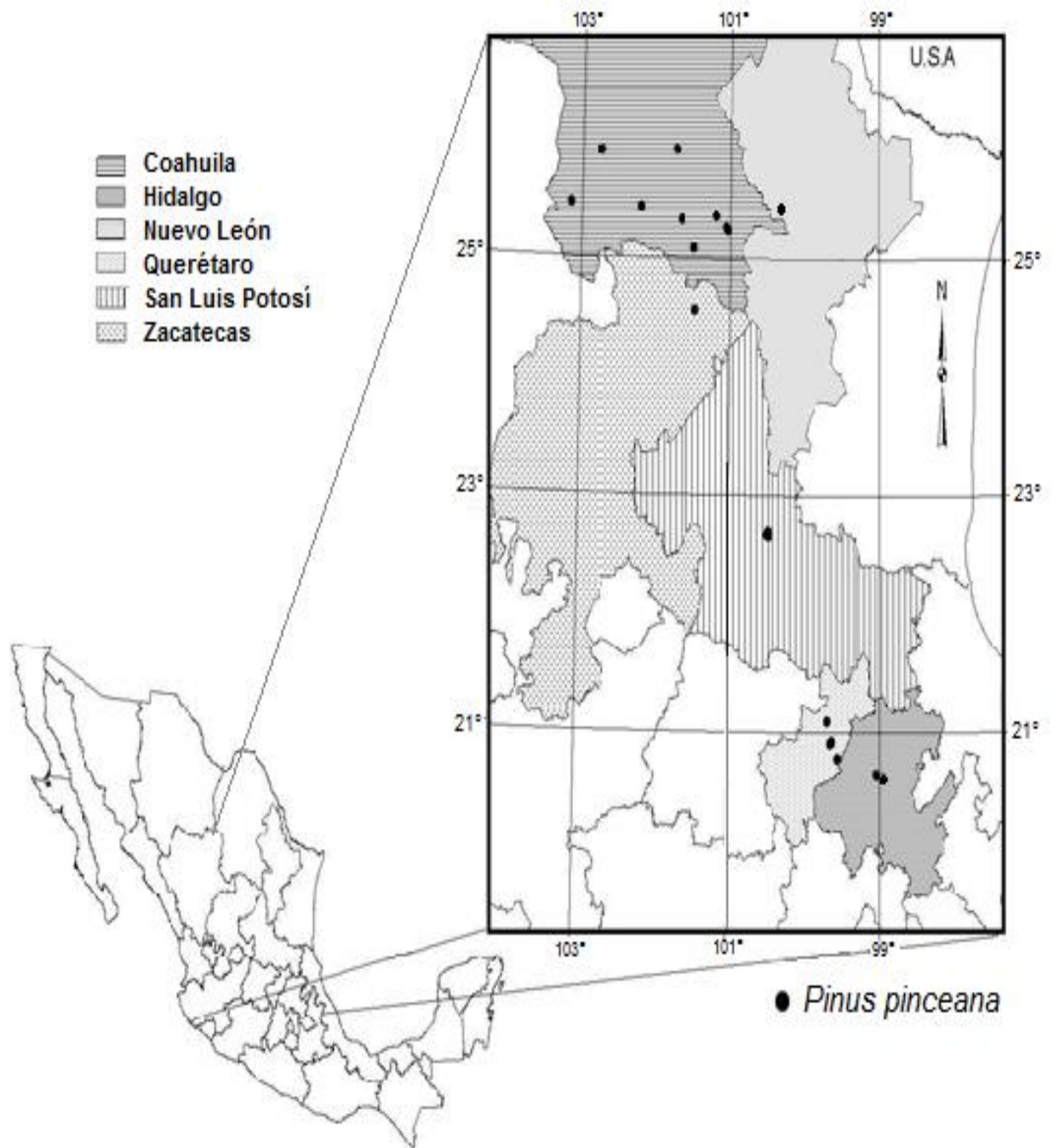


Figura 3.1. Distribución de *Pinus pinceana* en México (basado en Favela *et al.*, 2009; Ledig *et al.*, 2001; Molina-Freaner *et al.*, 2001 y datos de campo).

### 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.4.1 Descripción del área de estudio

Las poblaciones de estudio se encuentran ubicadas en El Cardonal, Hgo., separadas entre sí por una distancia de 8 km (Figura 3.1., Cuadro 3.1). La población de San Cristóbal se encuentra dentro de la Barranca de Tolantongo, donde destaca el bosque bajo de *Juniperus flaccida* Schltl. (Hiriarte y González, 1983). El Arenalito se localiza en la cañada del mismo nombre, donde el estrato arbóreo está dominado por *Pinus cembroides* Zucc. y *Yucca filifera* Chabaud (Villareal *et al.*, 2009).

**Cuadro 3.1. Coordenadas geográficas y altitud de las poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon, y valores promedio (y extremos) de altura, diámetro del fuste y edad de los árboles muestreados.**

Población	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Edad (años)
San Cristóbal	20° 37'	98° 58'	1719-1830	7 (4.0-9.5)	19 (7.5-33.9)	69 (41-176)
El Arenalito	20° 38'	99° 02'	1867-1950	7.4 (4.0-13.5)	24 (9.1-35.7)	97 (38-203)

#### 3.4.2 Estimación de la producción de semilla

Se seleccionaron 25 árboles con conos en cada población, separados entre sí por un mínimo de 50 m. Se determinó la altura total con una pistola Haga, el diámetro normal con una cinta diamétrica y la edad con un taladro Pressler y una muestra de madera a una altura de 30 cm sobre el suelo. La producción total de conos se evaluó durante el mes de septiembre del 2001, 2002 y 2003. La capacidad reproductiva se

evaluó usando la metodología de análisis de cono y producción de semilla (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000). Se seleccionaron al azar cinco conos por árbol, y se les determinó su longitud. Estos se colocaron en invernadero (45°C temperatura máxima) para la apertura de las escamas y extraer la semilla. Se obtuvo el peso seco secando los conos por 48 horas a 70°C. Las semillas de cada cono se contaron y clasificaron como llenas, vanas y óvulos abortados (Bramlett *et al.*, 1977). Las semillas llenas se separaron de las vanas por flotación en una mezcla de etanol-agua 1:1, verificando por rompimiento de la testa las que flotaron. Por cono se obtuvo el peso total de las semillas llenas. De éstas se eligieron 20 por árbol para determinar su largo y ancho. Estas dos características y la longitud del cono sólo se obtuvieron en el primer año.

Se determinó el potencial de semilla como dos veces el número de escamas fértiles y la eficiencia de la producción de semilla como la relación entre el número de semillas llenas y el potencial de semilla (Bramlett *et al.*, 1977) de cada cono. La proporción de semilla vana con respecto a la desarrollada se consideró como un índice de endogamia (Mosseler *et al.*, 2000), ya que si ocurre autofecundación o cruzamientos muy emparentados se expresan genes deletéreos homocigóticos que impiden el desarrollo del embrión, lo que genera semilla vana (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000). Además se calculó la relación entre el peso de la semilla producida por cono y el peso seco del mismo como una medida de eficiencia reproductiva que refleja la proporción de la energía utilizada en el esfuerzo reproductivo que queda almacenado en la semilla (Mosseler *et al.*, 2000).

### 3.4.3 Análisis estadístico

Para detectar las diferencias entre sitios y fechas de recolecta se usó el análisis de varianza de medidas repetidas (Gumpertz y Brownie, 1993), considerando esos dos efectos como fijos, excepto los errores que fueron aleatorios, con el modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + \alpha_{ij} + F_k + SF_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:  $Y_{ijk}$  = valor observado de la variable en la k-ésima fecha en la j-ésima muestra en el i-ésimo sitio;  $\mu + S_i + \alpha_{ij}$  representan los efectos entre los sitios,  $\mu$  = media general;  $S_i$  = efecto del i-ésimo sitio;  $\alpha_{ij}$  = error asociado al j-ésimo árbol del i-ésimo sitio;  $F_k + SF_{ik} + \varepsilon_{ijk}$  representa los efectos dentro de sujetos asociados al patrón de producción de semilla,  $F_k$  = efecto de la k-ésima fecha;  $SF_{ik}$  = efecto de la interacción del sitio con la k-ésima fecha de muestreo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error asociado a la k-ésima fecha en la j-ésima muestra (árbol) del i-ésimo sitio (error de muestreo).

Se realizó un análisis de correlación entre las variables morfológicas y las de los árboles. Los análisis estadísticos se efectuaron con el Statistical Analysis System (SAS Institute, 1998). Los datos de proporciones fueron transformados con arcoseno (proporción)<sup>0.5</sup> para mejorar la normalidad (Sokal y Rohlf, 2012).

### 3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de conos en los 50 árboles fue variable durante los tres años de estudio (Figura 3.2), fue significativamente mayor en el 2001, con 2,188 vs. 747 y 695 conos en total en el 2002 y 2003. La producción de piñón es errática de un año a otro en un mismo árbol (Flores y Díaz, 1989; Richardson y Rundel, 1998), dependiendo de la disponibilidad de recursos y condiciones ambientales propias para la reproducción y fructificación (Romero *et al.*, 1996). Durante los años de producción abundante, las semillas de los árboles generalmente tienen una capacidad germinativa superior y conservarán su viabilidad durante más tiempo, además el impacto proporcional por el ataque de insectos es menor que en otros años (FAO, 1991; Barner y Olsen, 1994). El 2001 representó un “año semillero”, esto es, de una generación abundante de conos, conteos por 10 años en ambas poblaciones confirman este hecho (datos no publicados).

Al considerar los valores promedio de cada población, se encontraron diferencias significativas entre años en El Arenalito, mientras que en San Cristóbal aunque hay reducción en el número de conos en el segundo y tercer año, no hubo diferencia estadística entre el año 1 y 3 (Cuadro 3.2), ya que error estándar es muy amplio en el año 2003, con muy amplias diferencias entre los árboles muestreados.

Los 50 árboles muestreados tuvieron en promedio 30 semillas llenas por cono en el 2001, mientras que en el 2002 fueron 26 y en el 2003, 12 semillas por cono.



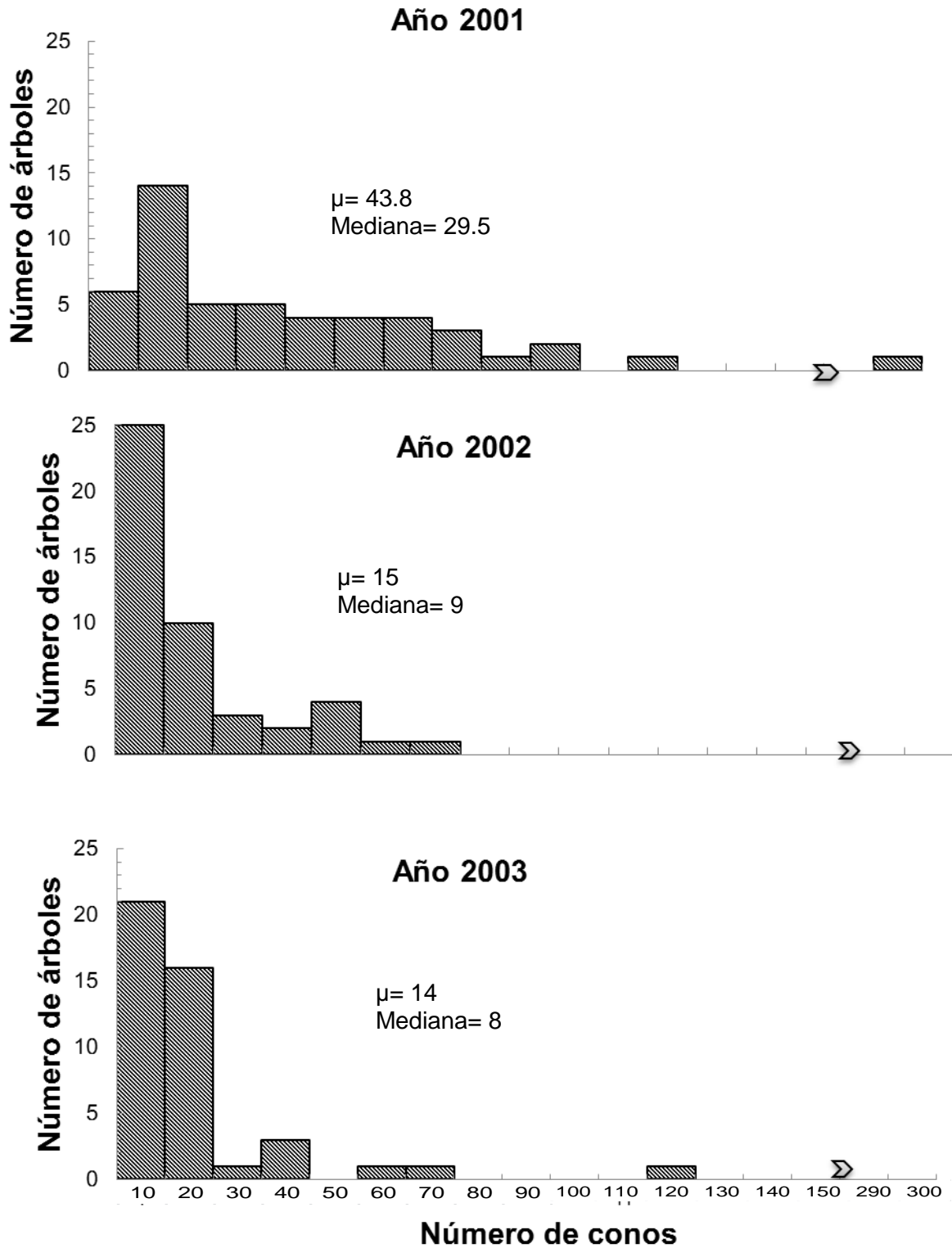


Figura 3.2. Variación en la producción de conos por árbol en dos localidades de *Pinus pinceana* Gordon del estado de Hidalgo durante tres años de muestreo (en los tres años se muestrearon los mismos árboles).

**Cuadro 3.2. Valores promedios de diferentes características de producción de semilla en dos poblaciones de *Pinus pinceana* Gordon en el estado de Hidalgo, muestreados en tres años consecutivos (2001, 2002 y 2003).**

Característica	San Cristóbal (año)			El Arenalito (año)		
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>do</sup>	3 <sup>er</sup>	1 <sup>er</sup>	2 <sup>do</sup>	3 <sup>er</sup>
Número de conos por árbol	28.2 a	15.4 b	20.4 a	59.3 a	14.9 b	7.4b
Peso seco de cono (g)	16.99 a	14.07 b	13.21 b	13.91 a	11.79 b	11.61 b
Potencial de semilla	53.87 a	65.23 b	47.25 c	56.65 a	55.16 a	43.48 b
Óvulos abortados (%) <sup>†</sup>	38.7 a	39.4 a	48.2 b	36.5 a	35.0 a	64.1 b
Semilla vana (%) <sup>†</sup>	7.5 a	13.8 b	15.7 b	8.7 a	25.9 b	19.8 b
Semilla llena (%) <sup>†‡</sup>	53.8 a	46.8 b	36.1 c	54.8 a	39.1 b	16.1 c
Peso de 100 semillas (g)	45.72 a	42.59 b	42.53 b	37.27 a	41.78 a	34.00 b
Peso total de la semilla llena por cono (g)	16.25 a	12.01 b	10.49 b	15.36 a	8.45 b	5.14 c
Índice de endogamia <sup>¶</sup>	0.30 a	0.44 ab	0.55 b	0.30 a	0.69 b	0.89 c
Eficiencia reproductiva (mg/g) <sup>‡</sup>	0.96 a	0.85 b	0.78 b	1.10 a	0.72 b	0.44 c

Valores promedio seguidos de letras diferentes tienen diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre años dentro de cada población.

<sup>†</sup> Calculado sobre el número de semillas desarrolladas, no hubo semillas plagadas.

<sup>‡</sup> Eficiencia de semillas = número de llenas / potencial de semillas.

<sup>¶</sup> Relación de semillas vanas sobre las desarrolladas (vanas + llenas).

<sup>‡</sup> Peso de semilla sobre el peso seco del cono.

La relación semillas vanas sobre desarrolladas (índice de endogamia) varió de 0.12 hasta 0.14 en el primer año para las dos localidades, lo que es 4 a 5 semillas vanas por cono. Como no se detectó una sola semilla plagada, y la densidad de

población es baja (Capítulo 2), es de suponer que ocurra cierto nivel de autopolinización o cruzamientos emparentados. En el 2002 y 2003 la proporción de vanas aumentó de 13 a 26%, lo que representa de 8 a 11 semillas vanas en promedio por cono. En la cosecha del 2003 se detectó entre 48 y 64% de los óvulos abortados (23 a 28 óvulos por cono). Esto sugiere que debió haber ocurrido falta de polen en la primavera del 2002, para que resultara en muchos óvulos no fertilizados en la tercer cosecha.

Hernández (2006) determinó en ocho poblaciones de *P. pinceana* un potencial de semillas promedio de 50 semillas por cono; donde los valores más bajos fueron en San Cristóbal con 44 semillas y el valor más alto se registró de 60 y 55 semillas por cono para Cañón de las Bocas, Zac. y Las Norias, Coah., respectivamente; este mismo autor determinó una eficiencia de semilla promedio de 35% e índice de endogamia de 0.42, atribuyendo los resultados encontrados a factores como el aislamiento y la baja densidad del arbolado.

Utilizando una curva acumulada de producción de conos se encontró que pocos árboles son los encargados de producir la mayor proporción de semilla, 10 árboles o menos producen el 50% de los conos en cada uno de los tres años (Figura 3.3). Al ser pocos los individuos que producen la mayor cantidad de germoplasma en un ciclo de producción, se esperaría una menor variabilidad genética en la progenie de la posible, lo cual es más evidente durante el segundo y tercer año. Solo hubo una correlación significativa entre la producción de conos por árbol entre años, y fue entre 2002 y

2003 ( $r=0.53$ ,  $p=0.003$ ), sin haberla entre esas fechas con la del 2001. Estos datos indican que no todos los individuos producen la misma cantidad de semilla en cada año y que un pequeño porcentaje de árboles contribuyen mayormente al establecimiento de plántulas en un año determinado, pero diferentes árboles pueden aportar semilla a lo largo del tiempo (por eso la baja repetitividad entre años).

Por otro lado, a pesar de mostrar diferencias significativas en algunas características, muy poca de la variación fue atribuida a diferencias entre las dos poblaciones naturales (Cuadro 3.2). No hubo diferencias significativas entre poblaciones para el número de conos, potencial de semilla, óvulos abortivos, peso de semillas y eficiencia reproductiva. La variación entre árboles dentro de poblaciones y la interacción árboles x año de recolecta fue significativa en todas las características.

En 10 de las 11 características la mayor contribución a la varianza total fue la del error, esto es, a los conos. En el largo del cono la mayor contribución a la varianza total fue por parte del árbol. El factor árboles tiene mayor contribución a la varianza en longitud (54%) y ancho de semilla (37%). Generalmente la variación genética entre árboles de *Pinus* es alta y es frecuente que características de conos y semillas muestren una mayor variación entre árboles dentro de poblaciones que entre ellas (Mosseler, 1992; López-Upton y Donahue, 1995; Flores *et al.*, 2005).

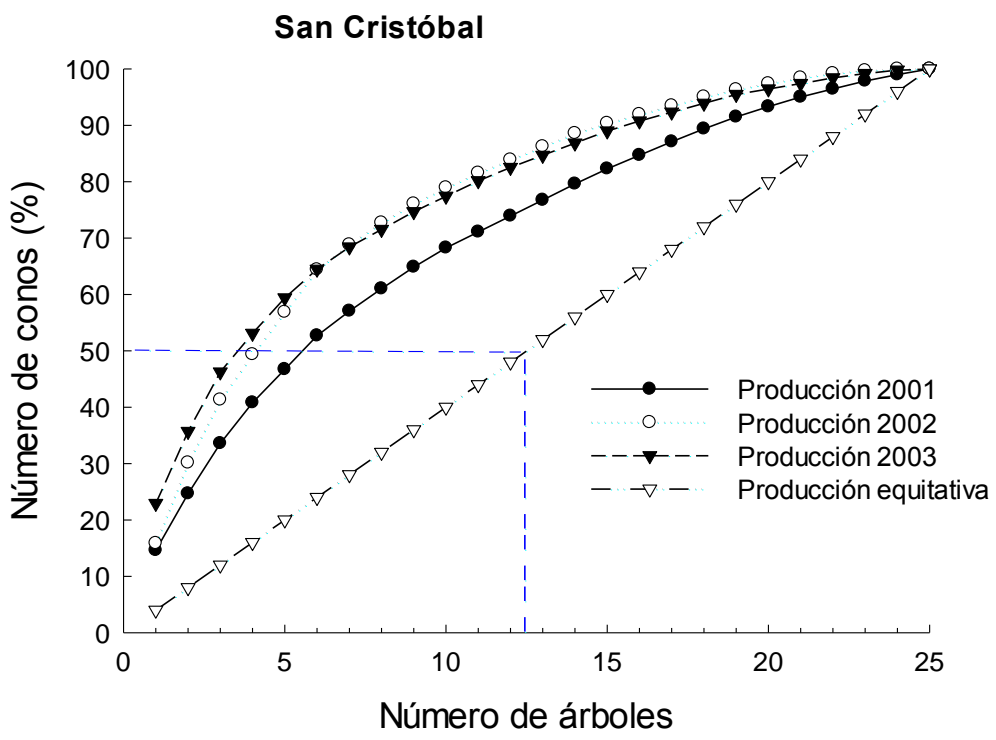
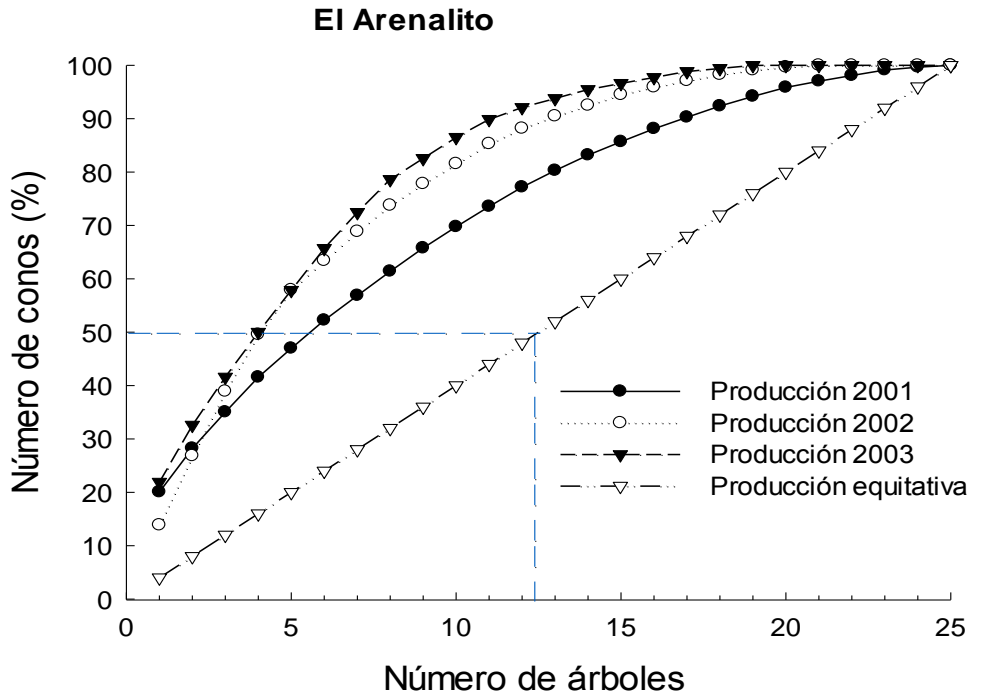


Figura 3.3. Contribución de árboles individuales a la producción total de conos (%) en cada una de las poblaciones de *Pinus pincea* Gordon durante tres años de muestreo.

Durante el primer año las dos poblaciones presentaron mayores valores de eficiencia de semilla (53.8 y 54.8%) y eficiencia reproductiva (0.96 y 1.11 mg/g), lo que representa una mayor proporción de biomasa asignada a la semilla. Se determinó valores reducidos en las siguientes cosechas (Cuadro 3.2). Las coníferas de zonas áridas tienen una producción de semillas menor en comparación con las que están en mejores condiciones ambientales (Flores *et al.*, 2012). En *Pinus orizabensis* D.K. Bailey de Altzayanca, Tlaxcala, se ha reportado una eficiencia del 29% (Sánchez *et al.*, 2005). López-Upton y Donahue (1995) reportan una eficiencia de producción de semilla de 42 a 81% en 12 poblaciones de *P. greggii* Engelm. ex Parl. En huertos semilleros de *P. banksiana* Lamb., *P. taeda* L., *P. elliotii* Engelm., *P. echinata* Mill. y *P. palustris* Mill. hasta un 60% usando control de plagas (Bramlett, 1987; De Groot y Schneckeburger, 1996). Caso contrario, ha sido común encontrar problemas de producción de semillas en poblaciones pequeñas, de 37% en *P. arizonica* Engelm. (Narváez; 2000), y de hasta 17% en *P. leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. (Morales *et al.*, 2010; Gómez *et al.*, 2010).

En otras coníferas de poblaciones fragmentadas ha sido similar el caso; en *Picea mexicana* Martínez se determinaron valores de eficiencia de 7% y valores de índice de endogamia de 0.73 a 0.84 (Flores *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2012), y en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco una eficiencia de producción de semilla de 25.5% en nueve localidades mexicanas, lo que se relaciona al número reducido de árboles de esos rodales (Mápula-Larreta *et al.*, 2007). Según Owens *et al.* (2005), la

autofecundación y la escasez e inviabilidad del polen son las causas principales del aborto de semillas en coníferas.

El porcentaje de semillas llenas está determinado por la abundancia y calidad de polen que es variable de un año a otro (Sorensen, 1973; Todhunter y Polk, 1981). El promedio de óvulos abortivos en el tercer año es superior a los primeros años y fue mayor en El Arenalito. También se obtuvo el porcentaje más alto de semillas vanas. La producción de éstas se ha relacionado con la autopolinización, el daño por insectos y hongos (Bramlet *et al.*, 1977). Al utilizar conos sin daños externos, no se detectaron semillas dañadas por insectos, por lo que la autopolinización debe ser la principal causa de las semillas vanas aquí encontradas.

La reducción en la producción de semilla llena por cono es consistente con el efecto esperado de depresión endogámica en años no semilleros y en poblaciones pequeñas y aisladas, donde la cantidad y calidad de polen es altamente variable (Mosseler *et al.*, 2000). Molina-Freaner *et al.* (2001) en un estudio de cinco poblaciones de *P. pinceana* registraron en los estados de Querétaro, San Luis Potosí y Coahuila densidades de población de 1,000 hasta 3,000 árboles/ha. El Arenalito presentó una densidad de 986 y la de San Cristóbal de 704 árboles/ha; además estos rodales tienen menor superficie que aquellos mencionado previamente. En poblaciones pequeñas y de baja densidad se puede esperar un incremento en endogamia y homocigosis, la expresión de alelos deletéreos y una reducción en la capacidad reproductiva y viabilidad (Mosseler *et al.*, 2000).

En el análisis de correlación, algunas de las relaciones entre las variables estudiadas son esperadas por la interdependencia de caracteres y otras como la eficiencia reproductiva y la eficiencia de semilla no presentaron una correlación significativa, sólo algunas variables se correlacionaron (Cuadro 3.3). El tamaño del cono se correlacionó positivamente con el tamaño y peso total de la semilla, aunque no con la cantidad de ésta, por lo que si se desea semilla grande deberán recolectarse conos del mayor tamaño posible. Para el establecimiento de la regeneración es importante ya que se ha encontrado que las semillas de mayor tamaño producen plántulas más vigorosas durante el primer año de vida (Castro, 1999; Mueller *et al.*, 2005). El potencial de semilla se encuentra correlacionado con el peso de cono de manera positiva ( $r=0.41$ ), lo que indica que una mayor cantidad de energía destinada a las estructuras reproductivas resulta favorable para la producción de óvulos fértiles.

**Cuadro 3.3. Coeficientes de correlación de Pearson significativos ( $p \leq 0.05$ ) entre características de producción de conos y semillas de *Pinus pinceana* Gordon (n=50).**

Característica	Elevación del árbol	Peso seco de cono	Largo de cono	Peso total de semilla
Densidad del sitio	0.38	0.46	-	-
Peso seco del cono	0.34	-	-	0.54
Número de semillas llenas	-	0.45	-	-
Potencial de semilla	-0.23	0.41	-	0.47
Largo de semilla	0.41	0.53	0.57	-
Ancho de semilla	0.42	0.43	0.47	-



Se ha señalado que el rodal de El Arenalito es muy sensible al estrés hídrico (Martíñón-Martínez *et al.*, 2010). Los dos rodales de *P. pinceana* son susceptibles al cambio climático dada la ubicación en la periferia, ya que de continuar el aumento de la temperatura, el escenario más probable es la extirpación de poblaciones de los extremos altitudinales inferiores y extremos sur para el Hemisferio Norte (Aitken y Withlock, 2013), como se ha pronosticado para las localidades extremas de *Pseudotsuga menziesii* de Oaxaca (Rehfeldt *et al.*, 2014). Deben realizarse acciones de conservación *in situ* and *ex situ* (Ledig *et al.*, 2001), aprovechando al máximo la recolecta en los años semilleros, cuando la calidad de la semilla es mejor y más barata la obtención de la semilla. Además debe realizarse actividades de restauración como es la plantación de árboles procedentes de ambas poblaciones de manera recíproca, con el fin de fomentar el flujo genético entre éstas (Aitken y Withlock, 2013), e incluso las de Querétaro, por las similitudes ecológicas y morfológicas que presentan (Ramírez-Herrera *et al.*, 2010).

### 3.5. CONCLUSIONES

La producción de conos fue variable en los tres años de recolecta en ambas poblaciones de *P. pinceana* del estado de Hidalgo. El primer año fue de alta producción de conos y semillas, considerado como año semillero, en esta cosecha los valores de eficiencia de producción de semilla y la cantidad de semilla vana son similares con respecto a los registrados en otras coníferas. En el segundo y tercer año se presentó una considerable disminución en la producción de conos y una reducción

en valor de las características reproductivas, entre ellos menos semillas llenas y más vanas. Existe un desbalance en la producción de conos entre los árboles, ya que pocos de estos producen la mayor parte de la cosecha, aunque entre años fueron diferentes los más productores. La disparidad entre cosechas concuerda con la periodicidad en la producción de semillas de los piñoneros.

### 3.6. LITERATURA CITADA

- Aitken, S. N. and M. C. Whitlock. 2013. Assisted gene flow to facilitate local adaptation to climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 44:1-22.
- Barner, H. and K. Olsen. 1994. Seed crop evaluation. Danida Forest Seed Centre. Technical Note 19. 20 p.
- Bramlett, D. L. 1987. Protection of pine seed orchards in the Southeastern United States. *Forest Ecology and Management* 19:199-208.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher, G. L. DeBarr, J. L. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware and H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA For. Ser. Ashville, NC. 28 p.
- Cain, M. D. and M. G. Shelton. 2000. Revisiting the relationship between common weather variables and loblolly-shortleaf pine seed crops in natural stands. *New Forest* 19:187-2004.
- Castro, J. 1999. Seed mass versus seedling performance in Scots pine: a maternally dependent trait. *New Phytologist* 144:153-161.
- Córdoba R., D., J. J. Vargas H. y J. A. Arévalo R. 2008. Adaptabilidad de poblaciones de *Pinus pinceana* en dos suelos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:273-279.
- De Groot, P. and F. Schnekenburger. 1996. Cone traits of jack pine and black spruce in young seedling seed orchards. *New Forest* 12:279-291.
- FAO. 1991. Guía para la Manipulación de Semillas Forestales. Cuaderno Técnico No. 20. FAO, Roma. 502 p.
- Favela L., S., C. G. Velazco M. y G. J. Alanís F. 2009. *Pinus pinceana* (Pinaceae), nuevo registro para el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 3:771-774.
- Flores F., J. D. y D. E. Díaz E. 1989. Factores asociados con la variación anual en la producción de conos y semillas en *Pinus cembroides* Zucc. en Saltillo, Coah. *In: Memorias 3<sup>er</sup> Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. pp:136-144.

- Flores-López, C., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39:117-126.
- Flores-López, C., G. Greada L., J. López-Upton y E. López R. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa* 31:49-58.
- Gómez J., D. M., C. Ramírez H., J. Jasso M. y J. López U. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schtdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:297-304.
- Gumpertz, M. L. and C. Brownie. 1993. Repeated measures in randomized block and split-plot experiments. *Canadian Journal of Forest Research* 23:625-639.
- Hernández S., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semilla en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis Profesional. UAAAN. Saltillo, Coah. 38 p.
- Ledig, F. T., M. A. Cápo-Arteaga, P. D. Hodgskiss, H. Sbay, C. Flores-López, C. M. Thompson and B. Bermejo-Velázquez. 2001. Genetic diversity and the mating system of a rare Mexican piñon, *Pinus pinceana*, and comparison with *Pinus maximartinezii* (Pinaceae). *American Journal of Botany* 88:1977-1987.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss and V. Jacob-Cervantes. 2002. Genetic diversity, mating system, and conservation of a Mexican subalpine relict, *Picea mexicana* Martínez. *Conservation Genetics* 3:113-122.
- Lopez-Upton, J. and J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. in natural stands in Mexico. *Tree Planters' Notes* 46:1-10.
- Mápula-Larreta, M., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández and A. Hernández-Livera. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16:727-742.

- Martiñón-Martínez, R. J., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, A. Gómez-Guerrero y H. Vaquera-Huerta. 2010. Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon a estrés por sequía y altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:239-248.
- Molina-Freaner, F., P. Delgado, D. Piñero, N. Pérez and E. Álvarez B. 2001. Do rare pines need different conservation strategies? Evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany* 79:131-138.
- Morales V., M. G., C. A. Ramírez-Mandujano, P. Delgado V. y J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1:31-38.
- Mosseler, A. 1992. Seed yield and quality from early cone collections of black spruce and white spruce. *Seed Science & Technology* 20:473-482.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S. Park, K. H. Johnsen and O. P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78:928-940.
- Mueller, R. C., B. D. Wade, C. A. Gehring and T. G. Whitham. 2005. Chronic herbivory negatively impacts cone and seed production, seed quality and seedling growth of susceptible pinyon pines. *Oecologia* 143:558-565.
- Narváez F., R. 2000. Estimación de la cosecha de semilla de *Pinus arizonica* Engelm, con base en la producción de conos, en la región de Madera, Chih. Folleto Técnico No 12. Centro. Campo Experimental Madera. INIFAP. 29 p.
- Owens, J. N., J. Bennett and S. L'Hirondelle. 2005. Pollination and cone morphology affect cone and seed production in lodgepole pine seed orchards. *Canadian Journal of Forest Research* 35:383-400.
- Ramírez-Herrera, C., K. E. Percy, J. A. Loo, L. D. Yeates and J. J. Vargas-Hernández. 2010. Genetic variation in needle epicuticular wax characteristics in *Pinus pinceana* seedlings. *Silvae Genetica* 60:210-215.

- Rehfeldt, G. E., B. C. Jaquish, J. López-Upton, C. Sáenz-Romero, J. B. St Clair, L. P. Leites and D. G. Joyce. 2014. Comparative genetic responses to climate for the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Realized climate niches. *Forest Ecology and Management* 324:126-137.
- Richardson, D. M. and P. W. Rundel. 1998. Ecology and Biogeography of *Pinus*: an Introduction. *In: Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge University Press. pp:3-46.
- Romero M., A., E. García M. and M. F. Passini. 1996. *Pinus cembroides* y *Pinus johannis* del altiplano mexicano: una síntesis. *Acta Botanica Gallica* 143:681-693.
- Sánchez-Tamayo, V., M. L. Nieto-Pérez y L. C. Mendizábal-Hernández. 2005. Producción de semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D. K. Bailey de Altzayanca, Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 7:15-20.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt, N. L. Crookston, D. Pierre, R. St-Amant, J. Beaulieu and B. Richardson. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-plant impacts on vegetation. *Climatic Change* 102:595-623.
- SAS Institute Inc. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 8.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA.
- Sokal, R. R. and J. Rohlf. 2012. *Biometry: the Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 4<sup>th</sup> ed. W.H Freeman and Co. New York. 937 p.
- Sorensen, F. C. 1973. Frequency of seedlings from natural self-fertilization in Coastal Douglas-fir. *Silvae Genetica* 22:20-24.
- Todhunter, M. N. and 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.

Villarreal-Quintanilla, Á., O. Mares-Arreola, E. Cornejo-Oviedo y M. A. Capó-Arteaga. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. Acta Botánica Mexicana 89:87-124.

Westemeier, R. L., J. D. Brawn, S. A. Simpson, T. L. Esker, R. W. Jansen, J. W. Walk, E. L. Kershner, J. L. Bouzat and K. N. Paige. 1998. Tracking the long-term decline and recovery of an isolated population. Science 282:1695-1698.

## CAPITULO IV. GERMINACIÓN DE SEMILLAS EN *Pinus pinceana* GORDON DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

### 4.1 RESUMEN

Diferentes tratamientos pregerminativos fueron probados en semillas almacenada por uno y dos años de recolecta de las dos poblaciones meridionales de *Pinus pinceana* Gordon, pino piñonero endémico de México. En cajas Petri la contaminación por hongos fue común a pesar del uso de peróxido de hidrógeno. La viabilidad de la semilla del Arenalito fue de 77.5% y de San Cristóbal 68%. En invernadero fueron probados: control, hipoclorito de sodio al 1.95%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 1%, estratificación a 4 °C durante 21 y 42 días, y un fungicida comercial. Se determinó variación significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos, las soluciones de hipoclorito de sodio por 5 (HS<sup>5</sup>) y 10 minutos (HS<sup>10</sup>) resultaron las mejores. El porcentaje de germinación varió de 52 a 64% con HS<sup>5</sup> y HS<sup>10</sup>. No hubo diferencias significativas entre poblaciones o entre los dos años de recolecta en capacidad germinativa y vigor germinativo. El valor R'50 (número de días necesarios para que 50% de la germinación se logre) en HS<sup>5</sup> y HS<sup>10</sup> fue de 25 y 29 días. La población de San Cristóbal tuvo el valor más grande del vigor germinativo en HS<sup>10</sup> en el segundo año, y la mejor velocidad de germinación. Semilla con menos tiempo de almacenamiento germinó mejor.

**Palabras clave:** poblaciones, semilla, tratamiento, invernadero.



## GERMINATION OF SEEDS IN *Pinus pinceana* GORDON FROM HIDALGO STATE, MÉXICO

### 4.2 ABSTRACT

Different pregerminative treatments were tested on one and two years of storage seed from the two southernmost stands of *Pinus pinceana* Gordon, a pinyon pine endemic from Mexico. In Petri dishes fungi contamination was common despite the use of hydrogen peroxide. 77.5% of El Arenalito and 68% of San Cristóbal seeds were viable. In a greenhouse, four pregerminative treatments were tested: control, sodium hypochlorite at 1.95%, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 1%, stratification at 4° C for 21 and 42 days, and commercial fungicide. A significant variation ( $p \leq 0.01$ ) among treatments was detected; the best results were using sodium hypochlorite by 5 (HS<sup>5</sup>) and 10 minutes (HS<sup>10</sup>). Germination percentage varied from 52 to 64% in HS<sup>5</sup> and HS<sup>10</sup>. There were not significant differences between populations or the two years of harvest tested in germination capacity and germination value. R'50 value (number of days required to get the 50 % of germinating seeds to germinate) for HS<sup>5</sup> and HS<sup>10</sup> was 25 and 29 days. The population of San Cristóbal had the bigger value for germination vigor with HS<sup>10</sup> at the second year, and the best speed of germination. Seeds with less time of storage germinated the best.

**Key word:** populations, seeds, treatments, greenhouse.

### 4.3. INTRODUCCIÓN

La germinación es la etapa inicial más crítica que tiene un papel importante en el establecimiento, supervivencia y perpetuidad de las especies vegetales que se propagan a través de semilla; a menudo, la tasa de germinación se asocia con la capacidad de desarrollo de las especies vegetales (Rossello y Mayol, 2002; Jorgensen y Wilson, 2004). El potencial de germinación está determinado por la especie, la procedencia y la edad de las semillas, así como las condiciones de almacenamiento y tratamientos pregerminativos que se les aplique (Thomson y El Kassaby, 1993).

La latencia, la viabilidad y el tamaño del embrión influyen directamente en la germinación de la semilla (Kolotelo *et al.*, 2001). La latencia es un mecanismo natural relacionado a la semilla viable, la cual no germina aun en condiciones ambientales favorables; sus causas han sido atribuidas a factores fisiológicos, como la intervención de hormonas (Kucera *et al.*, 2005), la presencia de inhibidores o inmadurez fisiológica del embrión (Bonner *et al.*, 1994); factores morfológicos como la deficiencia en el desarrollo del embrión, o físicos por la impermeabilidad de la testa al paso del agua (Finch-Savage y Leubner-Metzger, 2006) o la combinación entre ellos.

*Pinus pinceana* Gordon es un pino piñonero endémico de México (Perry, 1991), con pocas poblaciones, todas fragmentadas (Molina-Freaner *et al.*, 2001; Favela *et al.*, 2009), incluido en la lista de especies que requiere protección (SEMARNAT, 2010), y que produce semillas comestibles para la fauna y pobladores locales. Esta

especie habita lugares secos y ecológicamente sus copas como la de otro árboles piñoneros, proporcionan sombra que reduce la velocidad de evaporación, formando un microclima que favorece el crecimiento de herbáceas y arbustivas (Romero y García, 2002). La semilla de *P. pinceana* tiene testa gruesa, mayor que en otros piñoneros, que le da una alta resistencia al consumo de depredadores, pero imposibilita el paso de agua y oxígeno al interior. Esto se conoce como latencia física, y algunos tratamientos han resultado efectivos para el rompimiento de dicha latencia (Ramírez-Herrera *et al.*, 2008) y por consecuencia en el mejoramiento de la germinación. Entre ellos se han utilizado la escarificación y los de desinfectar la testa utilizando peróxido de hidrógeno diluido o fungicidas (Barnett, 1976; Barnett y McGilvray, 2002). Los tratamientos pregerminativos se usan para obtener mayor capacidad germinativa y energía (velocidad) y mejorar la uniformidad de la germinación cuando las semillas tienen reducido valor germinativo o bien latencia primaria o secundaria (Bonner y Vozzo, 1983). La latencia secundaria puede ocurrir al secar y almacenar en frío semillas por cierto tiempo en bancos de germoplasma.

En *P. pinceana* existe poca información sobre las técnicas de propagación, lo que ocasiona altos costos y variabilidad en la producción de plantas. En el estado de Hidalgo se ubican dos poblaciones de tamaño reducido que representan el extremo sur de la distribución natural de este pino piñonero, tienen una escasa repoblación natural, lo que se ha asociado en parte al pastoreo y a la escasa y errática producción de semillas viables. En inspecciones por diez años se ha observado solo un año de alta producción de semilla. Se ha encontrado que las poblaciones pequeñas y/o

ubicadas en los márgenes de la distribución natural de una especie presentan valores reducidos en su capacidad reproductiva (Westemeier *et al.*, 1998; Mosseler *et al.*, 2000), así como una mayor susceptibilidad a la pérdida de variación genética (Shea y Furnier, 2002). Las poblaciones marginales tienen un valor especial para la conservación, ya que al estar expuestas a mayores presiones de selección natural representan fuentes de semilla adaptadas de manera local a condiciones de estrés, que podrían ser útiles ante la expectativa de un cambio climático (Rajora y Mosseler, 2001; Chhatre y Rajora, 2014).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de algunos tratamientos pregerminativos sobre la germinación de semilla de *P. pinceana* procedente del estado de Hidalgo recolectadas en dos años y almacenadas bajo refrigeración.

#### **4.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

La semilla se obtuvo de dos poblaciones de *P. pinceana* en el estado de Hidalgo, denominadas El Arenalito y San Cristóbal. En dos consecutivos años de recolecta se obtuvo semilla de 25 árboles separados entre sí por un mínimo de 50 m de cada población (Cuadro 4.1). Los conos se colocaron en el invernadero durante el día con el fin de acelerar la apertura de las escamas de los conos para extraer las semillas. Los lotes de semillas de ambos años se mantuvieron en bolsas de plástico etiquetadas, bajo refrigeración a 2°C. Posteriormente en el 2003, se estableció un ensayo de germinación con ambos lotes de semilla, los que tuvieron entonces 12 y 24 meses en almacenamiento, respectivamente.

**Cuadro 4.1. Procedencias de semilla de *Pinus pinceana* utilizada en los tratamientos pregerminativos del estado de Hidalgo.**

Procedencia	Coordenadas	Longitud	Árboles	Años de recolecta
El Arenalito	20° 37'	98° 58'	25	2001/2002
San Cristóbal	20° 38'	99° 02'	25	2001/2002

#### **4.4.1 Prueba de viabilidad**

Se realizó una prueba de viabilidad para las semillas cada población y fecha de recolecta utilizando cloruro de tetrazolio al 1%, esto es 10 g de 2,3,5, cloruro de trifetil tetrazolio por litro de agua destilada (Bonner *et al.*, 1994). A cada semilla evaluada se le realizó un corte longitudinal y se sumergió en la solución de tetrazolio, donde permaneció 24 horas a 25 °C en completa oscuridad; se consideraron como semillas viables aquellas en las que se tiñeron el embrión y el gametofito (Kolotelo, 1997). Se utilizaron cuatro repeticiones de 50 semillas cada una, esto es 200 semillas por población-año de recolecta.

#### **4.4.2 Tratamientos pregerminativos**

Las pruebas de los tratamientos pregerminativos se efectuaron tanto en laboratorio como en el invernadero. Para la evaluación en condiciones de laboratorio se utilizaron lotes de 100 semillas con cuatro repeticiones por tratamiento (ISTA, 1999). Las semillas se colocaron en cajas Petri con papel filtro en una cámara germinadora a una temperatura constante de 28°C y luz continua. Los tratamientos probados fueron: a) testigo, donde las semillas se imbibieron en agua destilada durante 24 h bajo una temperatura de 20°C; b) imbibición en una solución de peróxido

de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 1% (Córdoba *et al.*, 2008) durante 12 h, a una temperatura de 20°C; c) se utilizó un estimulante comercial de germinación de nombre Biozyme, cuyos ingredientes son ácido indoloacético (12.25 p.p.m), giberelinas (28.70 p.p.m) y zeatina (47.80 p.p.m). Este producto se aplicó a las semillas en forma de polvo seco, las cuales se lavaron previamente con una solución fungicida (captán, 2 mg por L); d) eliminación de la testa (Ramírez *et al.* 2008), donde el embrión y su megagametofito fueron lavados en una solución de un fungicida similar al tratamiento anterior.

Los tratamientos en invernadero incluyeron: a) testigo (T) donde las semillas se imbibieron en agua destilada durante 24 horas; b) remojo en una solución al 1.95% de hipoclorito de sodio (HS) durante 5 ( $HS^5$ ) y 10 ( $HS^{10}$ ) minutos, para lo cual se utilizó un producto comercial (cloralex, 6.5% de  $NaClO$ ), del cual se tomaron 30 ml y se aforaron a 100 ml para obtener la concentración final. c) remojo en una solución al 1% de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) durante 72 h en las cuales las semillas se mantuvieron bajo constante agitación a temperatura ambiente; d) estratificación, después de imbibir en agua destilada por 24 h a temperatura ambiente, las semillas se colocaron en frío durante 21 ( $E^3$ ) y 42 ( $E^6$ ) días a una temperatura de 4°C; e) fungicida (F), se utilizó un fungicida de tipo sistémico a base del producto comercial Promilo® (Ingrediente activo Benomilo, 5 g x 1 l de agua destilada), en el cual se sumergieron las semillas por 1 h a temperatura ambiente.

Se utilizaron cuatro lotes de 100 semillas (400 en total) por cada uno de los tratamientos para probar además las diferencias entre poblaciones y fechas. Las

semillas se establecieron en invernadero en el 2003, donde se colocaron en envases plásticos de 350 cm<sup>3</sup> con una mezcla desinfectada con bromuro de metilo de turba-agrolita-tierra negra en proporciones 1:1:1. Se consideró como semilla germinada cuando los cotiledones emergieron del sustrato. La germinación se evaluó a intervalos de dos días durante los primeros 15 días de inicio y a intervalos de tres días posteriormente, hasta los 56 días.

El vigor de las semillas se calculó con: i) la capacidad germinativa (CG), que es el porcentaje de semillas que germinaron durante la prueba; ii) la tasa media de germinación ( $R'_{50}$ ), que es el número de días que se requieren para obtener el 50% de germinación del total de semillas germinadas (Thomson y El Kassaby, 1993); iii) el valor pico (VP), que es el punto máximo del porcentaje de emergencia acumulado dividido por el número de días durante el periodo de germinación y iv) el vigor germinativo (VG), calculado con base en el valor pico y la germinación media diaria, que es la capacidad germinativa dividida por el número de días en la prueba ( $VG=VP \cdot GMD$ ) (Czabator, 1962; Kolotelo *et al.*, 2001).

Debido a la baja germinación obtenida en las pruebas realizadas en laboratorio; los datos de germinación de la semilla no se analizaron estadísticamente. De las pruebas establecidas en invernadero se obtuvo el promedio por parcela para hacer el análisis mediante un diseño factorial con arreglo completamente al azar, donde como factores se consideraron los tratamientos, fechas de recolecta y poblaciones, así como las interacciones correspondientes de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + TP_{ij} + F_k + TF_{ik} + PF_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:  $Y_{ijk}$  es el valor observado de la característica por parcela,  $\mu$  es la media general,  $T_i$  es el efecto del tratamiento pregerminativo,  $P_j$  es el efecto de la población,  $TP_{ij}$  es efecto de la interacción entre el tratamiento y la población,  $F_k$  es el efecto del año de recolecta,  $TF_k$  es el efecto de la interacción del tratamiento y la fecha de recolecta,  $PF_{jk}$ , es el efecto de la interacción entre la población y el año de recolecta, y  $\varepsilon_{ijk}$  es el error experimental. Todos los efectos se consideraron como fijos salvo el error experimental.

Todos los análisis se efectuaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System® (SAS Institute Inc., 1998). Los análisis de varianza se obtuvieron mediante el procedimiento PROC MIXED y con la opción LSMEANS se obtuvieron las medias ajustadas (Littell *et al.*, 1996). Debido a la falta de normalidad, el porcentaje de germinación fue transformado usando la función arcoseno, los valores de R'50 con  $1 - (1/x+1)$ , y los del vigor germinativo con  $\sqrt{(x+0.5)}$ , donde x es el valor de la variable en cuestión (Edwards y El Kassaby, 1996).

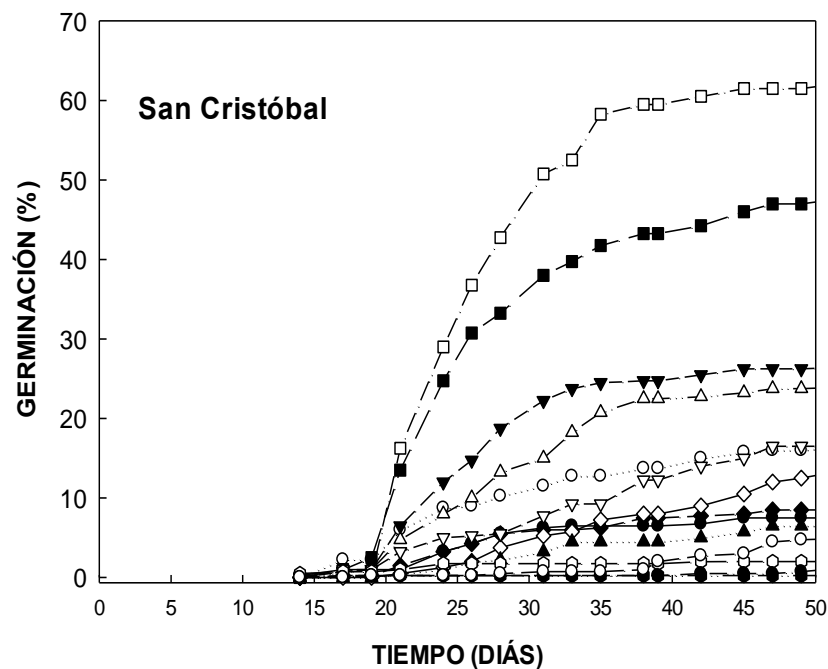
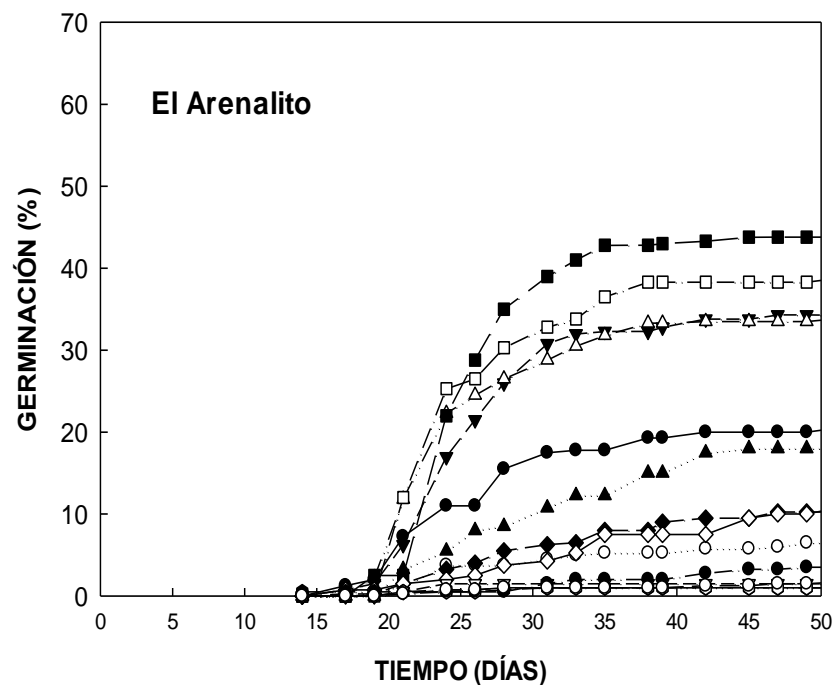


## 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme los resultados de las pruebas de viabilidad con tetrazolio, la población de San Cristóbal presentó 68 y 77.5% de viabilidad para el primer y segundo año de cosecha, respectivamente. En El Arenalito se obtuvo un 82 y 64% de semillas viables en el primer y segundo año. El comportamiento entre fechas en las dos localidades es opuesto. Los lotes de semilla más recientes tuvieron porcentajes de viabilidad mayor debido a un menor deterioro en el almacenamiento (Bonner y Vozzo, 1983), y diferencias probables a la calidad inicial de la cosecha en sus respectivos años.

En las pruebas de laboratorio con el tratamiento de peróxido de hidrógeno se obtuvo el 9% de germinación total, la germinación de las semillas inició 14 días después de establecido el experimento. En el resto de los tratamientos no se obtuvieron resultados favorables debido a una severa infestación por hongos, la insuficiencia en la cantidad de semilla recolectada no permitió realizar una segunda evaluación, pero sirvió para controlar mejor la desinfección en la germinación en vivero.

Los resultados del análisis de varianza de las pruebas en invernadero (Cuadro 4.2) indicaron una variación significativa ( $p \leq 0.01$ ) entre los tratamientos probados. El porcentaje de germinación general fue del 17.8 % y varió desde el 0.25% registrado en el tratamiento con agua oxigenada, hasta el 64.5% obtenido con hipoclorito de sodio (Figura 4.1).



- |     |                                     |     |                                     |     |                                     |     |                                     |
|-----|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|-------------------------------------|
| —●— | Testigo 2001                        | —○— | Testigo 2002                        | —▼— | Cloro 5 min. 2001                   | —△— | Cloro 10 min. 2001                  |
| —■— | Cloro 10 min. 2002                  | —□— | Cloro 10 min. 2002                  | —◆— | Estratificación E <sup>3</sup> 2001 | —◇— | Estratificación E <sup>3</sup> 2002 |
| —▲— | Estratificación E <sup>6</sup> 2001 | —▽— | Estratificación E <sup>6</sup> 2002 | —●— | Agua oxigenada 2001                 | —◇— | Agua oxigenada 2002                 |
| —●— | Fungicida 2001                      | —○— | Fungicida 2002                      |     |                                     |     |                                     |

Figura 4.1. Germinación acumulada (%) de semillas obtenidas en dos cosechas de dos poblaciones de *Pinus pincea* del estado de Hidalgo bajo diferentes pretratamientos germinativos.

**Cuadro 4.2. Componentes de varianza (%) por factor y varianza total de la germinación de poblaciones de *Pinus pinceana* del estado de Hidalgo.**

Fuente de variación	Capacidad germinativa	Vigor germinativo	R´50	Valor pico
$\sigma^2_p$	0	0	8.01*	0
$\sigma^2_t$	79.24**	58.10**	40.09**	76.55**
$\sigma^2_f$	0	6.27	0	0
$\sigma^2_{p*t}$	0	0	21.52	0
$\sigma^2_{p*f}$	8.05*	0.95	0	4.91*
$\sigma^2_{f*t}$	5.70	14.20	16.59**	11.27
$\sigma^2_{error}$	7.01	20.48	13.79	7.27
$\sigma^2_{total}$	0.063	0.054	66.28	0.2322

Donde  $\sigma^2_p$  =varianza entre poblaciones;  $\sigma^2_t$  =varianza del tratamiento,  $\sigma^2_f$  =varianza de la fecha;  $\sigma^2_{p*t}$  = varianza de la interacción población por tratamiento;  $\sigma^2_{p*f}$  =varianza de la interacción población por fecha;  $\sigma^2_{f*t}$  =varianza de la interacción tratamiento por fecha. R´50 =tasa media de germinación. \*\*P≤0.01 y \*P≤0.05

Los tratamientos con el hipoclorito de sodio incrementaron el porcentaje de germinación hasta tres veces más en comparación con el testigo en ambas poblaciones (Cuadro 4.3). Los resultados en el resto de los tratamientos fueron variables pero no favorecieron la germinación. El tratamiento con hipoclorito de sodio aplicado redujo la contaminación de testa protegiendo la semilla, sin afectar la viabilidad del embrión. Su efectividad como agente desinfectante está dada por el tamaño pequeño de sus moléculas y su neutralidad eléctrica, lo que lo hace de fácil penetración en las células, aunque sus beneficios dependen de la formulación y concentración así como del grado de infección de las semillas (Sauer y Burroughs, 1986).

**Cuadro 4.3. Medias y error estándar de características germinativas en dos fechas de cosechas de dos poblaciones naturales de *Pinus pinceana* del estado de Hidalgo.**

Población	Año	Vigor germinativo	R'50	Valor pico
EI ARENALITO	General	0.27 ± 0.08	25.71 ± 0.86	0.43 ± 0.04
	1	0.23 ± 0.11	26.14 ± 1.22	0.45 ± 0.06
	2	0.32 ± 0.11	25.28 ± 1.22	0.41 ± 0.06
SAN CRISTÓBAL	General	0.29 ± 0.08	29.71 ± 0.86	0.41 ± 0.04
	1	0.10 ± 0.11	29.71 ± 1.22	0.26 ± 0.06
	2	0.49 ± 0.11	29.71 ± 1.22	0.56 ± 0.06

Las semillas de varias especies puede mejorarse y/o acelerarse si las semillas son sometidas a la estratificación, especialmente si ha sido almacenada (Young y Young, 1992). La estratificación en frío intenta reproducir las condiciones que ocurren en un bosque natural cuando las semillas son diseminadas en el suelo y germinan en la siguiente primavera (Axelrood *et al.*, 1995). En este estudio la estratificación no mejoró la germinación presentando un rango entre 1.5 hasta 17.7%, además se detectó contaminación por patógenos durante la estratificación, lo que coincide con las observaciones de Ramírez-Herrera *et al.* (2008); si bien la germinación escasa con este tratamiento se ha relacionado en algunos casos con una calidad de semilla pobre (Sorensen, 1991) igualmente este tratamiento no ha mejorado la germinación en otras especies de piñoneros como en *Pinus maximartinezii* Rzedowski (Leung y García, 1985) o a provocado la reducción en la tasa de germinación como en *Pinus cembroides* Zucc. (Carrera y Villagómez, 1979).

Los porcentajes más bajos de germinación se presentaron con el uso del peróxido de hidrógeno (0.25 a 1% de germinación). Este tratamiento ha mostrado resultados efectivos en especies como *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus duranguensis* Mart. (Meraz y Bonilla, 2001) que no tienen testa gruesa y su efectividad está relacionada al control de patógenos en las semillas y tiene la ventaja sobre el hipoclorito de sodio de que no deja residuos tóxicos (Kolotelo *et al.*, 2001).

Al analizar las poblaciones, ambas presentan valores más bajos en el primer año de recolecta, considerando los resultados con las pruebas realizadas con tetrazolio y con la presencia de un mayor vigor germinativo en el segundo año, es de suponer que semillas con más tiempo en almacenamiento (las de 1<sup>er</sup> año) presenten una capacidad disminuida al momento de la germinación (Cuadro 4.3). De manera general los resultados obtenidos son inferiores en comparación con otras especies de coníferas (Kolotelo *et al.*, 2001). En las coníferas es conocido el efecto negativo de la endogamia sobre el desarrollo y vigor del embrión (Woods y Heaman, 1989; Webber y Painter, 1996). Ramírez-Herrera *et al.* (2008) reportan en un estudio realizado para doce poblaciones de *P. pinceana* valores bajos en germinación utilizando semillas enteras y almacenadas que van desde 0 % para El Arenalito en la región Sur hasta 32% para una localidad en la región Norte de México, dentro de esta investigación se sugiere que compuestos inhibidores en la testa de la semilla o bien el grosor de la misma actúan como barrera mecánica e influyen en la germinación de la especie, ya que como resultado de remover la testa se obtuvieron mejores valores.

En otras especies bajo riesgo se han indicado valores en germinación superiores a los obtenidos en este estudio; Martínez-Carrasco (1998) reporta para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen una tasa de germinación que varía de 80 % en cajas Petri, hasta 18.7 % en condiciones seminaturales de cuatro localidades, relacionando sus resultados a una posible diferenciación genética causada por el aislamiento y tamaño reducido de poblaciones. Leung y García (1985) mencionan hasta un 100 % de germinación en *Pinus maximartinezii* bajo condiciones de laboratorio y 21 % en condiciones de invernadero. Esta condición concuerda con la noción de que una baja capacidad y energía germinativa en ciertas especies podría estar asociado con un mayor nivel de endogamia, debido al menor número de individuos y a su mayor fragmentación y aislamiento (Juárez-Agis *et al.*, 2006; Mápula-Larreta *et al.*, 2008).

No se encontraron diferencias significativas entre poblaciones ni entre años de cosecha, aunque si hay variaciones biológicas y numéricas que son importantes a nivel de manejo de la especie en campo (Cuadro 4.2 y 4.4). La mayor contribución a la varianza total se debe al efecto del tratamiento.  $R^2_{50}$  además se encuentra influenciada por la población y por la interacción entre éste y la fecha de recolecta. La población El Arenalito presentó una mejor respuesta a los tratamientos aplicados ( $R^2_{50}=25$  días) que la población de San Cristóbal ( $R^2_{50}=29$  días).

**Cuadro 4.4. Efecto del tratamiento pregerminativo con Hipoclorito de sodio al 1.95% sobre la germinación de poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon del estado de Hidalgo.**

Población	Año	Tratamiento	Germinación (%)	G' (%)	R'50 (días)	Vigor germinativo	Valor pico
EL ARENALITO	1	Testigo	20.75	25.30	24	0.21	0.56
		HS <sup>5</sup>	34.50	42.07	26	0.62	0.97
		HS <sup>10</sup>	34.25	41.77	24	0.60	0.95
SAN CRISTÓBAL	1	Testigo	7.50	11.03	24	0.02	0.20
		HS <sup>5</sup>	29.00	42.65	33	0.38	0.72
		HS <sup>10</sup>	24.00	35.29	28	0.26	0.59
EL ARENALITO	2	Testigo	6.50	10.16	24	0.01	0.16
		HS <sup>5</sup>	45.25	70.70	24	1.05	1.26
		HS <sup>10</sup>	38.00	59.38	24	0.76	1.08
SAN CRISTÓBAL	2	Testigo	16.50	21.29	24	0.11	0.39
		HS <sup>5</sup>	52.75	68.06	24	1.20	1.23
		HS <sup>10</sup>	64.50	83.23	26	1.95	1.64

Donde: **G'** es el valor ajustado de la germinación adecuado por la viabilidad, **R'50** es el número de días que se requieren para obtener el 50% de germinación del total de semillas germinadas. **HS<sup>5</sup>**= remojo en hipoclorito de sodio al 1.95% por 5 minutos, **HS<sup>10</sup>**= remojo en hipoclorito de sodio al 1.95% por 10 minutos.

Las poblaciones de *P. pinceana* incluidas en este estudio presentan una capacidad germinativa moderada (Cuadro 4.4). Los resultados obtenidos en este parámetro coinciden con los resultados en las pruebas de viabilidad con tetrazolio donde existe variación entre las poblaciones. En San Cristóbal el segundo año es el de mayor capacidad germinativa, mientras que en El Arenalito el primer año presenta

mejores resultados, lo que se relaciona con un mayor número de semillas viables. Sin embargo, el vigor germinativo de la semilla se incrementa en ambas poblaciones en la recolecta del segundo año. La población de San Cristóbal presentó diferencias significativas entre los años de producción, excepto para la tasa media de germinación. La tasa media de germinación ( $R_{50}$ ) en los tratamientos con hipoclorito de sodio, que fueron aquellos con mejores resultado (Figura 4.1), se registró entre los 25 y 29 días. La germinación de las poblaciones de *P. pinceana* estudiadas es lenta e inicia después de los 15 días.

En especies como *Picea rubens* Sarg y *Picea mariana* Mill la germinación se ha registrado entre los 16.9 y 23.7 días respectivamente (Major *et al.*, 2003) mientras que en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, se ha reportado que la germinación inicia a los 6 días (Mápula *et al.*, 2008). Las poblaciones de El Arenalito y San Cristóbal difieren por más de 3 días en el tiempo para obtener el 50 % de germinación. Estas diferencias en velocidad de germinación pueden proporcionar una ventaja y ser suficientes para asegurar que las plántulas en emerger primero sean favorecidas (Washitani y Saeki, 1986; Thomson y El-Kassaby, 1993). La semilla recolectada en el 2002 presentó un mejor resultado en la germinación. Las diferencias entre años se han atribuido en algunos casos al impacto del ambiente sobre la planta madre tales como la precipitación y temperatura durante la maduración de la semilla (Andersson y Milberg, 1998), pero en este caso puede ser mayormente atribuido al tiempo de almacenamiento, que fue de la mitad que la recolectada en el 2001.



Considerando que entre 63 y 82 % de la semilla fue viable para germinar, los tratamientos pregerminativos con desinfección tuvieron éxito para que germinara la semillas de *P. pinceana* después de uno y dos años en almacenamiento (Cuadro 4.4). Al realizar un ajuste en los porcentajes de germinación donde la germinación ajustada por el valor de viabilidad se puede calcular como  $G' = G^V * 100 / V^T$ , donde  $G^V$  es el valor de la germinación registrada en vivero y  $V^T$  es el resultado de las pruebas de viabilidad usando la solución de tetrazolio al 1%. Bajo este ajuste, resulta que los tratamientos pregerminativos a base de hipoclorito de sodio favorecen sustancialmente la germinación (Cuadro 4.4).

#### 4.6 CONCLUSIONES

Los porcentajes de germinación obtenidos en este estudio en relación a otras especies de piñoneros son moderados al usar el mejor pretratamiento germinativo. El porcentaje de germinación fue mejor al usar hipoclorito de sodio al 1.95 % por 5 y 10 minutos (cloro comercial al 6.5%), ya que la semilla de *P. pinceana* es una especie con latencia física y susceptibilidad al ataque de patógenos. Los tratamientos con frío (estratificación), peróxido de hidrogeno y el fungicida de tipo comercial no dieron resultados favorable.

Ambas poblaciones no presentan diferencias significativas en cuanto a las características de germinación evaluadas; sin embargo el año de recolecta y el tratamiento causan una variación en la tasa de germinación en cada una de las

poblaciones, lo que se debe considerar al momento de programar la producción de planta. El almacenamiento extendido afecta el vigor de las semillas, sin embargo estas conservaron viabilidad moderada durante el periodo de almacenamiento de hasta dos años.

#### 4.7 LITERATURA CITADA

- Andersson, L. and P. Milberg. 1998. Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Science Research* 8:29-38.
- Axelrood, P. E., M. Neumann, D. Troter, R. Radley, G. Shrimpton and J. Dennis 1995. Seedborne fusarium on Douglas-fir: pathogenicity and seed stratification method to decrease *Fusarium* contamination. *New Forest* 9:35-51.
- Bramlett, J. P. and S. Verla. 2003. Producing high-quality slash pine seeds. *In*: L. E. Riley, R. K. Dumroese, and T. D. Landis (Coord.). National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, Utah. USDA. pp:52-56.
- Barnett, J. P. 1976. Sterilizing southern pine seeds with hydrogen peroxide. *Tree Planters Notes* 27(3):17-19.
- Barnett, J. P. and J. M. McGilvray. 2002. Improving longleaf pine seedling production by controlling seed and seedling pathogens. *In*: K. Outcait (Ed.) Proc. Eleven Southern Silviculture Research Conference. Gen. Tech. Report SRS-48, Asheville, N. C. USDA Forest Service. pp:45-46.
- Bonner, F. T. and J. A. Vozzo. 1983. Measuring southern pine seed quality with a conductivity meter-does it work? *In*: J. P. Brissette and C. W Lantz. Proceedings of the 1982, Southern Nursery Conferences. USDA Forest Service Tech. Publ. R8-TP4, Atlanta: USDA Forest Serv. Southern Region. pp:97-105.
- Bonner, F. T., J. A. Vozzo, W. W. Elam and S. B. Land, Jr. 1994. Tree seed technology training course. Instructor's manual. USDA Forest Service. New Orleans, Louisiana. 160 p.
- Carrera-García, M. y Y. Villagómez-Aguilar. 1979. Efectos de la estratificación de semillas en tres especies del género *Pinus*. *Ciencia Forestal (México)*, 17(4):31-51.
- Chhatre, V. E. and O. P. Rajora. 2014 Genetic divergence and signatures of natural selection in marginal populations of a keystone, long-lived conifer, eastern white pine (*Pinus strobus*) from northern Ontario. *Plos One* 9(5):1-13.
- Córdoba R., D., J. J. Vargas H. y J. A. Arévalo R. 2008. Adaptabilidad de *Pinus pinceana* en dos suelos. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 31(3):273-279.
- Czabator, F. J. 1962. Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8:386-396.

- Edwards, D. G. W. and Y. A. El Kassaby. 1996. The effect of stratification and artificial light on the germination of mountain hemlock seeds. *Seed Science Technology* 24:225-235.
- Favela L., S., C. G. Velazco M. y G. J. Alanís F. 2009. *Pinus pinceana* (Pinaceae), nuevo registro para el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 3(2):771-774.
- Finch-Savage, W. E. and G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist* 171:501-523.
- ISTA. 1999. International rules for seed testing. *Seed Science Technology* 27 Supplement: 155-174.
- Jorgensen, K. R. and R. Wilson. 2004. Seed germination. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTE-136:723-734.
- Juárez-Agis, A., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y C. Sáenz-Romero. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Agrociencia* 40:783-792.
- Kolotelo, D. 1997. Anatomy and morphology of conifer of tree seed. Forest Nursery Technical Series 1.1. Ministry of Forest. British Columbia. Canada. 106 p.
- Kolotelo, D., E. V. Steenis, M. Peterson, R. Bennett, D. Trotter, and J. Dennis. 2001. Seed Handling Guidebook. Ministry of Forest. British Columbia. Canada. 62 p.
- Kucera, B., M. A. Coh and G. Leubner-Metzger. 2005. Plant hormone interactions during dormancy release and germination. *Seed Science Research* 15:281-307.
- Leung, D. W. M. and E. García M. 1985. El control de la germinación en *Pinus maximartinezii* Rzedowski. In: J.E. Flores (Ed.) Memorias 1er Congreso Nacional sobre Pinos Piñonero, 10-12 junio de 1985. Reporte Científico No. Especial 2. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, U.A.N.L., Linares, México. pp: 87-99.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup and R. D. Wolfinger. 1996. SAS System for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA. 633 p.
- Major, J. E., A. Mosseler, D. C. Barsi, M. Campbell, and O. P. Rajora, 2003. Morphometric, allometric, and developmentally adaptive traits in red spruce and

- black spruce. I. Species and seed-source variation. *Canadian Journal of Forest Research* 33:885-896.
- Mápula-Larreta, M., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y A. Hernández-Livera. 2008. Germinación y vigor de semillas en *Pseudotsuga menziesii* de México. *Universidad Autónoma Indígena de México. Ra Ximhai* 4(1):119-134.
- Martínez-Carrasco, N. 1998. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas, México. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 69(2):119-134.
- Meraz-González, G. y R. Bonilla-Beas. 2001. Análisis y tratamientos pregerminativos en semillas *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus duranguensis* Mart. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6(1):15-20.
- Molina-Freaner F., P. Delgado, D. Piñero, N. Pérez-Nasser, and E. Alvarez-Buylla 2001 Do rare pines need different conservation strategies? evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany* 79:131-138.
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D. Daigle, B. Lange, K. Park, Y. S. Johnsen, K. H. and O. P. Rajora 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78:928-940.
- Perry, J. P. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland, Oregon. 231 p.
- Rajora, O. P. and A. Mosseler 2001. Changes and opportunities for conservation of forest genetics resources. *Euphytica* 118:19-212.
- Ramírez-Herrera, C., T. Beardmore and J. Loo. 2008. Overcoming dormancy of *Pinus pinceana* seeds. *Seed Science & Technology* 36:1-20.
- Romero M., A. y E. García M. (2002). Estabilidad y elasticidad de la composición florística de los piñonares de San Luis Potosí, México. *Agrociencia* 36:243-254.
- Rossello, J. A. and M. Mayol. 2002. Seed germination and reproductive features of *Lysimachia minoricensis* (Primulaceae), a wild-extinct plant. *Annals of Botany* 89:559-562.
- SAS Institute Inc. 1998. *SAS/STAT Guide for personal computers*. Versión 8.0. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.

- Sauer, D. B. and R. Burroughs. 1986. Disinfection of seed surfaces with sodium hypochlorite. *Phytopathology* 76(7):745-749.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Jueves 10 de diciembre de 2010. Estados Unidos Mexicanos. <http://www.dof.gob.mx>.
- Shea, K. L. and G. R. Furnier. 2002. Genetic variation and population structure in central and isolated populations of balsam fir, *Abies balsamea* (Pinacea). *American Journal of Botany* 89(5): 783-791.
- Sorensen, F. C. 1991. Stratification period and germination of Douglas-Fir seed from Oregon seed orchards: two case studies. USDA, Forest Service PNW-RN-499. 23 p.
- Thomson, A. J. and Y. A. El Kassaby. 1993. Interpretation of seed-germination parameters. *New Forest* 7:123-132.
- Washitani, I. and T. Saeki. 1986. Germination responses of *Pinus densiflora* seeds to temperature, light and interrupted imbibition. *Journal of Experimental Botany*, 37(182):1376-1387.
- Webber, J. E. and R. A. Painter. 1996. Douglas-fir Pollen Management Manual. 2nd ed. Research Branch, Ministry of Forestry. Victoria, B.C. 91 p.
- Westemeier, R. L., J. D. Brawn, S. A. Simpson, T. L. Esker, R. W. Jansen, J. W. Walk, E. L. Kershner, J. L. Bouzat and K. N. Paige. 1998. Tracking the long-term decline and recovery of an isolated population. *Science* 282:1695-1698.
- Woods, J. H. and J. C. Heaman. 1989. Effect of different inbreeding levels on filled seed production in Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research* 19:54-59.
- Young, J. A. and C. G. Young. 1992. *Seeds of Woody Plants of North America*. Dioscorides Press, Portland, Or. 407 p.

## CAPITULO V. DISCUSIÓN GENERAL

La diversidad de *Pinus pinceana* se ha estudiado a diversos niveles (Molina-Freaner *et al.* 2001; Ramírez-Herrera, 2007; De los Ríos *et al.*, 2008; Delgado *et al.*, 2008; Santillán-Hernández, *et al.*, 2010), a tal grado que en su rango de distribución se han distinguido dos grandes grupos de poblaciones, los de la Región Norte-Centro con las poblaciones ubicadas en Coahuila, Zacatecas y San Luis Potosí y los de la Región Sur que incluye las poblaciones de Querétaro e Hidalgo (Villareal-Quintanilla *et al.*, 2009). Esta división debe ser producto de un proceso de fragmentación ancestral entre las poblaciones sureñas respecto a sus poblaciones centrales y norteñas que están separadas por la Cuenca del Pánuco (Piñero *et al.*, 2008). Las poblaciones de la Región Sur han demostrado tener diferentes características morfológicas y fisiológicas (Córdoba *et al.*, 2011) como la respuesta de una mayor resistencia a la sequía (Ramírez-Herrera *et al.*, 2010) lo que deja entrever su diferenciación genética.

En el área de estudio se identificaron doce especies leñosas donde la especie más abundante fue *Rhus andrieuxii* identificada en otros bosques de piñoneros; el número de árboles de *P. pinceana* por hectárea registrado es menor al reportado por otros autores (Hernández, 1985; Molina-Freaner, 2001), este piñonero ocupa el tercer lugar en presencia (18%) con una baja densidad. La composición florística y la estructura de la vegetación en regiones secas, están determinadas en algunos casos por la temperatura y la precipitación que proporciona la cantidad de agua disponible para las especies vegetales (Granados-Sánchez y Sánchez-González, 2003). Los

patrones en la estructura de tamaño permiten hablar de un bosque maduro en la población de El Arenalito. Los adultos y plántulas de ambas especies de piñoneros mostraron en general un patrón agregado, aunque de manera común la estructura espacial de un bosque suele de manera inicial caracterizarse por un patrón agregado influida por diversos factores como la dispersión de la semilla y las condiciones óptimas de sitio para germinar (Camarero y Gutiérrez, 1999).

No se determinó una variación significativa entre poblaciones en indicadores reproductivos y germinación. Si se comparan los resultados con los obtenidos por Hernández (2006) el potencial de semilla de las poblaciones en el Norte-Centro es ligeramente mayor (de 45 a 60 semillas por cono), a los encontrados en este estudio para las poblaciones de Hidalgo; no obstante estos valores en comparación con otros piñoneros (Lemus, 1999; López, 2005) no son tan notoriamente inferiores. La producción de conos puede fluctuar entre un año, dada esta variabilidad en la producción, es recomendable extender el tiempo de monitoreo y relacionar esta variable con alguna característica ambiental. Pocos árboles parecen producir la mayor parte de conos por lo que es conveniente la importancia de identificar y proteger estos árboles como posible fuente de semillas que permita la futura regeneración en las áreas estudiadas. Los resultados presentados en este trabajo en cuanto a porcentaje de óvulos abortados son comparables con Hernández (2006). El indicador de endogamia promedio de las poblaciones de Hidalgo varió desde 0.30 hasta 0.89 y fue el tercer año de recolecta el que presentó los valores más altos principalmente en la población de El Arenalito. Como en otras especies, el indicador de endogamia



obtenido puede ser resultado de una posible autopolinización debido a que existe muy poca densidad del arbolado (Flores-López *et al.*, 2012), mientras que el ambiente seco en el cual *P. pinceana* ocurre puede influir en la dispersión del polen y el incremento en la probabilidad de cruce entre vecinos (Ramírez-Herrera, 2007). Por otra parte el patrón agregado que se encontró en este estudio puede contribuir al apareamiento entre vecinos influyendo en los niveles de homocigosis.

Aun cuando los valores de germinación no se consideran bajos, si el número de semillas llenas y las tasas de germinación obtenidas en invernadero se asocian a un escenario en campo, en donde factores como la depredación y competencia influyen, se podrían predecir valores aún más bajos que pudieran afectar el establecimiento de nuevos individuos. En este sentido, la población de El Arenalito requiere una mayor atención al presentar valores menos favorables que la población de San Cristóbal.

Preservar poblaciones marginales adaptadas a condiciones de sequía por su valor ante la expectativa de cambio climático, es importante para el resguardo de genotipos (Camarero *et al.*, 2013), sin embargo considerando sus bajos valores reproductivos y porcentajes de germinación media existe la posibilidad de un alto nivel de endogamia, por lo que al plantear un programa de restauración puede ser necesario incluir plántulas de poblaciones vecinas para incrementar la tasa de migración y diversidad genética entre ellos.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES GENERALES

*Pinus pinceana* en el estado de Hidalgo, forma un bosque maduro dominado principalmente por otra especie de piñonero, *Pinus cembroides*, y con vegetación de tipo xerófila. Esta especie se regenera de manera agregada en espacios pequeños.

La producción de conos fue variable en los tres años de recolecta en ambas poblaciones de *P. pinceana* del estado de Hidalgo. Existe un desbalance en la producción de conos entre los árboles, ya que pocos de estos producen la mayor parte de la cosecha.

A pesar de su distribución restringida *P. pinceana* exhibe una variación que depende altamente de árboles individuales, ya que muy poca de la variación fue atribuida a diferencias entre las dos poblaciones naturales.

Los porcentajes de germinación obtenidos en este estudio para *P. pinceana*, en relación a otras especies de piñoneros, son moderados al usar el mejor pretratamiento germinativo.

El almacenamiento de semillas por largo tiempo afecta el vigor de la semilla, lo cual es hasta cierto punto limitante si se piensa en algún método de conservación *ex situ*.

## CAPITULO VII. LITERATURA CITADA

- Camarero J., J. y E. Gutiérrez M. 1999. Estructura, patrón espacial y regeneración de una población de *Pinus uncinata* Ram. en su límite occidental de distribución (Castillo de Vinuesa, Soria la Rioja). *Zubía* 17:99-153.
- Camarero J., J., R. D. Manzanedo, R. Sánchez-Salguero and R. M. Navarro-Cerillo. 2013. Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests. *Annals of Forest Science* 70:769-780
- Córdoba R., D., J. J. Vargas H., J. López U. y A. Muñoz O. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45:493-506.
- De los Ríos C., E., R. de Hoogh y J. J. Nívar C. 2008. Ensayos de especies con pinos piñoneros en el Nordeste de México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2):97-104.
- Delgado, P., L. E. Eguiarte, F. Molina-Freaner, E. R. Alvarez-Buylla y D. Piñero. 2008. Phylogenetic, genetic and demographic evidence for setting conservation priorities for Mexican rare pines. *Biodiversity and Conservation* 17:121-137.
- Granados-Sánchez, D. y A. Sánchez-González. 2003. Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de un gradiente altitudinal. *TERRA Latinoamericana* 21(3):321-332.
- IUCN. 2014. IUCN Red List of Threatened Species (ver. 2014.2). Available at: <http://www.iucnredlist.org>.
- Farjon, A. 2003. The remaining diversity of conifers. In: Proc. 4<sup>th</sup> IS on conifer. Ed. R. R. Mill. *Acta Hort.* 615:75-89.
- Farjon, A. and B. T. Styles 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotrópica*. Monografía 75. New York Botanical Garden, N. Y. 291 p.
- Favela L., S., C. G. Velazco M. y G. J. Alanís F. 2009. *Pinus pinceana* (Pinaceae), nuevo registro para el estado de Nuevo León, México. *Journal of the Botanical Research Institute of Texas* 3:771-774.
- Flores-López, C., G. Greda L., J. López-Upton y E. López R. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa* 31:49-58.

- Hernández S., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semilla en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis Profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. 38 p.
- Hernández R., A. 1985. Análisis estructural de los piñonares del altiplano Potosino-Zacatecano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Méx. 155 p.
- Lemus S., J. L. 1999. Análisis de conos y Semillas de *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 130 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. Saltillo, Coahuila. 42 p
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda edición. Editorial Botas. México. 361 p.
- Molina-Freaner, F, P. Delgado, D. Piñero, N. Pérez-Nasser and E. Alvarez-Buylla. 2001. Do rare pines need different conservation strategies? Evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany* 79:131-138.
- Mosseler, A. J., E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S. Park, K. H. Johnsen and O. P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78:928-940.
- Passini, M-F. 1985. Algunas consideraciones acerca de los pinos piñoneros en México. In: J. E. Flores (ed.) 1er Nacional sobre Pinos Piñonero, 10-12 junio de 1985. Reporte Científico No. especial 2. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables, U.A.N.L., Linares, México. pp: 130-136.
- Perry, J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, Oregon. 231 p.
- Piñero, D. *et al.* 2008 La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas, en *Capital natural de México*, Vol. I. *Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México, pp:437-494.
- Ramírez-Herrera, C. 2007. Quantitative trait variation and allozyme diversity of *Pinus pinceana*. Ph. D. Thesis in Forestry. University of New Brunswick, Canada. 213 p.

- Ramírez-Herrera, C., K. E. Percy, J. A. Loo, L. D. Yeates and J. J. Vargas-Hernández. 2010. Genetic variation in needle epicuticular wax characteristics in *Pinus pinceana* seedlings. *Silvae Genetica* 60:210-215.
- Saccheri, I., M. Kuussaari, M. Kankare, P. Vikman, W. Fortelius and I. Hanski 1998. Inbreeding and extinction in a butterfly metapopulation. *Nature* 39(2):491-494.
- Santillán-Hernández, M., E. H. Cornejo-Oviedo, J. Villanueva-Díaz, J. Cerano-Paredes, S. Valencia-Manzo y M. A. Capó-Arteaga. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16(1):17-29.
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-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. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2010. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Diciembre 78 pp.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., O. Mares-Arreola, E. Cornejo-Oviedo, M. A. Capó-Arteaga. 2009. Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta Botánica Mexicana* 89:87-124.