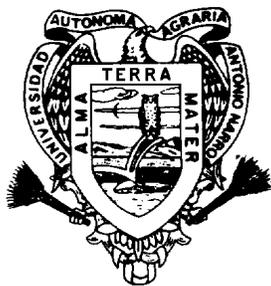


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FORESTAL



Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de Poblaciones  
Naturales de *Pinus coulteri* D. Don en Baja California.

Por:

**VERÓNICA DE JESÚS GARCÍA MORENO**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FORESTAL

Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de Poblaciones Naturales de  
*Pinus coulteri* D. Don en Baja California.

Por:

**VERÓNICA DE JESÚS GARCÍA MORENO**

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada

M.C. Celestino Flores López

Asesor Principal

M. C. Jorge David Flores Flores

Coasesor

M.C. José Aniseto Díaz Balderas

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía  
División de Agronomía

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

MAYO DE 2012

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02-030207-2192, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por creer en su gracia y protegerme en mi camino.

A la memoria de don Antonio Narro<sup>†</sup> por brindar las tierras que actualmente sostienen los monumentos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A mi *Alma Terra Mater* por darme la oportunidad de realizarme como profesionista.

A todos los grandes maestros del departamento de Forestal; Dr. Miguel Ángel Capo Arteaga, Dr. Alejandro Zarate Lupercio, M.C. José Armando Nájera Castro, M.C. Jorge David Flores Flores, M.C. Andrés Nájera Díaz, M.C. Celestino Flores López, Dr. Eladio Cornejo Oviedo, M.C. Salvador Valencia Manzo, M.C. José Antonio Ramírez Díaz, M.C. Sergio Braham Sabag, Dra. Gabriela Ramírez Fuentes, Dr. Jorge Méndez González y al M.C. José Aniceto Díaz Balderas.

En especial al M.C. Celestino Flores López, por su tiempo y dedicación aportados a este trabajo y sobre todo a su paciencia.

Al M.C. Jorge David Flores Flores y al M.C. José Aniceto Díaz Balderas por su participación en la revisión final de esta tesis.

A mis abuelos Carmen Moreno, Caralampia Alfonzo Ruiz, Cinforosa Moreno y a mis tíos y primos por sus consejos.

A mis amigos Angelina Cruz Hernández, Aristeo Jacobo Pérez, Flor de María Hernández Ruiz y a todos mis compañeros que omití con quienes compartí momentos inolvidables.

A Rodolfo de los Santos Vazquez y Angelina Cruz Hernández, por el apoyo brindado en la obtención de datos de los conos y semillas en *Pinus coulteri*.

## DEDICATORIA

*Con mucho cariño y amor a mis padres:*

Rosemberg García Moreno

A ti padre que me diste todo tu apoyo y creíste en mí, te debo el ejemplo de persona capaz de afrontar cualquier obstáculo y a tu fortaleza en los momentos más difíciles de nuestras vidas. Gracias por darme la oportunidad de realizarme como profesional, que es la mejor herencia que pudiste regalarme.

*y*

Flor de María Moreno Alfonzo

A ti madre que me diste la vida eres la mejor madre del mundo, la verdad no existen palabras para describir el amor que me diste y tu apoyo incondicional.

*A mis hermanos:*

María del Rosario García Moreno, a una gran madre, esposa y hermana.

José Alberto García Moreno, no tengo mucho que decir de ti lo único que sé es que diste un rayo de luz a mis padres con tu llegada, por lo tanto ten por seguro que contarás conmigo siempre.

*Y no menos importante*

Rodolfo de los Santos Vázquez, por su apoyo, alegría, por compartir sus sueños y a la fortaleza que me has transmitido durante estos dos años y medio. Gracias por formar parte de mí vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1Objetivos .....	4
1.1.1 Objetivo general .....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1 Descripción morfológica de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	5
2.2 Análisis de la producción de semillas e indicadores reproductivos .....	6
2.2.1 Análisis de conos y semillas .....	6
2.2.2 Indicadores reproductivos .....	7
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
3.1 Descripción de las poblaciones de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	11
3.2 Muestreo y colecta de conos.....	13
3.3 Análisis de conos y semillas e indicadores reproductivos .....	13
3.4 Análisis estadísticos .....	17
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1 Producción de semillas de las dos localidades bajo estudio .....	19
4.1.1 Potencial de semillas.....	19
4.1.2 Eficiencia de semillas .....	21
4.1.3 Pérdida de semillas .....	22

4.1.4 Indicadores reproductivos .....	24
5 CONCLUSIONES.....	29
6 RECOMENDACIONES .....	30
7 LITERATURA CITADA.....	31
APÉNDICE .....	35

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Indicadores potenciales de la situación reproductiva y genética de los árboles en base al análisis de conos y rasgos de las semillas (Mosseler <i>et al.</i> , 2000). .....	8
Cuadro 2. Localización de las cinco poblaciones y del material colectado de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, Baja California. ....	11
Cuadro 3. Comparación del potencial y eficiencia de semillas en coníferas de diferentes poblaciones y años de colecta.....	23
Cuadro 4. Comparación de medias en dos poblaciones de <i>Pinus coulteri</i> D. Don en Baja California, evaluadas durante la colecta 2010. ....	25
Cuadro 5. Comparación de porcentajes de óvulos abortados, semillas vanas, semillas llenas e indicador de endogamia en diferentes estudios.....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.Ubicación geográfica de las cinco poblaciones naturales de <i>Pinus coulteri</i> D. Don en Baja California, con las dos poblaciones bajo estudio.....	12
Figura 2.Características morfológicas del cono de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.....	16
Figura 3.Producción y pérdida de semillas en dos poblaciones naturales de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, colecta 2010.....	19

## RESUMEN

El presente estudio se realizó con el objetivo de comparar la producción de semillas entre dos poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, la de San Faustino y Santa Catarina, ambas de Baja California, se estimó el potencial y eficiencia de semillas, así como la pérdida de semillas, además los indicadores reproductivos de conos y semillas.

El muestreo utilizado fue selectivo, debido a que fueron seleccionados los árboles que presentaron conos. La colecta se realizó en el 2010, en la población de Santa Catarina se colectaron conos de 24 árboles y en San Faustino fueron 17 árboles. Las variables evaluadas fueron seis para características reproductivas, y nueve para indicadores reproductivos. Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables utilizando un modelo de clasificación anidada con efectos mixtos.

Los valores encontrados en este estudio en cuanto al potencial y eficiencia de semillas, estimados para las poblaciones de San Faustino y Santa Catarina de *Pinus coulteri* son altos en comparación con otras especies del género *Pinus*, a pesar de la condición restringida y endémica que presenta esta especie. La población que sobresale mayormente por tener menor proporción de semillas vanas (0.01) 1% e indicador de endogamia de (0.02) es Santa Catarina, comparada con San Faustino, aunque estos valores son muy bajos para ambas poblaciones y comparadas con otras especies de pinos.

Palabras claves: *Pinus coulteri*, potencial de semillas, eficiencia de semillas, indicadores reproductivos.

## ABSTRACT

This study was performed in order to compare seed production between two populations of *Pinus coulteri* D. Don, San Faustino and Santa Catarina, both of Baja California, was estimated the potential and efficiency of seeds and seed loss, as well as reproductive indicators of cones and seeds.

The sampling used was selective, because the trees were selected who had cones. The collection was made in 2010, in the population of Santa Catarina were collected cones of 24 trees and in San Faustino were 17 trees. Variables evaluated to reproductive traits were six, and nine to reproductive indicators. An analysis of variance was performed for each of the variables using a nested model with mixed effects.

The values found in this study to the potential and seed efficiency, estimated for the populations of San Faustino and Santa Catarina of *Pinus coulteri* are high compared with other species of the genus *Pinus*, in spite of the endemic and restricted condition that this species has. Santa Catarina was the population who had a lower proportion of empty seeds (0.01) 1% and an indicator of inbreeding (0.02), compared with San Faustino population, although these values are very low for both populations and compared with other species of pine.

Keywords: *Pinus coulteri*, seed potential, seed efficiency, reproductive indicators

## 1 INTRODUCCIÓN

La península de Baja California es una de las partes únicas de México, ya que en ella se encuentran climas de tipo Mediterráneo, estos tipos de climas los han definidos varios autores en donde se describen las diferentes plantas vasculares de acuerdo a su altitud de piso de vegetación, utilizando análisis de los pisos bioclimáticos; además las especies vasculares encontradas en cada piso son singulares (Peinado *et al.*, 1994)

*Pinus coulteri* D. Don es una especie no endémica de México, en estatus en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010). Especie de distribución muy limitada, se distribuye principalmente en pequeños bosques dispersos a lo largo de las montañas costeras del centro y sur de California (Munns, 1921). Extremadamente rara en el norte de Baja California, en donde se localizan cinco poblaciones: Sierra Blanca, Sierra Juárez, Laguna de Hanson, Rancho San Faustino y en la Sierra de San Pedro Mártir, todas del Estado de Baja California (Minnich, 1986; Perry, 1991).

La mayoría de las poblaciones crecen en chaparral mixto, a menudo con *Quercus chrysolepis* Liebm., sobre grandes rocas en áreas másicas en los interiores de las Sierras (Minnich, 1987). Nunca se producen en masas puras (Hall y Maxwell, 1911). En zonas de traslape se relaciona con *Pinus jeffreyi* Grey. & Balf y *Pinus sabiniana* Dougl. (Delgadillo, 2004).

La especie *Pinus coulteri* tiene considerable parecido con *Pinus jeffreyi* Grey. & Balf. y *Pinus maximartinezii* Rzed., pero es inferior en tamaño (Donahue, 1995; Hall y Maxwell, 1911). Las diferencias morfológicas son principalmente los conos y semillas de esta especie que son únicos, el desarrollo masivo de las escamas de los conos y la prolongación de las apófisis y umbo lo hacen inmediatamente reconocible (Perry, 1991).

*Pinus coulteri* carece de importancia comercial, pero es de gran valor para la cobertura del suelo en lugares donde el crecimiento de los árboles es casi ausente. No es exigente en cuanto a suelo, tiene la capacidad de equilibrarse y puede crecer en acantilados o en suelos profundos (Munns, 1921).

Esta especie de pino forma parte del grupo resistente al fuego al que sobreviven los árboles adultos; la mayoría son altos, de corteza gruesa, acículas largas y gruesas ramas. Conos pesados y con escamas que presentan espinas; semillas grandes con alas largas y son lentas para iniciar la producción de semillas. La parcialidad serotina aparentemente le da una ventaja reproductiva después de que el fuego pasa sobre otras especies del grupo como; *Pinus jeffreyi* Grey. & Balf., *Pinus lambertiana* Dougl., *Pinus palustri* Mill., *Pinus ponderosa* Laws., *Pinus sabiniana* Dougl., *Pinus torreyana* Parry (McCune, 1988).

El fuego es un factor importante en la reproducción de *Pinus coulteri*, se ha probado que después de un incendio, una serie de plántulas crecen en el terreno quemado, ya sea por semillas liberadas de los conos cerrados o de semillas latentes en el suelo. Sin que las semillas presenten problemas en el desarrollo (Borchert, 1985; Munns, 1921). Los árboles llevan conos después de ocho años y producen semillas de manera uniforme alrededor de uno a cinco años.

Las cantidades de semillas que se almacenan viables en el suelo en los conos se reducen en todos los tipos de comunidades por la depredación de los animales y variando de la apertura del cono espontáneamente. Los conos presentan mayor susceptibilidad a los insectos en las primeras etapas (<16 meses), a pesar de estas pérdidas las semillas viables que se encuentran retenidas en los conos son 50 veces mayor que las cantidades almacenadas en los rodales (Borchert, 1985).

A pesar de que la especie presenta ventaja en cuanto a la reproducción en lugares extremos, al fuego, al ataque de insectos y a la extinción debido a que las

especies endémicas están mayormente propensas. Es importante señalar las implicaciones que tienen las poblaciones pequeñas como lo es *Pinus coulteri*, ya que estas presentan una mayor tendencia a la extinción y a niveles altos de endogamia, por lo tanto menor capacidad reproductiva, esto ocurre por la alta consanguinidad entre los individuos (Frankham, 1988). Por otra parte la fragmentación del hábitat es probable que aumente la propensión a la extinción por endogamia.

El método más empleado para analizar la producción de semillas y la pérdida de semillas de las especies del género *Pinus* es el análisis de conos y semillas, las características que se evalúan mediante este método son número de semillas llenas, semillas vanas, óvulos abortados y óvulos rudimentarios, y con ello se obtiene el potencial de semillas y la eficiencia de semillas. El potencial de semillas se refiere a dos veces el número de escamas fértiles de los conos, mientras que la eficiencia de semillas es la cantidad de semillas viables que produce el cono (Bramlett *et al.*, 1977).

Derivado del análisis de conos y semillas se obtienen los indicadores reproductivos que son: longitud del cono, peso seco del cono, escamas fértiles, proporción de óvulos abortados, proporción de semillas vanas, proporción de semillas llenas, tamaño de semillas, la eficiencia reproductiva y el indicador de endogamia; mismos que evalúan y supervisan los aspectos reproductivos y genéticos de las coníferas (Flores *et al.*, 2005; Mosseler *et al.*, 2000).

En el presente trabajo se realizó el análisis de conos y semillas con las características morfológicas de conos y semillas de *Pinus coulteri*, empleando la metodología propuesta por Bramlett *et al.* (1977), para obtener el potencial y eficiencia de semillas en rodales naturales, así como analizar las causas de las posibles pérdidas de semillas llenas; y con la determinación de indicadores reproductivos se analizó si la especie presentó problemas reproductivos.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Comparar la producción e indicadores reproductivos de conos y semillas en dos poblaciones de *Pinus coulteri* en Baja California.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar la producción de semillas en las poblaciones de *Pinus coulteri*, la de San Faustino y la otra en Santa Catarina ambas de Baja California, en base al potencial y eficiencia de semillas, así como la pérdida de semillas.
- Analizar los indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus coulteri* como la longitud, ancho y peso seco del cono, el número de las escamas fértiles, la proporción de óvulos abortados, la proporción de semillas vanas, la proporción de semillas llenas, tamaño de semillas, el indicador de endogamia y la eficiencia reproductiva para las poblaciones de San Faustino y Santa Catarina, Baja California.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción morfológica de *Pinus coulteri* D. Don

*Pinus coulteri* es un árbol de tamaño medio de 10-25 m de altura (Farjon y Styles, 1997), de tronco recto o curvo en la base. La corteza de 3-5 cm de grosor, color marrón oscuro con escamas longitudinales (Perry, 1991). Sus ramas ascendentes, extendidas horizontalmente a lo largo de gran parte del tronco, formando una copa amplia e irregular (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991).

Las hojas se dan en fascículos de 3 con una longitud 15-30 cm, su color es verde grisácea, muy gruesas de 2 mm con márgenes finamente aserrados, muy densas en los extremos de las ramas, pueden persistir de 3-4 años (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991).

Los conos crecen solitarios muy persistentes y resinosos, de forma oblonga 20-35 cm de largo y el ancho de 13-15 cm. El color de los conos es amarillo pálido, el pedúnculo es grueso y corto de 1-2 cm. cuando están verdes pueden llegar a pesar hasta 2 kilogramos. Las escamas de los conos son duras y rígidas; las apófisis de hasta 3 cm de ancho muy protuberantes, son curvadas hacia el vértice del cono, la quilla horizontal larga, dura y muy rígida se asemeja a las garras de un águila (Perry, 1991).

Las semillas son ovoides, ligeramente aplanadas y lisas de 1-1.6 cm de largo y 0.8-1 cm de ancho. Son de color marrón oscuro, brillantes tornando a negro, tiene alas articuladas de color marrón, el largo es de 2-2.5 cm y 1.2-1.5 cm de ancho con dos apéndices que envuelven los márgenes de las semillas. El número promedio de semillas por kilogramo es de 3,000 (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991).

La madera es ligera, suave, frágil, y de grano grueso, de color rojo claro, con albura gruesa casi blanco, contiene visibles bandas anchas muy resinosas de células pequeñas, unos pocos pasajes de resina grandes y numerosos, prominentes radios medulares (Sargnet, 1897).

## 2.2 Análisis de la producción de semillas e indicadores reproductivos

### 2.2.1 Análisis de conos y semillas

El análisis de conos y semillas es una técnica empleada para determinar el potencial y eficiencia en la producción de semillas del género *Pinus* (Bramlett *et al.*, 1977). El análisis consiste en extraer sistemáticamente del cono todas las escamas, al concluir se realiza una evaluación de semillas y óvulos, mismos que son clasificados por tipo: óvulos abortados de primer año; óvulos abortados de segundo año; semillas llenas y vanas; número de escamas fértiles e infértiles. El número de escamas clasificadas como fértiles se utilizan para determinar el potencial biológico del cono para producir semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

El potencial y eficiencia de semillas son dos variables empleadas para evaluar la producción de semillas del género *Pinus*. Sin embargo esta técnica ha sido empleada en otras especies, tal es el caso de *Picea mexicana* Martínez (Flores *et al.*, 2005); *Picea martinezii* T. F. Patterson (López, 2007); *Cedrela odorata* L. (Rodríguez *et al.*, 2001). El potencial de semillas se define como la capacidad del cono para producir escamas fértiles, y se obtiene contando el total de escamas fértiles por cono y el resultado se multiplica por dos. Mientras que la eficiencia de semillas es la cantidad de semillas viables que produce un cono, y se determina contando el número de semillas llenas dividido entre el valor obtenido del potencial de semillas, y finalmente se multiplica por 100 (Bramlett *et al.*, 1977).

La técnica para determinar la eficiencia de semillas se utilizó por primera vez en *Pinus resinosa* Ait. por Lyons (1956), quien desarrolló un

procedimiento conocido como análisis de conos, y fue empleado para evaluar la eficiencia de producción de semillas en huertos semilleros. Actualmente el análisis de conos proporciona información necesaria para evaluar la producción de semillas, además determina en qué fase del desarrollo de las semillas presentan pérdidas, y las causas pueden ser identificadas y cuantificadas (Bramlett *et al.*, 1977).

### 2.2.2 Indicadores reproductivos

El conocimiento de los indicadores reproductivos en las poblaciones permite evaluar el estado genético y monitorear la viabilidad de las poblaciones pequeñas y aisladas (Mosseler y Rajora, 1998). El efecto de los árboles en pequeños parches aislados se presenta en el aumento de la auto-fertilización, que da como resultado la reducción del número de semillas llenas por conos y el vigor de las plántulas. Por lo tanto, el éxito de la polinización y la fertilización en los árboles es muy dependiente de la densidad (Mosseler y Rajora, 1998), debido a que en poblaciones pequeñas la baja densidad de árboles y la fragmentación del mismo obstaculiza el flujo genético entre las poblaciones (Mosseler *et al.*, 2000). Los indicadores de la viabilidad de las poblaciones se derivan del análisis de conos y semillas (Bramlett *et al.*, 1997), se resumen en el Cuadro 1 propuesto por Mosseler *et al.* (2000).

Los indicadores reproductivos más utilizados son la eficiencia reproductiva y el índice de endogamia. La eficiencia reproductiva se obtiene de la relación del peso de las semillas llenas del cono respecto al peso seco del cono, y el indicador de endogamia se determina de la proporción de semillas vanas con respecto al total de semillas desarrolladas (Cuadro 1) (Mosseler *et al.*, 2000). Se han desarrollado varios estudios en coníferas y árboles tropicales, en los que se describen las condiciones reproductivas de cada especie, así como dentro de la población donde habitan. A continuación se mencionan algunos estudios al igual que los resultados obtenidos.

En un estudio realizado de tres poblaciones de *Picea mexicana* Martínez se encontró una amplia variación entre poblaciones (>23%) en indicadores reproductivos. La proporción de óvulos fue de (36-47%), un alto índice de endogamia (0.73-0.84), y baja proporción de semillas llenas (9%-18%), quizá se deba a la escasa disponibilidad de polen y elevada consanguinidad que aumenta el número de semillas vanas, ya que no se centraron daños causados por insectos (Flores *et al.*, 2005).

Cuadro1. Indicadores potenciales de la situación reproductiva y genética de los árboles en base al análisis de conos y rasgos de las semillas (Mosseler *et al.*, 2000).

Criterios de viabilidad de la población	Indicadores
Estado reproductivo	Peso del cono
	Número de semillas llenas por cono
	La eficiencia de semillas (total de semillas llenas/ número de óvulos fértiles)
	Proporción de semillas llenas, vanas y abortadas por cono
	La eficiencia reproductiva (peso de la semillas llenas cultivada con respecto al peso seco del cono)
	Semillas de calidad (peso de la semilla, germinación y la velocidad de germinación)
	Vigor de plántulas (el porcentaje de supervivencia de las plántulas y el crecimiento)
	El indicador de endogamia (proporción de semillas vanas con respecto al total de desarrolladas)
	Estimaciones de endogamia basadas en los genes marcadores morfológicos (por ejemplo, frecuencias, albinismo)
	Variaciones genéticas
Estado genético	La presencia de alelos raros
	El tamaño mínimo de población viable
	Frecuencias de los genes y la deriva genética
El tamaño mínimo de población viable	Tamaño de la población (número de individuos maduros)
	Densidad de población
	Distribución de la población a nivel de paisaje (fragmentación)

En otro estudio realizado por López (2007) en *Picea martinezii* T.F. Patterson, los indicadores reproductivos evaluados fueron el largo del cono, el peso seco del cono, las escamas fértiles, así como la proporción de óvulos abortados, óvulos rudimentarios, semillas vanas y semillas llenas, y el indicador de endogamia. A nivel general se presentó un alto potencial de semillas (266 por cono), y una baja eficiencia de semillas promedio de las cuatro poblaciones (7%). Los indicadores reproductivos de conos y semillas muestran que existe una gran pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas, lo que representa pérdidas por endogamia de alrededor 75%, ya que las poblaciones son muy pequeñas y por lo tanto es probable que no existe una adecuada polinización cruzada.

Morales-Velázquez *et al.* (2010), al estudiar los conos de *Pinus leiophylla* Schltdl. *et* Cham. encontraron que estos tienen un potencial de 61 semillas por cono, 72.9% de óvulos abortivos y 27.1% de semillas desarrolladas, 7.3% de semillas llenas, 89.2% de semillas vanas y 3.6% de semillas dañadas por insectos. El volumen del cono estuvo asociado positivamente con el potencial de semillas, pero negativamente con el porcentaje de semillas llenas; significa que las selecciones de conos de mayor tamaño no producen la mayor cosecha de semillas, debido a la baja densidad de población y escasez de polen.

En *Pinus pinceana* Gordon el potencial promedio obtenido de semillas fue de 50 semillas por cono, con una eficiencia de 35 %. Las pérdidas de semillas (65 %) se deben principalmente a óvulos abortados, semillas vanas y solamente en la población Cañón de las Bocas se presentó daños por insectos. La población San José Carbonerillas presentó el mayor índice de endogamia (0.74) (Hernández, 2006). Las causas del aborto de los óvulos se le atribuyen principalmente a la falta de polinización, así como a la baja viabilidad de éste, así mismo otro tipo de daño que frecuentemente provoca el aborto es el daño por plagas o enfermedades (Bramlett *et al.*, 1977; Prieto y Martínez, 1993).

En *Pinus johannis* M.-F. Robertse determinó la producción de semillas de la colecta 2008 para las poblaciones El Coahuilón, Concepción del Oro, Laguna de Sánchez y La Siberia. También se comparó la producción de semillas con las colectas 1998 y 2003 para el Coahuilón y Concepción del Oro, así como los indicadores reproductivos de conos y semillas para ambas poblaciones en tres fechas de colecta. Los valores de producción de semillas llenas son bajos tanto para la población Concepción del Oro como para El Coahuilón durante los tres años de colecta, esto como resultado de pérdida de semillas. Los indicadores reproductivos de conos y semillas muestran que la población Concepción del Oro durante los tres años de colecta sobresale en mayor proporción de semillas llenas y como resultado un indicador de endogamia menor en comparación a la población El Coahuilón (Villa,2010).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción de las poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don

Las áreas bajo estudio se encuentran ubicadas en el estado de Baja California Norte, México, en donde se localizan cinco poblaciones naturales de *Pinus coulteri*; Sierra Blanca, Parque Nacional Sierra San Pedro Martír, Santa Catarina, Laguna Hansen y Rancho San Faustino (Minnich, 1986; Perry, 1991). En el presente estudio únicamente se trabajó con las poblaciones de Rancho San Faustino y Santa Catarina (Cuadro 2).

Cuadro2. Localización de las cinco poblaciones y del material colectado de *Pinus coulteri* D. Don, Baja California.

Población <sup>†</sup>	Propiedad	Municipio	Coordenadas Geográficas	Altitud <sup>§</sup> (msnm)
San Faustino	Privada	Tecate	32°12'1.68" 116°10'37.05"	1280
Sierra Blanca	Federal	Ensenada	32°03'8.07" 116°29'40.41"	1200
Laguna Hansen	Federal	Ensenada	32°03'36.20" 115°56'29.04"	1200-1800
SSPM <sup>¶</sup>	Federal	Ensenada	31°08'9.08" 115°30'0.89"	1900-2150
Santa Catarina	Federal	Ensenada	31°41'59.25" 115°45'48.01"	1070

<sup>†</sup>Poblaciones ordenadas de latitud norte-sur.

<sup>¶</sup> SSPM: Sierra San Pedro Martír.

<sup>§</sup>Fuente: (Minnich, 1986), las coordenadas geográficas fueron obtenidas en campo, utilizando un receptor GPS Garmin.

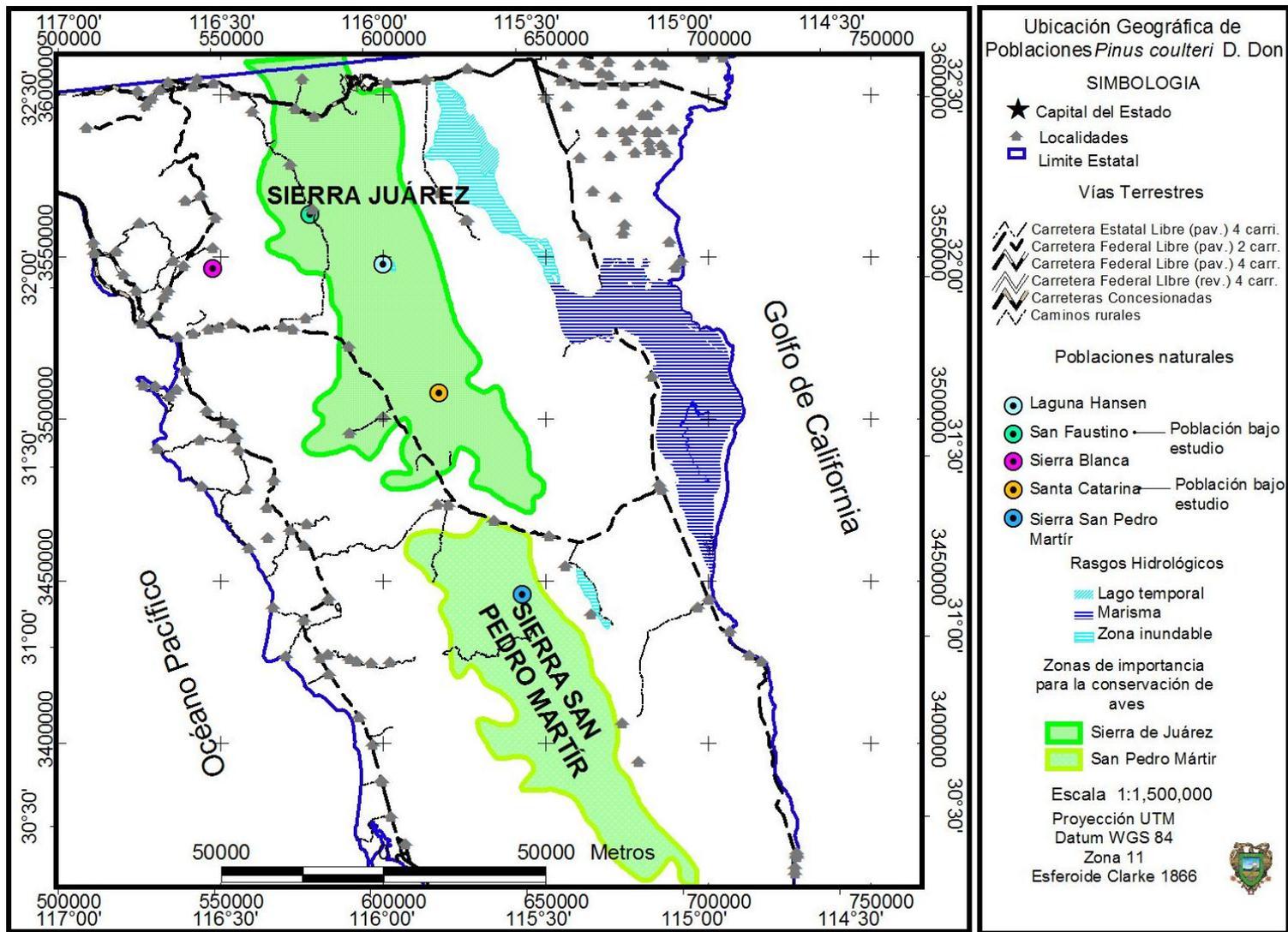


Figura1. Ubicación geográfica de las cinco poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don en Baja California, con las dos poblaciones bajo estudio.

### 3.2 Muestreo y colecta de conos

El muestreo utilizado para la colecta de conos fue selectivo debido a que únicamente fueron seleccionados los árboles que presentaron conos.

La fecha de colecta se realizó en el 2010, el número de árboles colectados fue diferente en cada población, esto se debió a la poca disponibilidad de conos que presentan los árboles de *Pinus coulteri* (Perry, 1991), por el cual vario de uno hasta 11 conos por árbol. En la población de Santa Catarina se colectaron conos de 24 árboles, en San Faustino únicamente se colectaron de 17 árboles.

La colecta de los conos se realizó manualmente con la ayuda de ganchos y garrochas para cortar conos. Los conos colectados se colocaron en costales, en donde se registraron con marcadores permanentes la fecha de colecta, número de árbol ( $A_1, \dots, A_n$ ) y lugar de colecta, además en cada árbol se incluyó una muestra vegetativa de rama, este procedimiento se empleó para ambas poblaciones.

Después de colectar las muestras estas fueron trasladadas a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para realizar posteriores análisis.

### 3.3 Análisis de conos y semillas e indicadores reproductivos

En el laboratorio del Departamento de Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, los conos de cada árbol se clasificaron por su tamaño de menor a mayor, y cada uno de los conos se colocaron en bolsas de papel estraza e identificados con un marcador permanente con la siguiente información: nombre de la especie; nombre de población; número de árbol ( $A_1, \dots, A_n$ ) y número de cono ( $B_1, \dots, B_n$ ). Las muestras vegetales de ramas fueron atadas con cáñamo para su conservación y colocadas dentro de la bolsa del cono número uno de cada árbol registrado.

Posteriormente se inició con el registro de datos de variables morfológicas del cono; longitud de cono (LC), ancho de cono (AC) y peso verde del cono (PVC), cuando los conos aún permanecían cerrados (Figura 2). Para el largo del cono, se utilizó una regla graduada de 30 cm colocada a la mesa de laboratorio para facilitar la lectura, la cual fue desde la base hasta la parte terminal del cono. El ancho del cono se midió desde la parte más amplia, para ello se construyó un vernier con dos reglas graduadas de 30 cm para medir lo más exacto posible debido al gran tamaño de los conos; tanto el ancho como el largo de cono se incluyeron las apófisis prolongadas de las escamas en los extremos. El peso verde del cono se determinó con la balanza electrónica.

El procedimiento para la extracción de semillas consistió en calentar agua a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , en la cual se sumergieron los conos durante cinco minutos, posteriormente se sacaron del recipiente con agua caliente para meterlos a la estufa de secado a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Al día siguiente se sacaron los conos de la estufa y se continuó con la extracción de semillas manualmente con el apoyo de desarmadores y de pinzas.

Las semillas obtenidas de cada cono se colocaron en bolsas de plástico transparente e identificadas por nombre de la especie, nombre de la población; número de árbol ( $A_1, \dots, A_n$ ) y número de cono ( $B_1, \dots, B_n$ ), para conservarlas en refrigeración a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ .

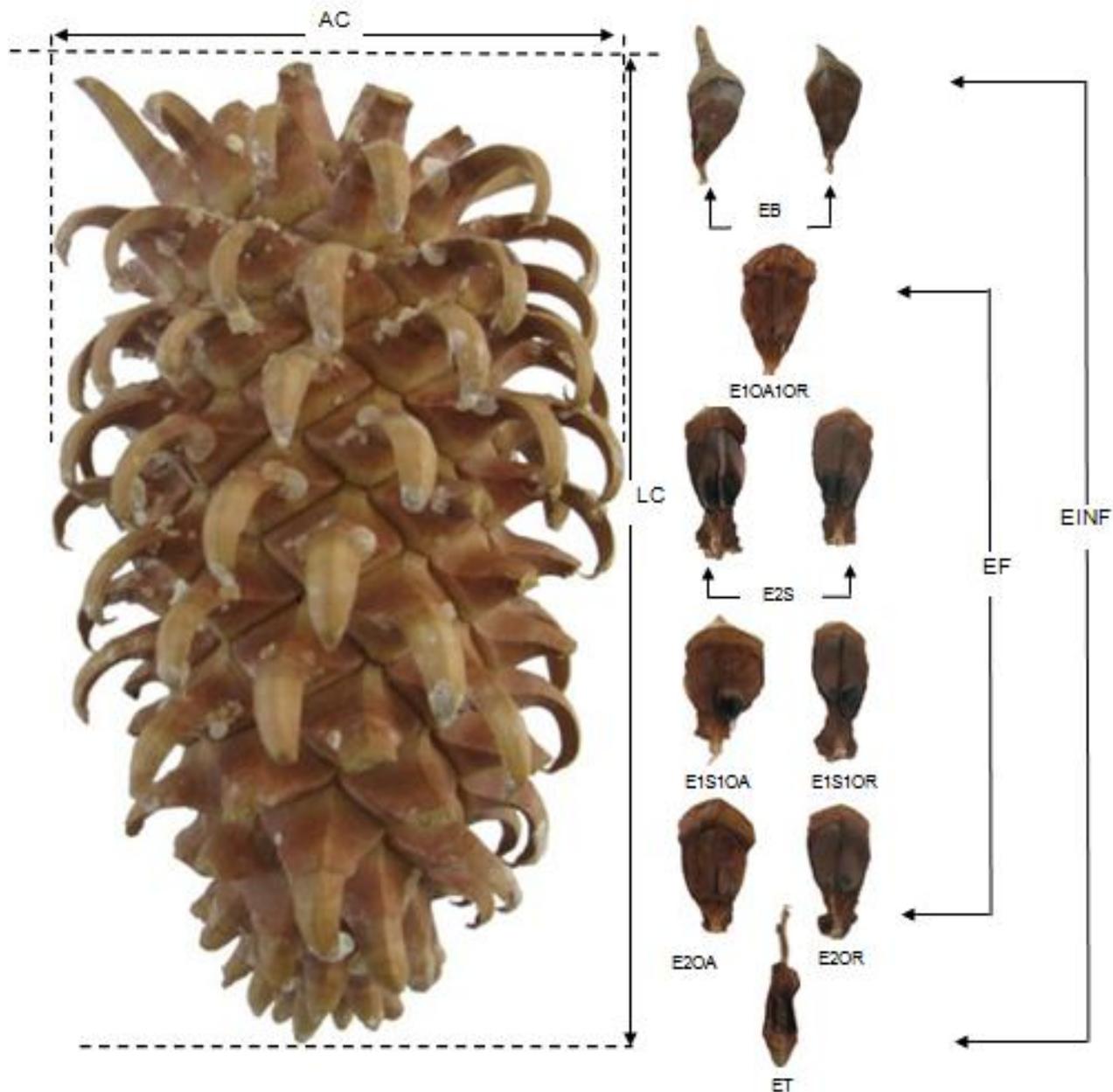
La eficiencia de semillas se determinó separando las semillas llenas de las vanas, para lo cual se utilizó un separador de semillas por aire. En el que se sometieron las semillas de cada uno de los conos de sus respectivos árboles. Después de separarlas se contabilizaron para obtener el número de semillas vanas y el número de semillas llenas por cono, concluyendo la separación de semillas, nuevamente se devolvieron a las bolsas de plástico.

La separación de las escamas del cono fue de forma manual con el uso de desarmadores, una lámpara de escritorio, y lápices de cera. De forma sistemática se inició con la identificación de escamas basales, seguidas por las intermedias y finalmente las escamas terminales (Bramlett *et al.*, 1977). Las escamas no fueron extraídas totalmente debido a que las escamas son persistentes. Generalmente las escamas fértiles se encuentran en la mitad o dos terceras partes del cono y tienen la base más amplia que las infértiles, mismas se localizan en la base y ápice del cono y no presentan óvulos funcionales (Flores *et al.*, 2005).

Con los datos obtenidos de la separación de escamas se realizó una evaluación de óvulos abortados, óvulos rudimentarios, número de semillas llenas, número de semillas vanas, escamas fértiles e infértiles (Figura 2), empleando la metodología de Bramlett *et al.*(1977).Una vez que se concluyó con la evaluación los conos,estos fueron devueltos a sus respectivas bolsas de papel.

Después de la obtención de datos morfológicos de los conos y análisis de semillas, los conos se trasladaron al laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en donde se colocaron dentro de la estufa de secado a una temperatura de  $104^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 24 horas, posteriormente se sacaron de la estufa e inmediatamente se prosiguió a pesar el cono seco usando una balanza electrónica.

Finalmente se concluyó con la obtención del peso de semillas, en el que únicamente se determinó el peso total de semillas llenas por conos, utilizando una balanza electrónica con precisión de 0.1 g.



LC = Longitud del cono (mm); AC = Ancho del cono (mm); EF = Escamas fértiles; EINF = Escamas infértiles; EB = Escamas basales; ET = Escamas terminales; E20A= Escamas con dos óvulos abortados; E2S = Escamas con dos semillas; E1S10A = Escamas con una semilla y un óvulo abortado; E1S10R = Escamas con una semilla y un óvulo rudimentario; E10A10R= Escama con un óvulo abortado y un óvulo rudimentario; E20R= Escamas con dos óvulos rudimentarios.

Figura2. Características morfológicas del cono de *Pinus coulteri* D. Don, evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.

### 3.4 Análisis estadísticos

Los datos de las variables evaluadas para el análisis de conos y semillas fueron capturados en Excel, utilizando un formato de análisis de conos y semillas. Los datos capturados se exportaron al paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System, versión 8), a través de éste se obtuvieron las medias de óvulos abortados (OA), óvulos rudimentarios (OR), potencial de semilla (PS), eficiencia de semillas (ES), semillas llenas (SLL) y semillas vanas (SV), utilizando el procedimiento Means. Así como también para las nueve variables usadas como indicadores reproductivos.

Para el cálculo de las variables utilizadas para este trabajo se aplicaron las siguientes fórmulas (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000):

Potencial de semilla (PS)= Escamas fértiles x 2.

Eficiencia de semilla (ES)= (Total de semillas llenas / PS) x 100.

Número de escamas fértiles (EF)= PS/2.

Semillas desarrolladas (SD)= Semillas vanas (SV) + Semillas llenas (SLL)+ Semillas dañadas (SDA).

Proporción de óvulos abortados (POA) = (OA / PS).

Proporción de semillas vanas (PSV)= (SV / PS).

Proporción de semillas llenas (PSLL) = (SLL/PS).

Tamaño de la semilla= peso de 100 semillas llenas (g).

Indicador de endogamia (IE) = SV/SD.

Eficiencia reproductiva (ER)= Peso de semillas llenas del cono (g)/ peso seco del cono (kg).

Los indicadores reproductivos evaluados fueron: la longitud del cono (mm), el peso seco del cono (kg), número de escamas fértiles, proporción de óvulos abortados, proporción de semillas vanas, proporción de semillas llenas, tamaño de semilla, el indicador de endogamia y eficiencia reproductiva (g/kg), (Flores *et al.*, 2005).

Se utilizó el programa SigmaPlot 2001 versión 10.0 para la elaboración de gráfica de producción y pérdida de semillas de *Pinus coulteri* D. Don, colecta 2010.

Se utilizó el procedimiento Univariate de SAS, en donde se realizó un análisis exploratorio de datos, mediante la representación de diagramas de cajas, para conocer la dispersión de datos e identificar valores no representativos. Las variables que presentaron normalidad en los datos no requirieron transformación como: las semillas llenas, potencial de semillas, eficiencia de semillas, longitud del cono, peso seco del cono, número de escamas fértiles, proporción de semillas llenas, tamaño de semillas y eficiencia reproductiva.

Las variables fueron transformadas en SAS empleando el procedimiento de Box yCox(1964), el cual consintió en elevar a una potencia de -1 a 1, el valor de las variables evaluadas para potencial de semillas e indicadores reproductivos. Las variables transformadas fueron: semillas vanas su potencia fue (-0.5), óvulos abortados y proporción de óvulos abortados (0.5), óvulos rudimentarios (-0.4), proporción de semillas vanas y el indicador de endogamia (-0.2).

Se realizó el análisis de varianza en el paquete estadístico SAS. El modelo utilizado que a continuación se presenta corresponde al de clasificación anidada de efectos mixtos (Flores *et al.*, 2005):

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + a_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  es el valor de la variable.

$\mu$  es la media poblacional.

$p_i$  es el efecto de la  $i$ -ésima población.

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

$\varepsilon_{ijk}$  es el error experimental.

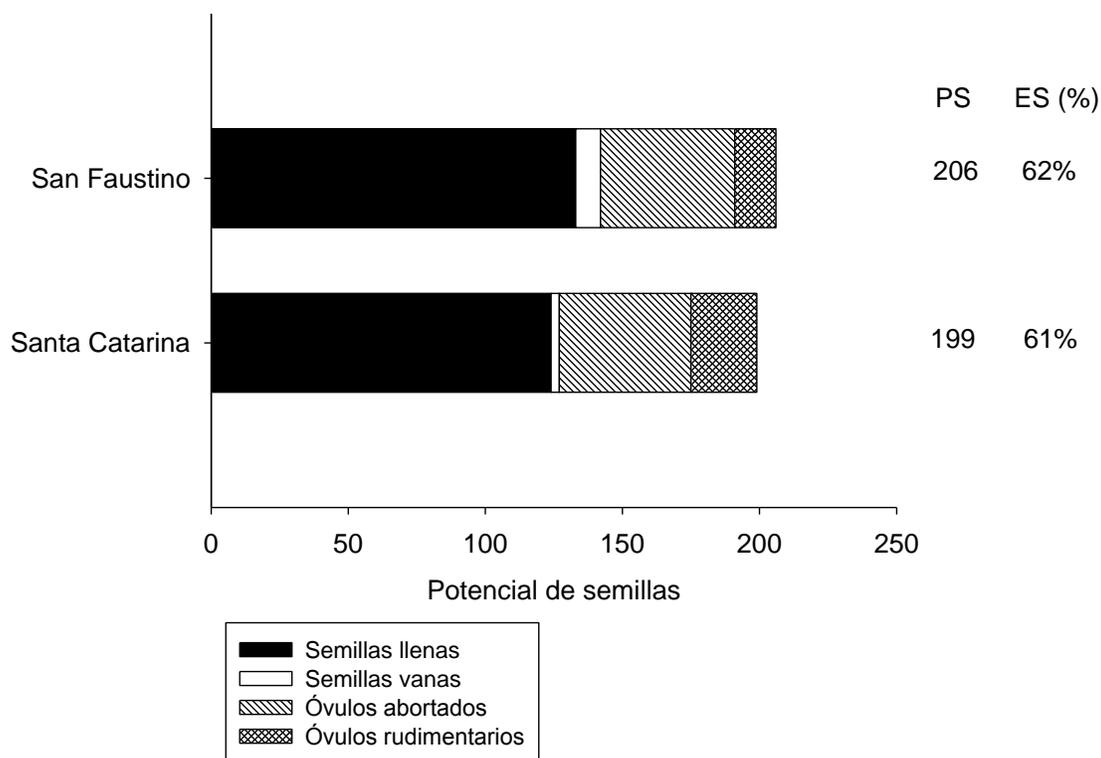
Se utilizó el paquete SAS con el procedimiento Mixed y el método de máxima verosimilitud restringida para obtener el nivel de significancia estadística de los factores; la opción LSMeans se utilizó para obtener las medias ajustadas debido al desbalance en el número de árboles muestreados (SAS, 1998).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Producción de semillas de las dos localidades bajo estudio

#### 4.1.1 Potencial de semillas

De acuerdo al análisis de conos y semillas realizado en *Pinus coulteri* D. Don, colecta 2010, se obtuvo que ambas poblaciones son estadísticamente iguales en cuanto al potencial de semillas con una significancia ( $p \leq 0.05$ ), (Figura 3 y Apéndice 1). Estos resultados son muy similares a los encontrados en otras coníferas, por ejemplo en *Picea martinezii* 266 (López, 2007), *Pinus greggii* 252 (Velasco, 2008). El potencial de semillas puede variar entre las especies y entre las poblaciones de las mismas especies, debido a los diferentes años semilleros (Alba-Landa *et al.*, 2003; López, 2007; Villa, 2010).



PS= potencial de semillas, ES= eficiencia de semillas (%).

Nota: Los valores de las medias en PS y ES no son diferentes determinado por la prueba de diferencia mínima significativa ( $p \leq 0.05$ ).

Figura3. Producción y pérdida de semillas en dos poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don, colecta 2010.

Comparando el resultado de potencial de semillas encontrado en *Pinus coulteri*, con otros estudios realizados en coníferas (Cuadro 3). El potencial de semillas de *Pinus coulteri* ocupa el tercer lugar y además posee menor cantidad de óvulos abortados y óvulos rudimentarios, por lo tanto mayor cantidad de semillas llenas y menor número de semillas vanas (Apéndice 1).

De las especies que se enlistan dentro del Cuadro 3, *Picea martinezii* T. F. Patterson se reporta como el más alto de acuerdo al potencial de semillas, lo cual se debe a la condición de humedad que presenta el hábitat donde se desarrolla, bosque mesófilo de montaña (López, 2007). También se ha reportado en *Pinus greggii* Engelm., que durante el análisis de correlación entre las características morfológicas del cono y las variables ambientales de los sitios, la longitud del cono aumenta al aumentar la humedad y la temperatura media anual, mientras que la anchura del cono y las dimensiones del cono disminuyeron (López *et al.*, 1993). Para *Pinus coulteri* la humedad no influye en cuanto a las características del cono, debido que a pesar de la condición del hábitat mediterráneo que generalmente son secos, presenta un alto potencial de semillas y alta eficiencia de semillas (Cuadro 3).

Por otra parte haciendo referencia a las especies del grupo piñoneros enlistadas (Cuadro 3), son las que presentan menor cantidad en cuanto al potencial y eficiencia de semillas (Hernández, 2006; Lemus, 1999; Villa, 2010), lo que contrasta con los resultados obtenidos en *Pinus coulteri*, esto posiblemente se debe a que las poblaciones estudiadas de pinos piñoneros la condición del hábitat es seca, y posiblemente la poca humedad afecte a la alta producción de semillas vanas.

El potencial de semillas generalmente es mayor a la eficiencia de semillas, esto ocurre por el ciclo reproductivo de las especies del género *Pinus*, que oscila entre los 18-24 meses. Durante el proceso posterior a la fertilización e inicio del desarrollo del estróbilo femenino parte de los óvulos abortan durante el primero y

segundo año, las causas se le atribuye posiblemente a los factores adversos tales como la polinización inadecuada, carencia de polen, presencia de enfermedades fungosas o estrés del arbolado por escasez de humedad lo que tiende a disminuir el número de semillas viables (Prieto y Martínez, 1993).

Es importante mencionar que la metodología de Bramlett *et al.* (1977) empleada en los pinos piñoneros, sobrestima el potencial de semillas que produce el cono. Esto fue probado en *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini, en el Mpio. de Santa Catarina, Nuevo León, en donde se encontró que las escamas que no tenían la capacidad de producir dos óvulos funcionales, de 155 conos evaluados, cuando menos 144 tenía una escama intermedia con una semilla y sin óvulos funcionales. Para evitar sobreestimar el potencial de semilla por cono, se propuso una fórmula alterna con la que se obtuvo un potencial de 11 semillas por cono (Lemus, 1999).

#### 4.1.2 Eficiencia de semillas

Los valores de eficiencia de semillas encontrados para las dos poblaciones bajo estudio de *Pinus coulteri*, no presentaron diferencias estadísticas, el promedio fue de 61% que equivale a 124 semillas viables (Cuadro 3). Un resultado parecido se presentó en *Pinus greggii*, en el que pretendían encontrar diferencias entre las características reproductivas de tres procedencias, sin embargo no se presentaron diferencias entre las características reproductivas. En el mismo estudio se consideraron las tres procedencias estudiadas como una misma población, mismo en el que se encontró alto potencial de semillas, pero baja eficiencia de semillas (Velasco, 2008).

Además los resultados de eficiencia de semillas de *Pinus coulteri* son muy similares a los obtenidos en *Pinus patula* Schl. *et* Cham. (Alba-Landa *et al.*, 1999); *Pinus cooperi* C. E. Blanco (Prieto y Martínez, 1993).

La baja eficiencia de semillas generalmente se presenta en poblaciones pequeñas o fragmentas, lo que ocasiona baja viabilidad de polen, pero también se puede deber a la elevada consanguinidad entre los individuos lo que aumenta el número de semillas vanas (Alba-Landa y Márquez, 2006; Flores *et al.*, 2005). *Pinus coulteri* habita en poblaciones pequeñas y aisladas, pero esto no ocasiona baja eficiencia de semillas.

#### 4.1.3 Pérdida de semillas

Las variables que se emplean para determinar la pérdida de semillas son: la cantidad de óvulos abortados, óvulos rudimentarios y el número de semillas vanas del cono, obtenidos mediante el análisis de conos y semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

En el análisis de conos y semillas realizado en *Pinus coulteri*, se obtuvo que la pérdida de semillas es baja, el número de óvulos abortados en promedio para las dos poblaciones son estadísticamente iguales (48 óvulos abortados por cono) (Figura 3 y Apéndice 1). El aborto de óvulos posiblemente se deba a una deficiencia en la producción y viabilidad del polen, ya que no se encontró daños ocasionados por plagas o enfermedades (Flores *et al.*, 2005).

En cuanto al resultado de óvulos rudimentarios el valor encontrado en promedio fue de (19) por cono, este resultado no presentó diferencias estadísticas en ninguna de las poblaciones de *Pinus coulteri*. Las posibles causas de la presencia de óvulos rudimentarios se puede deber a que el polen no está disponible cuando las flores femeninas están desarrolladas o también por la presencia de genes letales recesivos dentro del embrión (Bramlett *et al.*, 1977), evidentemente porque no se presentaron problemas de plagas y enfermedades en este estudio.

Cuadro3. Comparación del potencial y eficiencia de semillas en coníferas de diferentes poblaciones y años de colecta.

Especie	Localidad	Promedio PS	ES (%)	SLL	SV	OA	OR	Fuente
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	Cañón El Butano, N.L. Méx.	266	4	9	30	210	3	López (2007)
	Cañada del Puerto I, N.L. Méx.		13	40	88	162	4	
	Agua Fría N.L. Méx.		8	22	66	165	2	
	La Tinaja, N.L. Méx.		2	6	26	227	4	
<i>Pinus greggi</i> Engelm.	Jamé, Coah. Méx.	252	16.7	--	--	--	--	Velasco (2008)
	Los Lirios, Coah. Méx.		14.9	--	--	--	--	
	Cuauhtémoc, Coah. Méx.		20.6	--	--	--	--	
<i>Pinus coulteri</i> D. Don	San Faustino, B.C. Méx.	206	62	133	9	49	15	Trabajo Actual
	Santa Catarina, B.C. Méx.	199	61	124	3	48	24	
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	La Malinche, Tlax. Méx.	193	75	--	--	--	--	Alba-Landa <i>et al.</i> (2003)
	Cofre, Perote Ver. Méx.		68	--	--	--	--	
<i>Pinus Oaxacana</i> Mirov	Lázaro Cárdenas, Tlax. Méx.	186	--	--	--	--	--	Vázquez <i>et al.</i> (2004)
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore <sup>†</sup>	Cabuyerita, Colombia	140	8	11	7	--	--	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede <sup>†</sup>	El Pital, Colombia	137	13	18	12	--	--	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz <sup>†</sup>	La Arcadia, Colombia	125	9	12	7	--	--	Isaza <i>et al.</i> (2002)
	La Suiza, Colombia		7	8	9	--	--	
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	Cielito Azul, San Miguel de Cruces, Dgo. Méx.	109	63	65	35	--	--	Prieto y Martínez (1993)
	La Taunita, San Miguel de Cruces, Dgo. Méx.		62	72	28	--	--	
<i>Picea mexicana</i> Martínez <sup>†</sup>	Cerro El Mohinora, Chih. Méx.	102	12	11	45	35	--	Flores <i>et al.</i> (2005)
	Sierra El Coahuilón, Coah. Méx.		9	9	44	47	--	
	Sierra La Marta, N.L. Méx.		18	21	53	42	--	
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	Orizaba, Ver. Méx.	82	64.6	--	--	--	--	Alba-Landa <i>et al.</i> (1999)
<i>Pinus leiophylla</i> Schl. et Cham.	La Cuenca del Río Angulo, Mich. Méx.	61	1.97	1	15	44	--	Morales-Velázquez <i>et al.</i> (2010)
<i>Pinus pincea</i> Gordon <sup>†</sup>	San Cristóbal, Hgo. Méx.	50	54	24	7	--	--	Hernández (2006)
	Matehualilla, S.L.P. Méx.		51	23	8	--	--	
	San José Carbonerillas, Zac. Méx.		14	7	18	--	--	
	Lomas del Orégano, Zac. Méx.		43	20	12	--	--	
	Cañón de las bocas, Zac. Méx.		0	0	13	--	--	
	Garambullo, Coah. Méx.		52	24	9	--	--	
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert <sup>†</sup>	Palmas Altas, Coah. Méx.	39	28	15	16	--	--	Villa (2010)
	Las Norias, Coah. Méx.		36	20	12	--	--	
	La Siberia, N.L. Méx.		18	6.2	2.5	2	23.3	
	Concepción del Oro, Zac. Méx.		21	8	4.6	2.3	24.3	
	El Coahuilón, Coah. Méx.		22	10.6	2.6	1.7	33.1	
Laguna de Sánchez, N.L. Méx	16	5.8	6.5	1.9	20.7			
<i>Pinus catarinae</i> M.F. Robert-Passini	Casa Blanca, N.L. Méx.	11	21	3	7	--	--	Lemus (1999)

<sup>†</sup> Estudios realizados en diferentes años de colecta. Nota: PS= Potencial de semillas ordenados de mayor a menor. Además se incluyen datos de ES= Eficiencia de semillas; SLL= Semillas llenas; SV= Semillas vanas; OA= Óvulos abortados; OR= Óvulos rudimentarios; -- = datos no disponibles.

La pérdida de semillas vanas para ambas poblaciones de *Pinus coulteri* fue estadísticamente diferentes, la población con mayor cantidad es San Faustino con 9 semillas vanas por cono y Santa Catarina con 3 semillas vanas por cono. Comparando estos resultados con el de otras coníferas, por ejemplo, *Picea martinezii* (López, 2007), *Pinus cooperi* (Prieto y Martínez, 1993), *Picea mexicana* (Flores *et al.*, 2005) (Cuadro 3), el número de semillas vanas por cono es relativamente bajo. Las pérdidas por semillas vanas además de atribuirle la falta de disponibilidad del polen cuando la flor está desarrollada, daños por plagas y enfermedades, también es importante mencionar que puede deberse a la presencia de genes letales recesivos para un mismo parámetro, en donde el embrión en etapas temprana de desarrollo muere y el tejido gametofito no se desarrolla, produciendo la disminución de semillas viables (Bramlett *et al.*, 1977).

#### 4.1.4 Indicadores reproductivos

La característica de longitud del cono en las dos poblaciones de *Pinus coulteri*, en promedio fue de 191 mm, la población que posee conos de mayor longitud son los de la población San Faustino con una media de 209 mm de longitud, comparado con la población Santa Catarina en donde la media de la longitud de conos es de 173 mm, por lo que la diferencia entre las poblaciones es estadísticamente significativa (Cuadro 4).

El peso seco promedio del cono de las poblaciones de *Pinus coulteri* bajo estudio fue de 0.516 kg, estadísticamente no existe diferencia para esta característica. Por otro lado el peso verde del cono determinado para este mismo estudio fue de 0.621 kg, comparando el peso verde reportado en este estudio con el peso verde del cono reportado en California en donde los conos pueden llegar a pesar hasta dos kilogramos (Perry, 1991), las dos poblaciones evaluadas tienen los conos menos pesados.

El número de escamas fértiles en promedio para las dos poblaciones fue de 101, lo que da como resultado un potencial de semillas de 202 semillas por cono en promedio (Cuadro 4). Esta característica no presentadiferenciaestadísticas entre las dos poblaciones de *Pinus coulteri*, por lo que ambas poblaciones producen la misma cantidad de escamas fértiles por cono.

La proporción de óvulos abortados en promedio para ambas poblaciones de *Pinus coulteri* fue de 0.25 (25%), el resultado indica que no existe diferencia significativa en esta característica. Sin embargo este resultado es bajo comparado con *Picea mexicana* Martínez (Flores *et al.*, 2005); *Picea martinezii* T. F. Patterson (López, 2007); *Pinus pinceana* Gordon (Hernández, 2006) (Cuadro 5). La proporción de óvulos abortados posiblemente se deba a la deficiencia y viabilidad del polen, debido a que no se encontraron daños por plagas o enfermedades (Flores *et al.*, 2005).

Cuadro4. Comparación de medias en dos poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don en Baja California, evaluadas durante la colecta 2010.

Características	<u>Santa Catarina</u>		<u>San Faustino</u>		Promedio
	2010		2010		
Longitud del cono (mm)	173	b	209	a	191
Peso seco del cono (kg)	0.480	a	0.551	a	0.516
Núm. de escamas fértiles	99	a	103	a	101
Prop. de óvulos abortados	0.25	a	0.24	a	0.25
Prop. de semillas vanas	0.01	b	0.04	a	0.03
Prop. de semillas llenas	0.61	a	0.62	a	0.62
Tamaño de semilla <sup>†</sup>	25.52	a	23.74	a	24.63
Indicador de endogamia <sup>¶</sup>	0.02	b	0.07	a	0.05
Eficiencia reproductiva <sup>§</sup>	65.48	a	55.35	a	60.42

<sup>†</sup>Peso de 100 semillas llenas(g).

<sup>¶</sup>Número de semillas vanas/ número de semillas desarrolladas.

<sup>§</sup>Peso de semillas llenas del cono (g) / peso seco del cono (kg).

Nota: Medias con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) determinado por la prueba de diferencia mínima significativa.

En cuanto a la proporción de semillas vanas los resultados son relativamente bajos pero estadísticamente diferentes entre las poblaciones, San Faustino obtuvo (0.04) 4% y la población de Santa Catarina tan solo el 0.01 (1%).

Aunque estos valores presentan diferencias significativas para las poblaciones bajo estudio, estos no son tan críticos como los resultados obtenidos por Flores *et al.* (2005), Isaza *et al.* (2002) y Lemus (1999).

La proporción de semillas llenas para las poblaciones bajo estudio, en promedio fue de 0.62 (62%), equivalente a 125 semillas viables por cono, mismos valores no son estadísticamente diferentes. Estos datos son muy similares a los encontrados en *Pinus oocarpa* Schiede (Isaza *et al.*, 2002); *Pinus cooperi* C. E. Blanco (Prieto y Martínez, 1993).

El tamaño de la semilla que se refiere al peso de 100 semillas llenas en gramos, para esta característica no se obtuvo diferencias significativas entre poblaciones, el promedio fue de 24.63 g. El peso de la semilla es un dato importante para determinar la cantidad de germoplasma requerido en los programas de plantaciones (Gómez *et al.*, 2010). Además se ha encontrado que uno de los efectos asociados a la depresión de endogamia ocasionada por la autofecundación es la reducción del tamaño de la semilla y el vigor inicial de las plántulas, obteniendo plántulas débiles y con menores tasas de crecimiento (Flores *et al.*, 2005).

El indicador de endogamia en promedio fue de 0.05 (5%), esta característica presenta diferencia estadística entre las poblaciones, Santa Catarina obtuvo menor valor de indicador de endogamia 0.02, mientras que San Faustino obtuvo el valor más alto 0.07. Estos resultados son relativamente bajos, comparado con otros estudios realizados en coníferas principalmente en *Piceas* y en especies del grupo piñonero (Cuadro 5), aunque estos contrastan con los resultados de *Pinus coulteri* que a pesar de la condición de hábitat y de que las poblaciones son pequeñas, presentan bajo indicador reproductivo, lo que indica que los individuos presentan baja consanguinidad y por lo tanto alta polinización cruzada.

Cuadro 5. Comparación de porcentajes de óvulos abortados, semillas vanas, semillas llenas e indicador de endogamia en diferentes estudios.

Especie	PSLL	PSV	POA	IE	Fuente
<i>Picea mexicana</i> Martínez <sup>¶</sup>	13	46	41	0.80	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson <sup>†¶</sup>	7	12	83	0.75	López (2007)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon <sup>†¶</sup>	35	24	38	0.42	Hernández (2006)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert <sup>†¶</sup>	29	18	--	0.42	Villa (2010)
<i>Pinus greggi</i> Engelm. <sup>¶</sup>	24.4	12.3	38.7	0.28	Velasco (2008)
<i>Pinus coulteri</i> D. Don <sup>¶</sup>	62	3	25	0.05	Trabajo actual
<i>Pinus maximinoi</i> H. E. Moore <sup>†¶</sup>	61	39	--	--	
<i>Pinus oocarpa</i> Schiede <sup>†¶</sup>	60	40	--	--	Isaza <i>et al.</i> (2002)
<i>Pinus tecunumanii</i> Eguiluz <sup>†¶</sup>	56	44	--	--	
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco <sup>¶</sup>	69	31	33	--	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert-Passini	23.57	60.33	9	--	Lemus (1999)

Nota: datos ordenados de mayor a menor por indicador de endogamia (IE). † Estudios realizados en diferentes años de colecta. ¶ Estudios realizados en diferentes poblaciones. PSLL= proporción de semillas llenas; PSV= proporción de semillas vanas; POA= proporción de óvulos abortados; -- = datos no disponibles.

Por lo tanto en las dos poblaciones evaluadas de *Pinus coulteri* la endogamia parece no ser un problema reproductivo, a pesar de ser poblaciones muy raras y pequeñas en cuanto a la superficie (Minnich, 1986). Posiblemente se deba a que aparentemente posee facilidad de reproducción, son resistentes al ataque de plagas y al fuego que es muy común en este tipo de ecosistemas mediterráneos. Además presenta predominio de plantas cuando se establece, comparado con las especies con las que se asocia (Zobel, 1952).

Ledig(1987) afirma que las poblaciones pequeñas y relictas de *Pinus Coulteri* presentan mayor diversidad genética tanto las poblaciones del norte como las del sur, y se cree que los alelos se fueron perdiendo de forma gradual desde Baja California hasta las montañas de California. Por lo que la pérdida de la heterocigosidad en *Pinus coulteri* se ve reflejada con la latitud por acción de la deriva genética, a través del efecto fundador. Como las especies ampliaron su rango hacia al norte durante el pleistoceno se fueron dando sucesivos eventos

colonizadores y como resultado pérdida de alelos, en parte se debió al gran tamaño de las semillas que es muy difícil de dispersar de una cordillera a otra.

La eficiencia reproductiva en promedio fue de 60.42 gramos de semilla por kilogramo de cono, sin embargo para esta característica no se encontraron diferencias significativas entre poblaciones (Cuadro 4). Es importante mencionar que la eficiencia reproductiva es un indicador de la proporción de energía que un árbol dedica a la producción de semilla para la generación de nuevos individuos, más que a la biomasa del cono (Gómez *et al.*, 2010).

## 5 CONCLUSIONES

Los valores del potencial y eficiencia de semillas determinados en las poblaciones de San Faustino y Santa Catarina de *Pinus coulteri* son altos en comparación con otras especies del genero *Pinus*, a pesar de la condición restringida y endémica de esta especie.

La población de Santa Catarina sobresale por tener menor proporción de semillas vanas y menor valor de indicador de endogamia comparada con la población de San Faustino, aunque estos valores son muy bajos para ambas poblaciones y comparados con otras especies de pinos.

## 6 RECOMENDACIONES

Para el análisis de conos y semillas de *Pinus coulteri*, la característica serotina del cono es una limitante para la extracción completa de las escamas y semillas, por lo que es necesario que utilice el procedimiento explicado en este estudio.

Es fundamental realizar otros análisis de conos y semillas en *Pinus coulteri* en diferentes fechas de colecta y poblaciones, para determinar si existen variaciones entre los años semilleros en la misma especie, ya que se ha observado en otros estudios que se presenta diferencias tanto en el potencial y eficiencia de semillas así como en los indicadores reproductivos en diferentes especies, poblaciones, así como entre años de colecta.

## 7 LITERATURA CITADA

- Alba-Landa J., L. C. Mendizábal H., A. A. Cáceres G. 1999. Potencial de producción de semilla de la progenie de un huerto semillero de segunda generación de selección de *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz. ISIMA. Durango, México. pp.133 – 134.
- Alba-Landa J., A. Aparicio-Rentería., J. Márquez-Ramírez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 25-28.
- Alba-Landa., J. y J. Márquez R. 2006. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus Oaxacana* Mirov. de los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 8(1):31-36 .
- Borchert, M. 1985. Serotiny and cone-habit variation in populations of *Pinus coulteri* (Pinaceae) in the Southern Coast Ranges of California. Los Padres National Forest, Goleta, CA 93117. *Madroño* 32(1): 28-47.
- Box, G. E. P. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (methodological)* 26 (2): 211-252.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher Jr., G. L. DeBarr, J. L. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware y H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C. U. S. A. 28 p.
- Donahue, J. K. 1995. Observations on *Pinus maximartinezii* Rzed. Camcore cooperative, Dept. of Forestry, North Carolina State University, Box 7626, Raleigh, NC 27695-7626 U.S.A. *Madroño* 42(1): 19-25.
- Delgadillo R., J. 2004. El Bosque de coníferas de la Sierra San Pedro Mártir. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 159 p.
- Farjon, A. y B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora neotropica monograph* 75 Organization for Flora Neotropica, The New York Botanical Garden. New York. U.S.A. 291 p.
- Frankham, R. 1998. Inbreeding and extinction: island populations. *Conservation Biology* 12(3): 665-675.
- Flores L., C., J. López U., J.J. Vargas H. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea Mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39(1):117-126.

- Gómez J., D. M., C. Ramírez H., J. Jasso M., J. López-Upton. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. Artículo Científico. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4): 297-304.
- Hall, W. L. y H. Maxwell. 1911. Uses of commercial woods of The United States II. Pines. Forest Service Bulletin 99. Washington, U.S.A. 96 p.
- Hernández S., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 38 p.
- Isaza N., W.S. Dvorak., J. López-Upton. 2002. Producción de semillas del género *Pinus* en huertos y rodales semilleros de Smurfit Cartón de Colombia. Informe de Investigación No. 187. Smurfit Cartón de Colombia. Cali, Colombia. 9 p.
- Ledig, F. T. 1987. Genetic structure and the conservation of California's endemic and near-endemic conifers. In Conservation and Management of Rare and endangered plants, T.S. Ellis, ed. Sacramento: California NativePlantSociety: 587-594
- Lemus S., J. L. 1999. Análisis de conos y semillas de *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila. 130p.
- López U., J., J. Jasso M., J.J. Vargas H., J.C. Ayala S. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. Agrocencia. Recursos Naturales Renovables. 3(1) 81-95.
- López R., E. 2007. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 36 p.
- Lyons, L. A. 1956. The Seed production capacity and efficiency of red pine cones (*Pinus resinosa* Ait.). Canadian Journal of Botany 34: 27-36.
- McCune, B. 1988. Ecological diversity in North American Pines. American Journal of Botany. 75(3):353-368.
- Munns, E. N. 1921. Coulter Pine. Journal of Forestry 19: 903-906.

- Minnich, R.A. 1986. Range extensions and corrections for *Pinus jeffreyi* and *Pinus coulteri* (Pinaceae) in Northern Baja California. Notes. Madroño 33(2):144-149.
- Minnich, R.A. 1987. The Distribution of forest trees in Northern Baja California, Mexico. Geography Program, Department of Earth Sciences, University of California, Riverside 92521. Madroño 34(2):98-127.
- Mosseler, A., y O.P. Rajora. 1998. Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success. *In*: Environmental Forest Science. Edited by K. Sissa. Kower Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp. 333-344.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K.H. Johnsen, y O.P. Rajora. 2000. Indicators of populations viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal of Botany 78:928-940.
- Morales-Velázquez, M.G., C.A. Ramírez-Mandujano, P. Delgado-Valerio., J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en La Cuenca del Río Angulo, Michoacán. Revista Mexicana Ciencia Forestal. 1(2):31-38.
- Perry J., P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, U.S.A. 231 p.
- Peinado, M., C. Bartolomé, J. Delgadillo, I. Aguado. 1994. Pisos de vegetación de la Sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Acta botánica 29: 1-30.
- Prieto R., J. A. y J. Martínez A. 1993. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto científico No. 1. SARH, INIFAP, Centro de Investigaciones Regional del Norte Centro. Campo Experimental "Valle del Guadiana". Durango, Dgo. México. 18 p.
- Rodríguez R., G., J. Márquez R., V. Rebolledo C. 2001. Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas en *Cedrela odorata* L. y su relación con caracteres morfométricos de frutos. Foresta Veracruzana 3(1): 23-26.
- Sargent, CH. S. 1897. The Silva of North American, description of the trees which grow naturally In North American. Exclusive of Mexico. Volume XI, Coniferae (Pinus). The riverside press, Cambridge. Boston and New York, U .S.A 163 p.
- SAS institute Inc. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 8.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378 p.

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental – especies nativas de México de flora y fauna silvestre – categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. D.O.F.30 de diciembre de 2010. México. 153 p. [En línea]. 2 de febrero de 2011. Disponible:<http://www.semarnat.gob.mx/gestionambiental/forestalysuelos/Pages/anuariosforestales.aspx>
- Vázquez C., O.G., E.O. Ramírez-García., J. Alaba-Landa. 2004. Variación de conos y potencial de producción de semillas de *Pinus Oaxacana* Mirov. en una población del estado de Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 6 (2):31-36.
- Velasco V., R. F. 2008. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus greggii* Engelm., en Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, Mexico. 38 p.
- Villa P., V. H. 2010. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus johannis* M.-F. Robert en el Noreste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 37 p.
- Zobel, B. 1952. Geographic range and intraspecific variation of Coulter Pine. *Madroño* 11(8):285-316 p.

## APÉNDICE

Apéndice 1. Comparación de medias de las características reproductivas de dos poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don, colecta 2010.

Población	Variables					
	SLL	SV	OA	OR	PS	ES (%)
Santa Catarina	124a	3b	48 a	24a	199a	61a
San Faustino	133a	9a	49 a	15a	206a	62a

Nota: medias con diferentes letras son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), determinadas por la prueba de diferencia mínima significativa. SLL= Semillas llenas, SV= Semillas vanas, OA= Óvulos abortados, OR= Óvulos rudimentarios, PS= Potencial de semillas, ES= Eficiencia de semillas (%).