

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Variación Morfológica de Conos y Semillas en Cinco
Poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México

Por:

ISRAEL MAXIMILIANO FERNÁNDEZ GALINDO

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación Morfológica de Conos y Semillas en Cinco

Poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México

Por:

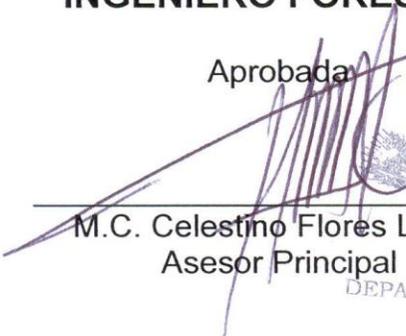
ISABEL MAXIMILIANO FERNÁNDEZ GALINDO

Tesis

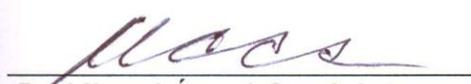
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

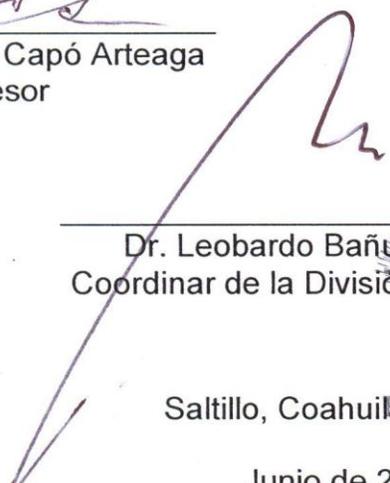
Aprobada


M.C. Celestino Flores López
Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL


Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga
Coasesor


Dr. Alejandro Zárate Lupercio
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

Proyecto de tesis 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.

DEDICATORIA

A mis padres Gabriel Fernández Hernández y Carolina Galindo Castillo, por el apoyo que me han brindado en todo momento, aconsejándome y buscando siempre mi bienestar y el de mis hermanos.

A mis hermanos Nancy Fernández Galindo y Gabriel Otoniel Fernández Galindo, por animarme y confiar siempre en mí.

En especial para mi abuelo Humberto Fernández Gutiérrez†, que pensó en ver algún día como profesionistas a sus nietos, y que a pesar de ya no estar entre nosotros, se le recuerda por el apoyo y protección hacia su familia.

A toda mi demás familia, que siempre se han preocupado por mí y me han animado para terminar mi profesión.

A mis amigos, Guadalupe Hernández, Rene Gutiérrez, Cristian Gutiérrez, José L. Ameca, Gabriel Ameca, Jesús Fernández, Jesús Jiménez, Ermelo Fernández, Alfredo Méndez, Acacio Chantero, Carlos Castillo, Gregorio de Jesús Rosas, Filiberto Rosas, Roberto Hernández, Eduardo Santiago, Emmanuel Pérez, Hernán Sánchez, Eric Santiago, Néstor Hernández, y Adín Velázquez, que han convivido conmigo en diferentes etapas de mi vida, por sus ánimos y por esos momentos gratos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres, por brindarme la oportunidad de vivir.

A mi Alma Terra Mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas para lograr el término de mis estudios.

Al M.C. Celestino Flores López, por su amistad y darme la confianza para realizar este trabajo, brindándome su apoyo incondicional.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga y al Dr. Alejandro Zárate Lupercio, por su amistad y haber aceptado ser mis coasesores, brindándome apoyo en la revisión y presentación de este trabajo.

Al Departamento Forestal y a cada uno de sus integrantes, que contribuyeron en mi formación académica, tanto a los maestros como al personal que labora en él.

Al Departamento de Recursos Naturales, por permitirme realizar los trabajos de laboratorio, en especial a la T. L. Q. Martha Alicia De la Rosa Gómez, por la, confianza y apoyo durante la realización de mediciones.

A la T.A. Magdalena Olvéra Esquivel, encargada del laboratorio de fisiología y bioquímica de semillas por su apoyo y tiempo durante la realización de mediciones.

A cada uno de mis amigos y compañeros de clase, que fueron parte de mi vida durante estos cinco años.

A José Delgadillo, Agustín Domínguez, Araceli Estrada, Jaime P. Cortez, Alfredo Meling, Priscila Meling, Marcos Medina y Jonathan Presiche, por su participación durante la colecta, por su amistad y las atenciones prestadas.

A Angelina Cruz, Verónica de Jesús García, Osmar E. Argueta, Manuel A. Pérez, Xóchitl G. Cervantes, Leydi M. Recinos, María G. Cruz, Adín E. Velázquez, Eric Santiago y Hernán Sánchez, por su participación en el trabajo de laboratorio y por su buena disposición.

Y aquellas demás personas, que participaron directa e indirectamente en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Hipótesis	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Descripción de la especie	4
2.2 Importancia de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	5
2.3 Variación natural en los árboles	7
2.3.1 Principales tipos de variación	7
2.3.2 Variación morfológica y su importancia.....	8
2.3.3 Estudios sobre variación morfológica	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Descripción del área de estudio	12
3.1.1 Localización.....	12
3.1.2 Características Ecológicas	14
3.2 Muestreo y colecta de conos.....	15
3.3 Evaluación de variables	15
3.3.1 Variables morfológicas evaluadas en conos	16
3.3.2 Variables morfológicas evaluadas en escamas.....	16
3.3.3 Variables morfológicas evaluadas en semillas	17

3.4 Análisis estadístico.....	18
3.4.1 Verificación de normalidad	18
3.4.2 Análisis de varianza.....	21
3.4.3 Análisis Multivariado.....	21
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Normalidad en los datos.....	22
4.2 Comparación entre variables de las poblaciones	22
4.3 Componentes Principales	25
5 CONCLUSIONES	29
6 RECOMENDACIONES	30
7 LITERATURA CITADA.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Localización de las 5 poblaciones naturales de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, en Baja California Norte, México.....	12
Cuadro 2 Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de comparación de medias entre 5 poblaciones naturales de <i>Pinus coulteri</i> D. Don en Baja California, evaluadas durante la colecta 2010 y 2011.....	24
Cuadro 3 Prueba de matriz de correlación de los eigenvalores (autovalor) de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	26
Cuadro 4 Correlaciones de variables con los componentes principales de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación geográfica de <i>Pinus coulteri</i> D. Don, en Baja California Norte, México.....	13
Figura 2 Características morfológicas del cono de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	19
Figura 3 Características morfológicas de la escama de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	20
Figura 4 Características morfológicas de la semilla de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	20
Figura 5 Gráfica comparativa de los componentes principales 1 y 2, para las 5 poblaciones de <i>Pinus coulteri</i> D. Don.....	28

RESUMEN

En este estudio se estimó la variación morfológica de 14 variables de conos y semillas en cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, localizadas en Baja California. Se discutió las diferencias entre poblaciones y se identificaron las principales variables que distinguen a las poblaciones.

La colecta se realizó en los años 2010 y 2011, utilizando un muestreo selectivo de árboles, como consecuencia de la escasez de conos, se colectó desde uno hasta 11 conos por árbol y desde 17 hasta 25 árboles por población. Se evaluaron cuatro variables para el cono, cuatro para la escama y seis para la semilla. Se utilizaron diferentes procedimientos del programa SAS 9.0 para analizar la normalidad de las variables, realizar el análisis de varianza y el análisis de componentes principales.

Las 14 variables morfológicas de las cinco poblaciones presentaron diferencias altamente significativas y las variables morfológicas longitud del ala con la semilla (LALA), longitud de la semilla (LS), grosor de la semilla (GS), diámetro del cono (DC) y longitud del umbo, quilla, y espina (LUQE), son las que más distinguen una población de otra. El primer componente, explica 66 % de la variación total encontrada, la variables con mayor correlación a este componente son la longitud del cono (LC), peso verde del cono (PVC), peso seco del cono (PSC), longitud de la escama (LE), ancho de la quilla (AQ), y el peso de mil semillas (PMILS). El análisis de varianza, el análisis de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) y el análisis de componentes principales, muestran que la población Sierra San Pedro Mártir se separa más de la población San Faustino.

Palabras clave: *Pinus coulteri*, variación morfológica, componente principal, Baja California.

ABSTRACT

In this study was estimated the morphological variation of 14 variables of cones and seeds in five populations of *Pinus coulteri* D. Don, located in Baja California. It was discussed the differences among populations and identified the main variables that distinguish the populations.

The seed collection was made in the years 2010 and 2011, using a selective sampling of trees, due to the low production of cones per tree, it was collected from one to 11 cones per tree and from 17-25 trees per population. Four variables were evaluated for the cone, four for the scales and six for the seed. Different procedures were used in the SAS 9.0 program to analyze the normality of the variables, the analysis of variance and principal component analysis.

To the 14 morphological variables of the five populations were significantly different and the morphological variables wing length with seed (LALA), seed length (LS), thickness of the seed (GS), cone diameter (DC) and length the umbo, keel, and spine (LUQE), are the most distinguish one population from another. The first component explains 66% of the total variation found, the variables with the highest correlation with this component are the length of the cone (LC), green weight cone (PVC), dry weight of the cone (PSC) scale length (LE), width of the keel (AQ), and the weight of 1000 seeds (PMILS). The analysis of variance, analysis of the least significant difference test (LSD) and principal component analysis show that the Sierra San Pedro Mártir population separates the population over San Faustino.

Keywords: *Pinus coulteri*, morphological variation, principal component, Baja California.

1 INTRODUCCIÓN

Pinus coulteri D. Don es un árbol con distribución limitada (Munns, 1921). En Estados Unidos se encuentra en las sierras costeras del centro y sur de California y en el Condado de la costa sur a San Diego, mientras que en México se distribuye en Baja California Norte, aislado en la parte costera de la Sierra Juárez (Sierra Blanca) y también en pequeñas extensiones y disperso en el interior de las Sierras Juárez y San Pedro Mártir (Minnich, 1987).

Este pino reside en ecosistemas de clima mediterráneo, con lluvias invernales y veranos muy secos con tormentas ocasionales (González-Abraham, 2010). Además de vivir en condiciones ambientales adversas, es también una especie de importancia ecológica, ya que ha sido agrupada en especies resistentes al fuego, donde los árboles adultos sobreviven al mismo (Delgadillo, 2004; McCune, 1988).

Si bien *Pinus coulteri* no es de importancia comercial actualmente, tiene un valor como cubierta vegetal para el suelo junto con las especies de chaparral que se asocia y que además en un futuro será de gran utilidad para plantaciones con fines de restauración por tener potencialidades para regiones semiáridas con condiciones ambientales desfavorables para otras plantas (Munns, 1921). A pesar de que *Pinus coulteri* tiene una forma menos beneficiosa que otros, puede ser utilizado en un programa de mejoramiento genético, por ser resistente a la plaga *Cylindrocopturus eatoni*, comúnmente llamada gorgojo de la reproducción del pino, que ataca a otros pinos, en particular a *Pinus jeffreyi* (Zobel y Talber, 1988).

Es así como esta especie de pino tiene estas y algunas otras cualidades favorables, sin embargo para tratar de conservar o realizar planes para el mejoramiento genético de *Pinus coulteri* se requiere conocer la variación genética y morfológica, además de describir la especie. Por lo tanto es importante conocer la variación genética que se encuentra dentro de las especies, entre las poblaciones y dentro de ellas. Ya que los procesos evolutivos que moldean la variación dentro de las especies son los mismos que crean la diversidad entre estas. El grado de variación en las especies puede ser muy grande marcando

diferencias claras, o pueden ser muy pequeño y volverse casi imperceptible a pesar de que se comparen un gran número de individuos. Todo esto puede asegurar la sobrevivencia y conducir al mejor desarrollo de la especie o bien puede perjudicarla y destinarla al debilitamiento y la extinción (Bell, 1968; Furnier, 2004).

Cabe destacar que el potencial de variación genética y variación ambiental dan como resultado a la variación fenotípica que es la variación total que se ve, relacionada con la procedencia, sitio, rodal y árbol. Sin embargo, es importante mencionar que la variación geográfica o de procedencia y las diferencias que existen de un árbol a otro explican casi el 90% de toda la variación genética encontrada dentro de una especie de árbol que crece en rodales naturales. Y las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores: los diferentes ambientes en los que crecen, las diferencias genéticas entre éstos y la interacción entre el genotipo de los árboles y los ambientes en que viven (Zobel y Talber, 1988).

Una de las maneras más fáciles de medir la variación genética es midiendo los caracteres morfológicos que nos presentan información de gran utilidad sobre la adaptación local de las especies (Furnier, 2004).

Las especies pueden tener diferentes procedencias. Una procedencia es una población de una especie en general, que por desarrollarse en condiciones diferentes a otras poblaciones muestra variaciones morfológicas o genéticas. Estas variaciones pueden expresarse en diferencias que existen en el tamaño del árbol, en corteza, hojas, cono, el nivel de coloración en las hojas, corteza, yemas y ramillas (Patiño y Garzón, 1976).

Los patrones de variación dentro de especies son de interés y suma importancia, ya que determinan la manera en que explotamos y conservamos estos recursos. Al haber pocas diferencias entre poblaciones, la pérdida de cualquier población no es tan grave debido a que no perdemos una unidad única genéticamente. Pero, si las poblaciones son muy diferentes, cada una representa un recurso único y se tiene que mantener más poblaciones en programas de conservación y mejoramiento, algo que costará más (Furnier, 2004).

Al ser *Pinus coulteri* una especie no endémica, pero considerada en estatus de peligro de extinción (SEMARNAT, 2010), representa un recurso natural único para México, que debe de estudiarse. Y como no existen estudios detallados que describan la variación genética en las poblaciones. Es así, como se desarrolló el presente trabajo, donde se pretende encontrar la variación morfológica para conos y semillas en cinco poblaciones naturales de este pino.

Y de esta manera contribuir con información de niveles y patrones de variación genética, que son importantes para definir estrategias de conservación y manejo de los recursos genéticos de esta especie (Furnier, 2004).

1.1 Objetivo

Estimar la magnitud de variación morfológica de 14 variables en conos y semillas entre cinco poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California Norte, México.

1.2 Hipótesis

Ho: no existe variación morfológica de conos y semillas entre cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México.

Ha: existe variación morfológica de conos y semillas en cuando menos una de las cinco poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California, México.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de la especie

Pinus coulteri fue encontrado entre 1832-1833 por Thomas Coulter en las montañas de Santa Lucía, cerca de Cone Peak, California y fue descrito por D. Don en 1836. Es un árbol de tamaño medio con una altura de 15 a 25 m y un diámetro a la altura del pecho (DAP) de hasta 100 cm; presenta un tronco monopódico, recto o curvo en la base; su corteza en la parte inferior es de 3 a 5 cm de espesor, áspera y escamosa con un color marrón oscuro, y en árboles jóvenes es escamosa, de color marrón rojizo o marrón grisáceo. Sus primeras ramas son largas y gruesas extendidas horizontalmente, en general son persistentes en gran parte del tronco y las ramas más altas se encuentran dispersas de manera ascendente conformando una copa amplia y abierta (Farjon y Styles, 1997).

Este pino presenta hojas con persistencia de 3 a 4 años, en fascículos de 3 en los extremos de las ramillas; tienen una longitud de 15 a 28 cm y una anchura de 2 mm; son verde grisáceas y los fascículos tienen una vaina de color marrón pálido no caduca o persistente (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991).

Sus flores estaminadas se producen en grupos; son de forma cilíndrica y miden aproximadamente 3.81 cm de largo; presentan anteras amarillas crestas que terminan en orbiculares denticulados oscuramente. Las flores femeninas son oblongo-ovales; miden de 1.27 a 1.90 cm de largo; ovadas con escamas de color café rojizo oscuro glaucas contraídas en largas puntas curvadas y se levantan sobre pedúnculos robustos a menudo tienen 3.81cm de largo (Sargent, 1897).

El tamaño del cono de este pino supera a todos los demás; los conos crecen solitarios, en pares o en verticilos de 3, 4 y hasta 5 en los tallos de los árboles jóvenes; crecen en pedúnculos gruesos, cortos, ovalados y tienden a ser medianamente persistentes y resinosos; su forma es oblonga con un tamaño de 20 a 35 cm de largo y de 15 a 20 cm de ancho cuando están abiertos; son de color

amarillo pálido y como son de gran tamaño, cuando están verdes pueden llegar a pesar hasta 2 kg (Farjon y Styles, 1997; Hall y Maxwell, 1911; Perry, 1991).

Las escamas de los conos son duras y rígidas; las apófisis son de hasta 3 cm de ancho, muy protuberantes, fuertemente desarrolladas y curvadas para arriba, hacia el vértice del cono; se puede decir que el umbo dorsal es el más fuerte de todos los pinos, bien desarrollado, alargado y curvo; la quilla se ve horizontal larga y dura, muy rígida con punta aguda parecida unas garras afiladas y enganchadas en los extremos (Farjon y Styles, 1997; Hall y Maxwell, 1911; Perry, 1991).

Las semillas son ovoides, ligeramente aplanadas y lisas; de 10 a 16 mm de largo y de 8 a 10 mm de ancho; su color es de café oscuro a negruzco o marrón oscuro, algunas veces brillantes tornando a negro; tiene alas articuladas y gruesas de hasta 2 mm de grosor en la parte donde se adhiere a la semilla; las alas son de color naranja marrón a marrón rojizo oscuro, y su tamaño es de 20 a 25 mm de largo y de 12 a 15 mm de ancho; con dos apéndices delgados y huecos que envuelven los márgenes de las semillas al encontrarse bien adheridas; para esta especie de pino en promedio 1 kg tiene 3,000 semillas (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991).

La madera de *Pinus coulteri* es ligera, suave, no muy fuerte, frágil, y de grano grueso, su color es rojo claro, con una albura casi blanca y espesa, contiene grandes bandas visibles muy resinosas de células pequeñas, se le notan anillos anuales comúnmente angostos (Hall y Maxwell, 1911; Sargent, 1897).

2.2 Importancia de *Pinus coulteri* D. Don.

A pesar de que *Pinus coulteri* no es de importancia comercial, tiene un valor como cubierta vegetal para el suelo y es una especie que influye directa e indirectamente en la posible adaptación de otras plantas y animales, por lo que puede ser una buena opción en plantaciones forestales con fines de restauración, ya que muestra potencialidades para regiones semiáridas, con condiciones pobres

y para elevaciones por debajo del rango de especies con valor comercial (Munns, 1921; Spurr y Barnes, 1980).

En algunas localidades el tronco corto de este árbol ha sido ocupado en cercas, establos, cobertizos, y canales de riego. Una cantidad más grande ha entrado para leña, donde ese uso es bastante rentable cuando es accesible para el mercado. También se quema algunas veces para carbón, pero es raro que se le de ese uso en la actualidad (Hall y Maxwell, 1911).

Por otra parte la mayoría de las poblaciones de este pino son muy pequeñas y aisladas, su madera que es blanda se usa sólo ocasionalmente para leña, las semillas son recolectadas algunas veces como alimento por los nativos, aunque la cubierta de la semilla es muy dura y gruesa. Desde que se conoce la hibridez natural con *Pinus jeffreyi*, parece que las selecciones de esos árboles podrían tener un importante potencial para la plantación de muchas zonas montañosas particularmente en el Norte de Baja California (Perry, 1991).

A pesar de que *Pinus coulteri* tiene una forma menos beneficiosa que otros pinos desde un punto de vista comercial, puede ser utilizado en un programa de mejoramiento genético, por ser resistente a la plaga del gorgojo de la reproducción del pino (*Cylindrocopturus eatoni*), volador que ataca a *Pinus jeffreyi* y que algunas veces salta confundido con un saltamontes, pone sus huevos en la corteza del tronco principal y sus ramas formando nichos, cuando las larvas eclosionan forman túneles en las capas externas de las raíces, y así se alimentan finalmente del floema y xilema (Zobel y Talber, 1988).

Dicha resistencia de *Pinus coulteri* se ha visto reflejada en los estudios de híbridos de *Pinus* en el Instituto de Genética Forestal de California, donde el cruce de *P. jeffreyi* x *P. coulteri* es muy prometedor, el híbrido retrocruzado de *Pinus jeffreyi* x (*jeffreyi* x *coulteri*), ha mostrado una resistencia notable (Wright, 1964).

También *Pinus coulteri* es valioso como planta ornamental por la belleza de sus conos grandes, que son más pesados que los de cualquier otro pino, y que este árbol es perfectamente resistente en Europa occidental y central, donde muestra un tamaño grande produciendo su fruto (Sargent, 1897).

2.3 Variación natural en los árboles

La variación natural es el principal elemento para hacer mejoramiento genético mediante la selección y el cruzamiento (Eguiluz, 1990; Nienstaedt, 1990).

Sin embargo Zobel y Talber (1988) afirman que no hay una modo correcto para estimar la variabilidad dentro de rodales naturales, pero el tiempo y la experiencia han manifestado que el muestreo anidado es bueno. Consiste básicamente en determinar la variación geográfica o entre procedencias, sitios dentro de las procedencias, rodales dentro de los sitios, árboles dentro de los rodales y si es posible dentro de los árboles. Pero si bien la variación natural se reconoce a diferentes niveles, la variación más empleada en un programa de mejoramiento genético es la que existe entre poblaciones de diferentes procedencias y entre individuos dentro de una población, ya que estas dos categorías muestran casi el 90% de la toda la variación que existe.

2.3.1 Principales tipos de variación

El fenotipo de un árbol es el que se ve directamente por sus características que pueden ser apreciables por nuestros sentidos (Nienstaedt, 1990). Si el fenotipo de un individuo se representa como fenotipo es igual a genotipo más el ambiente, entonces la variación se expresa como variación fenotípica es igual a variación genética más variación ambiental. Es decir que la variación fenotípica en sí es originada por la variación genética que es definida por todos los genes que contiene un individuo en este caso un árbol, genes que resultan de la mutación, flujo genético, selección natural y deriva génica, también es originada por la variación ambiental que es el resultado de los efectos del ambiente donde reside el individuo y por la interacción de la variación genética y ambiental (Eguiluz, 1990; Zobel y Talber, 1988).

2.3.2 Variación morfológica y su importancia

Un programa de mejoramiento genético fracasaría si la especie carece de variación genética. Es por esta razón que sin este tipo de variación los genetistas pueden hacer muy poco (Ledig, 2004).

Existen diferentes métodos para medir la variación genética, desde la medición de la variación morfológica, hasta por marcadores genéticos moleculares. La variación morfológica nos puede proporcionar información sobre patrones de variación adaptativa. Los datos moleculares pueden facilitar información sobre niveles de flujo génico, deriva génica y endogamia, pero en muchos casos no nos manifiestan patrones de variación adaptativa (Furnier, 2004).

Los patrones de variación dentro de especies son de interés y suma importancia, ya que determinan la manera en que explotamos y conservamos estos recursos (Furnier, 2004).

La variación morfológica puede expresarse en diferencias existentes en el tamaño del árbol, en corteza, hojas, cono, el nivel de coloración en las hojas, corteza, yemas y ramillas (Patiño y Garzón, 1976).

Si se hacen estudios de variación es posible el progreso de cualquier plan de mejoramiento genético o programa de introducción de especies en poblaciones naturales de árboles, con la intención de plantar nuevas áreas, o con el objetivo de conservar los recursos genéticos (Rodríguez, 2004).

Por ejemplo la variación de una especie permite conocer las mejores procedencias para producir genotipos de árboles con mejor adaptabilidad y producción. Si se sabe la procedencia del germoplasma de estos fenotipos se puede mover geográficamente este material con mayor éxito (Cornejo, 1992; Morandini, 1964).

Se ha encontrado variación en la calidad de la semilla y tiempo de maduración entre árboles individuales y rodales de misma especie. En las especies de árboles los frutos y semillas deseables están generalmente en la

parte media y alta de las copas. La variación también se ve en la calidad de la semilla que está en los conos de las coníferas, donde la porción media de éstos es la más productiva en semilla bien desarrollada y con mayor viabilidad (Matthews, 1964).

En general sin variación en adaptación a diferentes ambientes, en velocidad de crecimiento en caracteres de madera y en resistencia a plagas y enfermedades. No se podría generar genotipos con buena adaptación al ambiente, con rápido crecimiento, y con resistencia a los diferentes plagas y enfermedades (Nienstaedt, 1990).

2.3.3 Estudios sobre variación morfológica

Se ha estudiado la variación morfológica de conos y semillas de *Pinus greggii* Engelm, para 11 sitios en su distribución natural, midiendo 12 características morfológicas, de las cuales se derivaron 9 variables más. En el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas para la mayoría de las variables evaluadas a excepción de la longitud y ancho de la semilla que tuvieron pocas diferencias entre sitios y dentro de ellos. Se destaca que al analizar la correlación la longitud del cono tiene asociación baja con los factores ambientales, no así con el ancho del cono y las características de las semillas, y que en el análisis de agrupamiento resultaron 5 grades grupos asociándose algunos grupos del norte y otros del sur, pero los sitios Santa Anita, Coah., Patoltecoya, Pue. y Molango, Hgo. se separaron de los grupos mencionados como ecotipos diferentes (Cornejo, 1992).

Por otra parte se ha evaluado y descrito tipos, patrones y magnitud de variación fenotípica en conos y semillas de *Pinus durangensis* Martínez, en su área de distribución natural, analizando 15 variables morfológicas considerando dos fuentes de variación; árboles dentro de procedencias y entre procedencias. Para las cuales la longitud de ala, índice de forma de ala y longitud de cono presentaron la mayor variación morfológica. Y de acuerdo con el análisis de varianza, 12 de 15 variables presentaron diferencias altamente significativas,

siendo la variación dentro de procedencias la que explico la mayoría de la variación fenotípica total (Romero, 1995).

La variación permite ver las diferencias entre familias, tal es el caso del estudio de variación morfológica de *Pinus patula* Schel. et Cham. hecho en un huerto semillero de tercera generación en el ejido El Berro, Orizaba, Veracruz, México. Donde se tomaron muestras aleatorias de 20 semillas de 20 árboles procedentes del huerto semillero. Las semillas fueron evaluadas tomando peso, longitud y ancho de las semillas, encontrándose un promedio de 0.010 g para peso; 5.50 para longitud y 2.62 para el ancho de semillas. Las diferencias estadísticas para las 3 variables estudiadas fueron altamente significativas, pero cabe destacar que se encontró mayor variación la longitud en las semillas (Castillo *et al.*, 2004).

En otro estudio se midió la magnitud de variación para 9 características morfológicas de acículas, conos y semillas en 20 procedencias de *Pinus engelmannii* Carr., la variación fue altamente significativa en todas las variables. Pero para la mayoría de caracteres la variación entre árboles dentro de procedencias fue mayor que la variación entre procedencias. Sin embargo, en características como número de acículas, longitud de vaina, ancho de acícula, longitud de cono y ancho de semilla, la variación entre procedencias fue mayor del 15%, indicando un nivel moderado de diferenciación entre ellas en estas características. El análisis de correlación mostró que en las características donde se observó mayor variación entre las procedencias, existe un gradiente latitudinal y longitudinal (Rodríguez, 2004).

Para *Pinus arizonica* Engelm. se investigó la variación en poblaciones donde se evaluaron 11 variables morfológicas en acículas y conos para 9 poblaciones naturales. De las variables analizadas, en el largo de acículas, en el número de serraciones por centímetro y en el número de acículas por fascículo se presentó mayor variación entre poblaciones, y la variable con menos variación fue el largo del cono y el largo del umbo. El análisis de varianza dice que 6 de los caracteres evaluados para las acículas resultaron altamente significativos,

mientras que de los 5 caracteres evaluados para los conos, solo 3 fueron significativos (Rodríguez y Capó, 2005).

También para 3 poblaciones de *Picea mexicana* Martínez se evaluó la variación morfológica y anatómica entre y dentro de poblaciones. Investigando 5 variables morfológicas y 5 anatómicas de acículas, 6 variables morfológicas de conos y 4 de semillas. El análisis mostró que en 10 de las variables analizadas la población El Coahuilón es parecida a El Mohinora. Las variables altamente significativas son el número de hileras de estomas en el haz, el largo del cono y grosor de la escama, y las no significativas son las características anatómicas de acículas excepto la frecuencia de canales resiníferos. Los 3 primeros componentes principales explican el 61% de la varianza total. El análisis canónico discriminante halló que la población El Mohinora presenta mayor distancia con La Marta, pero no así con El Coahuilón (Hernández, 2009).

En cuatro poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson se evaluó la variación de 20 caracteres morfológicos y anatómicos en acículas, conos y semillas entre y dentro de las poblaciones. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre poblaciones en 14 de 19 variables evaluadas. Las cinco variables que no presentaron diferencias significativas fueron longitud lateral al lado de la posición del canal resinífero, largo del cono, ancho del cono, longitud del ala con semilla y ancho del ala. Para los componentes principales los 3 primeros explican el 56% de la varianza total. La comparación de medias, los componentes principales y la distancia de Mahalanobis muestran que la Encantada y Agua Lardín son poblaciones más distanciadas (Martínez, 2009).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización

Las poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don se encuentran ubicadas en el estado de Baja California Norte, México. De acuerdo con (Minnich, 1986; Perry, 1991) se localizan 5 poblaciones naturales de esta especie de pino: Rancho San Faustino, Sierra Blanca, Laguna Hanson, Parque Nacional de la Sierra San Pedro Mártir y Santa Catarina. En el Cuadro 1 y Figura 1, se señalan las poblaciones bajo estudio.

Cuadro 1. Localización de las 5 poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California Norte, México.

Población	Propiedad	Municipios	Coordenadas [†] Geográficas	Altitud (msnm)
San Faustino	Privada	Tecate y Ensenada	32°12'1.68" 116°10'37.05"	1280
Sierra Blanca	Federal	Ensenada	32°03'8.07" 116°29'40.41"	1200
Laguna Hanson	Federal	Ensenada	32°03'36.20" 115°56'29.04"	1200-1800
Sierra San Pedro Mártir	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

Fuente: (Minnich, 1986).

[†]: Coordenadas tomadas en campo con el receptor GPS, Datum WGS 84.

msnm: metros sobre el nivel del mar.

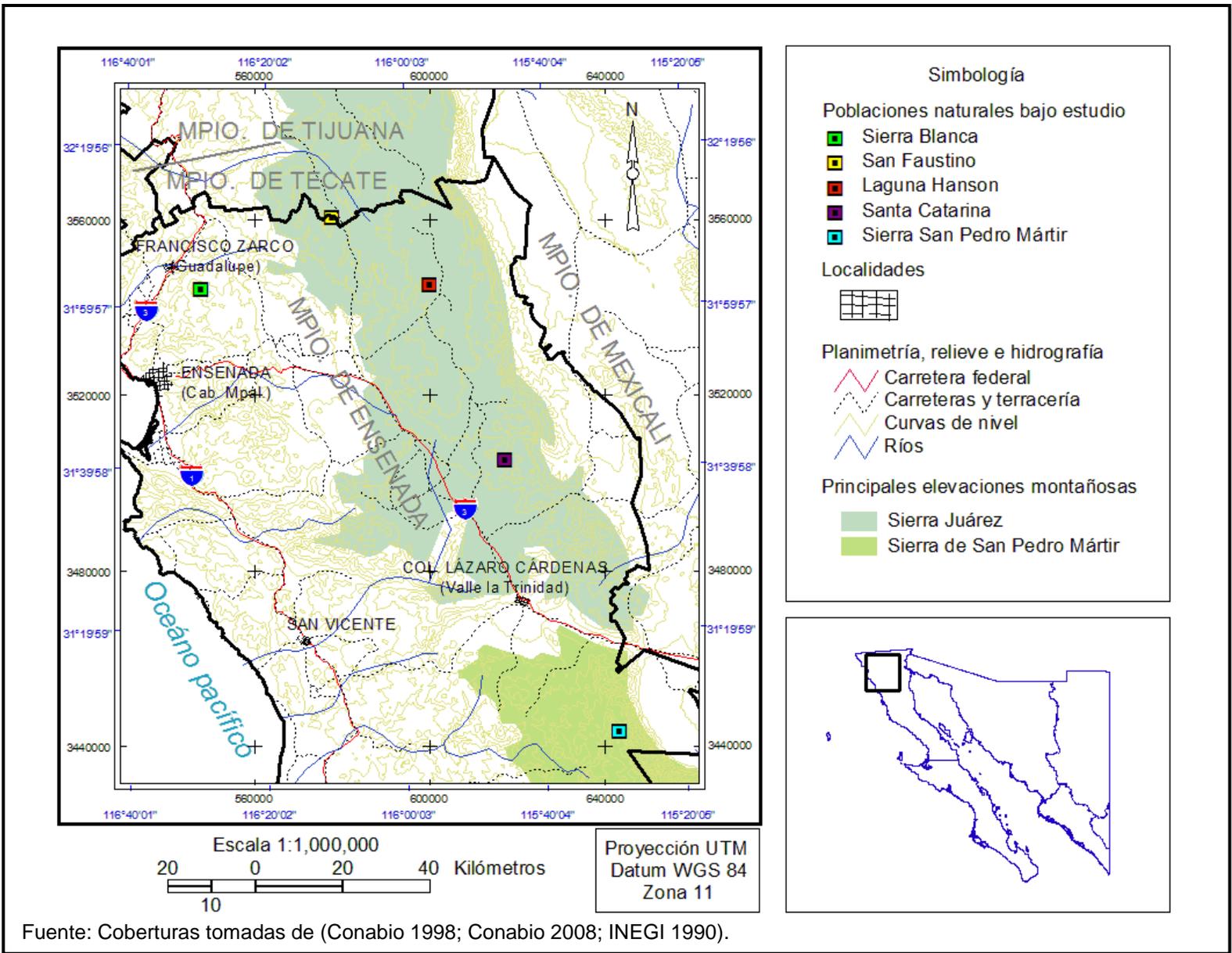


Figura 1. Ubicación geográfica de *Pinus coulteri* D. Don, en Baja California Norte, México.

3.1.2 Características Ecológicas

En la provincia de California el clima es de tipo mediterráneo y varía de húmedo a semiseco y de frío a semicálido (Rzedowski, 1983). Pero de acuerdo con García (1988) en particular para la zona de las poblaciones de Sierra Blanca y San Faustino es (Cs) templado, con lluvias en invierno, con una temperatura media anual entre 12 y 18 °C. Por otra parte para las poblaciones de Laguna Hanson, Santa Catarina y Sierra San Pedro Mártir es (Cb's) semifrío, subhúmedo con verano fresco largo y lluvias en invierno, y la temperatura media anual entre los 5 y 12 °C. En las 5 poblaciones la temperatura del mes más frío se presenta entre -3 y 18 °C, y la temperatura del mes más caliente es por debajo de los 22 °C, con porcentaje de lluvia invernal mayor del 36% del total anual.

La fisiografía de Baja California se compone por un sistema montañoso que recorre a lo largo toda la península, con pendientes regularmente abruptas hacia el Mar de Cortés y menos accidentadas hacia la cuesta opuesta. Destacan la Sierra Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir en la parte norte donde se hizo este estudio (Rzedowski, 1983).

A pesar de que Munns (1921) menciona que se ha encontrado que *Pinus coulteri* crece en una arena suelta granítica y que al parecer se da mejor en un suelo franco granítico. El suelo de las poblaciones de San Faustino y Santa Catarina es regosol eutrítico con textura gruesa, para Laguna Hanson y Sierra San Pedro Mártir es litosol con textura gruesa y en la Sierra Blanca existe un suelo de tipo feozem haplico con textura media (INIFAP y Conabio, 1995). Aun así Farjon y Styles (1997) declaran que este pino se encuentra en zonas rocosas formadas por rocas de granito.

En la hidrología sobresalen los ríos Tijuana, Guadalupe, San Carlos, San Vicente y Santo Domingo que nacen de las principales montañas de la parte norte de Baja California.

Los árboles de *Pinus coulteri* comúnmente se encuentran dispersos en la zona de transición entre chaparral y bosque. En la vegetación de chaparral perennifolio destacan *Adenostoma*, *Rhus*, *Ceanothus*, *Quercus* y otros arbustos de

matorral de *Artemisia*, y en el bosque de coníferas *Pinus coulteri* se asocia a *Pinus Jeffreyi*, *Pinus quadrifolia* y *Pinus juarezensis* (Munns, 1921; Perry, 1991; Rzedowski, 1983).

3.2 Muestreo y colecta de conos

Perry (1991) afirma que las poblaciones de *Pinus coulteri*, presentan escasos frutos. Esto se ha confirmado en los años 2010 y 2011, cuando se recorrieron algunas poblaciones en Baja California Norte con la intención de colectar. En el primer año se colectaron las poblaciones de San Faustino y Santa Catarina, el segundo año las poblaciones de Sierra Blanca, Laguna Hanson y Sierra San Pedro Mártir. La poca abundancia de conos en los árboles fue la principal razón para utilizar un tipo de muestreo selectivo, que obligó a colectar únicamente de los pinos maduros que presentaron conos, y a colectar una diferente cantidad de frutos por árbol. Es decir que se colectaron desde uno hasta once conos por árbol, en cada población (García, 2012).

En las poblaciones de Santa Catarina y Laguna Hanson se colectaron conos de veinticuatro árboles en cada una, para la población de Sierra Blanca fueron veinticinco, en Sierra San Pedro Mártir diecinueve y diecisiete árboles en San Faustino.

La colecta se hizo escalando los árboles y cortando los conos manualmente, donde se utilizó un gancho y una garrocha para los más altos. En el traslado de los conos fue necesario almacenarlos en costales etiquetados con el nombre de la población, el número del árbol y la fecha de colecta.

3.3 Evaluación de variables

Una vez que las muestras fueron trasladadas con los permisos requeridos y con el mayor cuidado al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. Se procedió a hacer la medición de variables para conos, escamas y semillas. Pero antes de todo, fue

necesario clasificar e identificar los conos de cada árbol por población colocándose en bolsas de papel estraza y etiquetándose con la siguiente información: nombre de la especie, nombre de población, fecha de colecta, número de árbol y número de cono. Todo esto con la finalidad de tener un orden en las evaluaciones.

3.3.1 Variables morfológicas evaluadas en conos

Se colectaron 109 árboles en la 5 poblaciones y se tomaron en cuenta 105, ya que los conos de 4 no contaron con semillas llenas, de los 105 se evaluaron 396 conos.

Las primeras variables se obtuvieron de los conos cerrados por árbol. El primer dato que se evaluó fue el peso verde del cono (PVC) utilizando una balanza electrónica con precisión de 0.1 g; el largo del cono (LC) desde la base hasta la parte terminal; y el ancho del cono (AC) en la parte más amplia de éste (Figura 2). El largo y ancho del cono se midió con el apoyo de una regla de 30 cm que se colocó en una caja de madera para hacer medidas con mayor precisión.

Para el cono también se obtuvo el peso seco (PSC) con apoyo de una balanza electrónica con precisión de 0.1 g, aquí es necesario aclarar que ya estaban abiertos y sin la semillas. Antes de pesar los conos fueron sometidos a temperaturas $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en una estufa de secado durante 3 días y se tomaron varios pesos hasta alcanzar uno constante que fue el peso anhidro del cono.

3.3.2 Variables morfológicas evaluadas en escamas

En la evaluación de las escamas, el que los conos estuvieran abiertos representó una ventaja para hacer las mediciones, sin embargo en ocasiones fue mejor despegar la escama del cono con el apoyo de pizas y desarmadores.

Para empezar a cada cono se le eligieron cuatro escamas representativas de la parte más ancha, y a cada escama se le midió su longitud (LE) de la parte donde se encuentra incrustada al cono, hasta la parte más alta de la apófisis;

ancho de la quilla (AQ) lo más amplio; grosor de la escama (GE) parte media, más o menos donde se nota que se encontraba adherida la semilla del ala; y longitud del umbo, quilla y espina (LUQE) estimando la curvatura que hacen juntas estas partes de la escama, con el apoyo de un hilo y después midiendo su longitud (Figura 3). Para todas las mediciones en escama también fue conveniente ocupar el vernier de 0.01mm de precisión.

3.3.3 Variables morfológicas evaluadas en semillas

Para extraer la semilla de los conos serótinicos de *Pinus coulteri*, fue necesario calentar agua a una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y con un colador grande sumergir los conos aproximadamente 5 minutos, este proceso sirvió para abrirlos solo un poco. Para abrir todavía más los conos se metieron en una estufa de secado a una temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un día. Una vez que los conos fueron abiertos lo máximo posible, se procedió a extraer las semillas, este proceso se hizo manualmente con apoyo de desarmadores y pinzas, cabe mencionar que en ocasiones se requirió despedazar el cono, pero así también fue necesario almacenar cuidadosamente las partes de cada cono que fue despedazado, ya que su pérdida representa un sesgo al evaluar el peso seco del cono.

Las semillas extraídas de cada cono fueron colocadas en bolsas de plástico y se identificaron con los mismos datos que las bolsas de papel donde se metieron los conos inicialmente. Los datos son: el nombre de la especie, nombre de población, fecha de colecta, número de árbol y número de cono.

Las variables evaluadas en las semillas fueron la longitud (LS); ancho de la semilla (AS) parte que se nota más ancha; grosor de la semilla (GS); longitud del ala con la semilla (LALA); y ancho del ala (AALA) parte más amplia (Figura 4). Para la medición de estos datos fue necesario contar con un vernier digital con precisión a 0.01 mm.

Después fue preciso quitar las alas y separar las semillas llenas de las vanas y dañadas; la separación se hizo por medio de un separador de semillas por aire para las dos poblaciones colectadas en el 2010 (García, 2012), y para las tres

poblaciones colectadas en el 2011 la separación se realizó manualmente mediante el método del alcohol, sumergiéndose las semillas llenas y quedando a flote las vanas. Posteriormente se contabilizaron el total de semillas llenas para cada cono, de cada árbol en las cinco poblaciones, proceso que también se hizo manualmente y enseguida se obtuvo el peso total de las semillas llenas con una balanza de precisión de 0.01 g, esta variable sirvió para obtener el peso en 1000 semillas llenas (PMILS) de acuerdo a las reglas de la Asociación Internacional para el Ensayo de Semillas (ISTA) y mediante la siguiente regla de tres simple.

$$PMILS = (1000 \times PM) / NS$$

Donde:

PMILS = peso en mil semillas llenas.

PM = peso de la muestra de semillas.

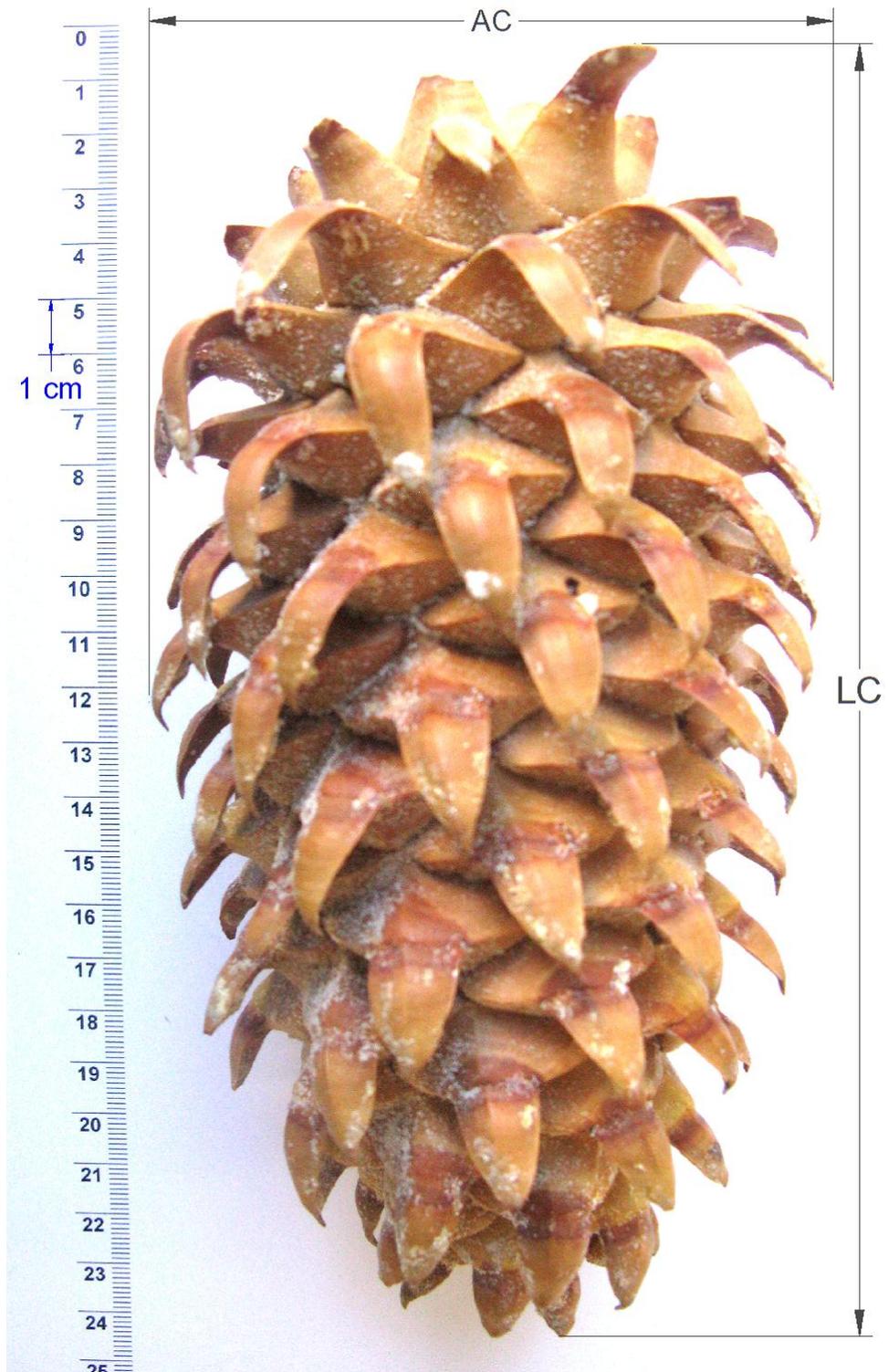
NS = número de semillas de la muestra.

Después de evaluar las semillas se requirió meterlas a refrigeración a 4°C con la intención de conservarlas.

3.4 Análisis estadístico

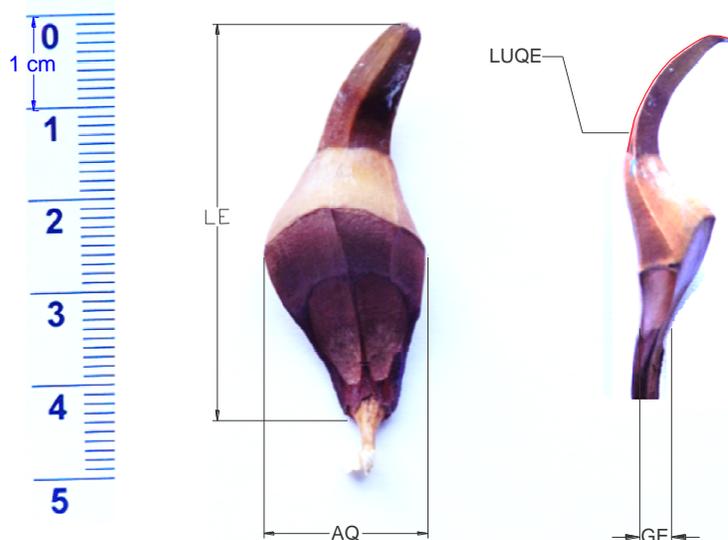
3.4.1 Verificación de normalidad

A pesar de que todas las variables son continuas fue necesario realizar una prueba para comprobar la normalidad para cada una de las características, utilizando como apoyo el programa SAS System or Windows 9.0, con el procedimiento Proc univariate que verificó la normalidad mediante el análisis del histograma, del gráfico de probabilidad normal y del diagrama de caja. Es necesario hacer esto ya que en los casos donde las variables no muestran normalidad se utiliza la transformación de Box y Cox (1964), para normalizarlas, pero estos casos se presentan más a menudo con otro tipo de variables no medibles.



LC = Longitud del cono (mm); AC = Ancho del cono (mm).

Figura 2. Características morfológicas del cono de *Pinus coulteri* D. Don.



LE = Longitud de la escama (mm); AQ = Ancho de la quilla (mm); GE = Grosor de la escama (mm);
 LUQE = Longitud del umbo, quilla y espina (mm).

Figura 3. Características morfológicas de la escama de *Pinus coulteri* D. Don.



LS = Longitud de la semilla (mm); AS = Ancho de la semilla (mm); GS = Grosor de la semilla (mm);
 LALA = Longitud del ala con la semilla; AALA = Ancho del ala (mm).

Figura 4. Características morfológicas de la semilla de *Pinus coulteri* D. Don.

3.4.2 Análisis de varianza

Se realizó el análisis con el procedimiento Proc mixed de SAS System for Windows 9.0 y se hizo el cálculo para probar si las medias de las 5 poblaciones en este caso de árboles son iguales o diferentes, y los resultados de los cálculos se expresaron en una tabla de ANOVA, para verificar la significancia (Ferreira, 1996), el modelo ocupado fue el siguiente.

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + A_{j(i)} + \varepsilon_{k(ij)}$$

Donde:

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

M = Valor promedio de la característica.

L_i = Efecto aleatorio de la i-ésima población.

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

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

3.4.3 Análisis Multivariado

Se verificó un análisis de componentes principales para examinar las relaciones entre el conjunto de variables cuantitativas que de alguna manera aportan más a la variación, y se examinaron los datos con la intención transformar el conjunto de variables correlacionadas en un conjunto menor no correlacionado (Johnson, 2000).

Se hizo el procedimiento Proc Princomp en el programa SAS System for Windows 9.0, para obtener los componentes principales, y se graficaron el 1 y el 2 (Johnson, 2000).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Normalidad en los datos

La prueba de normalidad mediante el procedimiento Proc univariate normal plot realizada con el programa SAS System for Windows 9.0 expresó que las 14 variables evaluadas tienen una tendencia normal, por lo que no es necesario hacer algún tipo de transformación.

Este procedimiento comprobó la normalidad, con el ajuste a un nivel de significancia de 0.05. El histograma y el diagrama de caja permitieron ver que la forma en que se distribuyen los datos es parecido a la campana Gauss, por lo que cada una de las variables mostraron buena asimetría y kurtosis, sin puntos totalmente alejados de las medias, encontrándose dentro del rango de -0.5 a 0.5, también se analizó el gráfico de probabilidad normal donde se observó que los datos cumplen con la teoría de distribución normal, de tal forma que los puntos se aproximan a una línea recta.

La principal razón de la normalidad en los datos es que todas las variables son continuas y que el tamaño de muestra es grande (Snedecor y Cochran, 1981)

4.2 Comparación entre variables de las poblaciones

El análisis de varianza ha encontrado que en las 14 características morfológicas de las 5 poblaciones existen diferencias altamente significativas, con una confiabilidad del 95%, como se presenta en los estudios de variación morfológica de conos y semillas en otras especies del género *Pinus* (Castillo *et al.*, 2004; Cornejo, 1992; Romero, 1995).

La prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de comparación de medias ha mostrado que las variables morfológicas longitud del ala con la semilla (LALA), longitud de la semilla (LS), grosor de la semilla (GS), diámetro del cono (DC) y longitud del umbo, quilla, y espina (LUQE), son las que más distinguen una

población de otra, por representar una diferencia entre poblaciones más notable, porque a cada población le corresponde una categoría distintiva (Cuadro 2).

Las variables morfológicas longitud del cono (LC), diámetro del cono (DC), peso verde del cono (PVC), peso seco del cono (PSC), muestran que la población Sierra San Pedro Mártir, es diferente de las demás poblaciones. La longitud del cono (LC) muestra la similitud entre las poblaciones de San Faustino y Sierra Blanca, así como que Laguna Hanson y Santa Catarina también son iguales. Por otra parte para el peso verde del cono (PVC) y peso seco del cono (PSC), muestran que todas las poblaciones son iguales a excepción de Sierra San Pedro Mártir (Cuadro 2).

Para la variable morfológicas longitud de la escama (LE), las poblaciones Sierra San Pedro Mártir y Sierra Blanca son diferentes de las demás y entre ellas, así San Faustino, Laguna Hanson y Santa Catarina son iguales. El grosor de la escama (GE) revela que Sierra Blanca, Sierra San Pedro Mártir y Santa Catarina son iguales, mientras que Laguna Hanson es igual a San Faustino, a Sierra Blanca y a Santa Catarina. El ancho de la quilla (AQ) nos dice que Sierra San Pedro Mártir es diferente de todas, que San Faustino, Sierra Blanca y Santa Catarina son iguales, mientras que Laguna Hanson solo es igual a Sierra Blanca. Por último la longitud del umbo, quilla y espina (LUQE) expresa que San Faustino es diferente de Sierra San Pedro Mártir y Santa Catarina, pero igual a Sierra Blanca y Laguna Hanson, Sierra Blanca y Santa Catarina son iguales a Sierra San Pedro Mártir y Laguna Hanson, pero estas 2 últimas son diferentes (Cuadro 2).

En las variables longitud de la semilla (LS), ancho de la semilla (AS), grosor de la semilla (GS), longitud del ala con la semilla (LALA), ancho del ala (AALA) y el peso de mil semillas (PMILS), muestran claramente que la población Sierra San Pedro Mártir es diferente de la demás. La longitud de la semilla (LS) y el grosor de la semilla (GS), expresan que Laguna Hanson solo es iguala a San Faustino, sin embargo San Faustino también es igual a Sierra Blanca y a Santa Catarina. En el ancho de la semilla (AS) se ve que Laguna Hanson y Santa Catarina son diferentes, pero que estas dos poblaciones son iguales a San Faustino y Sierra

Cuadro 2. Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) de comparación de medias entre 5 poblaciones naturales de *Pinus coulteri* D. Don en Baja California, evaluadas durante la colecta 2010 y 2011.

Características del árbol	Variable, abreviatura y unidad de medida	Poblaciones				
		San Faustino	Sierra Blanca	Laguna Hanson	Sierra San Pedro Mártir	Santa Catarina
Cono	Longitud del cono (LC, mm)	203.29±5.3 ^{¶a†}	202.04±5.0a	177.57±6.3b	148.67±5.5c	170.87±4.2b
	Diámetro del cono (DC, mm)	118.53±2.5ab	107.87±2.6b	119.17±3.0a	91.38±3.4c	111.67±2.2b
	Peso verde del cono (PVC, kg)	0.620±0.03 ^a	0.602±0.03a	0.600±0.03a	0.336±0.02b	0.543±0.02a
	Peso seco del cono (PSC, kg)	0.530±0.02 ^a	0.498±0.02a	0.488±0.03a	0.280±0.02b	0.466±0.02a
Escama	Longitud de la escama (LE, mm)	39.22±0.9b	42.26±0.9a	38.31±0.8b	29.90±1.1c	36.85±0.06b
	Grosor de la escama (GE, mm)	6.29±0.1 ^a	5.82±0.1bc	6.06±0.1ab	5.54±0.1c	5.86±0.1bc
	ancho de la quilla (AQ, mm)	23.31±0.4b	23.96±0.3ab	25.14±0.4a	18.83±0.6c	23.07±0.4b
	Longitud del umbo, quilla y espina (LUQE, mm)	15.57±0.7 ^a	13.62±0.5abc	15.12±0.7ab	12.61±0.5c	13.62±0.6bc
Semilla	Longitud de la semilla (LS, mm)	12.78±0.2ab	13.34±0.2a	12.30±0.2b	10.65±0.2c	13.07±0.2a
	Ancho de la semilla (AS, mm)	7.58±0.1ab	7.54±0.1ab	7.24±0.1b	6.61±0.1c	7.76±0.1a
	Grosor de la semilla (GS, mm)	4.87±0.07ab	4.99±0.1a	4.70±0.08b	4.11±0.07c	5.07±0.09a
	Longitud del ala con la semilla (LALA, mm)	32.12±0.7ab	33.94±0.8a	28.79±0.7c	25.81±0.7d	30.09±0.5bc
	Ancho del ala (AALA, mm)	11.25±0.3ab	11.72±0.2ab	11.98±0.2a	9.90±0.3c	11.20±0.2b
	Peso de mil semillas (PMILS, g)	228.98±9.8b	266.15±11.3a	236.10±10.4b	160.94±8.4c	256.19±11.8ab

†: Promedios con diferentes letras son significativamente diferentes para cada variable de acuerdo con la prueba DMS ($p \leq 0.05$).

¶: Error estándar.

Blanca. La longitud del ala con la semilla (LALA), denota la igualdad de San Faustino con Sierra Blanca, y Laguna Hanson con Santa Catarina. El ancho del ala (AALA) muestra que Laguna Hanson es diferente de Santa Catarina, pero que estas dos poblaciones son parecidas a San Faustino y Sierra Blanca. Y el peso de mil semillas (PMILS), hace ver que San Faustino es igual a Laguna Hanson y a Santa Catarina, sin embargo Santa Catarina también es igual que Sierra Blanca (Cuadro 2).

De acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) en la mayoría de las variables por lo menos 1 o 2 de las 5 poblaciones muestran que nos son iguales, solo que en cada variable se expresa de forma diferente, esto lo explicar el ANOVA. Se destaca que en las variables del cono y la semilla la población de Sierra San Pedro Mártir no es igual a las demás, la principal razón puede ser que los conos y las semillas son más pequeños a diferencia de las demás poblaciones, posiblemente esto está relacionado a que los árboles colectados también tienen alturas entre los 3 y 5 metros y las demás poblaciones alturas de 10 y hasta 25 metros en algunos casos. También es importante mencionar que en algunas variables como el peso verde del cono (PVC) y el peso seco del cono (PSC), todas las poblaciones son iguales a excepción de la población Sierra San Pedro Mártir, esto es porque ésta variables tienen una alta correlación, y así también sucede para otros casos pero solo se igualan 2 ó 3 de las 5 poblaciones.

4.3 Componentes Principales

El análisis mostró que tan solo el primer componente principal explica el 66% de la variación total encontrada, mientras que el segundo explica el 9% de dicha variación, quiere decir que tan solo el primero expresa 6 veces más la variación que el primero (Cuadro 3).

Las variables que muestran mayor correlación positiva al componente principal 1 son la longitud del cono (LC), peso verde del cono (PVC), peso seco del cono (PSC), longitud de la escama (LE), ancho de la quilla (AQ), y el peso de

mil semillas (PMILS). Para el componente 2 el diámetro del cono (DC) y la longitud del umbo, quilla y espina (LUQE). Y en el componente 3 el ancho de la semilla (AS) y el grosor de la semilla (GS). Todo esto tomando como criterio los valores de correlación mayor o igual a 0.28 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Prueba de matriz de correlación de los eigenvalores (autovalor) de *Pinus coulteri* D. Don.

Componentes	Autovalor	Diferencia	Proporción	Acumulada
1 [†]	9.29	8.06	0.66	0.66
2 [†]	1.23	0.44	0.09	0.75
3	0.79	0.22	0.06	0.81
4	0.57	0.02	0.04	0.85
5	0.55	0.14	0.04	0.89
6	0.40	0.06	0.03	0.92
7	0.35	0.09	0.02	0.94
8	0.25	0.09	0.02	0.96
9	0.17	0.04	0.01	0.97
10	0.13	0.01	0.01	0.98
11	0.12	0.03	0.01	0.99
12	0.09	0.03	0.01	1.00
13	0.06	0.06	0.00	1.00
14	0.01		0.00	1.00

[†]: Componentes principales con mayor porcentaje de variación.

Se graficaron los valores de los componentes 1 y 2, donde se ve que en el componente 1, la población Sierra San Pedro Mártir se separa de las demás poblaciones, pero lo más marcado es el mayor alejamiento que tiene con la población de San Faustino, esto se puede ver con un contorno punteado que encierra a las 2 poblaciones (Figura 5).

Para el componente 2 se nota que las poblaciones se distribuyen un tanto más uniformes, con algunos puntos aberrantes (outliers), pero aun así existe una separación más marcada entre las poblaciones de Santa Catarina y Sierra San Pedro Mártir (Figura 5).

Cuadro 4. Correlaciones de variables con los componentes principales de *Pinus coulteri* D. Don.

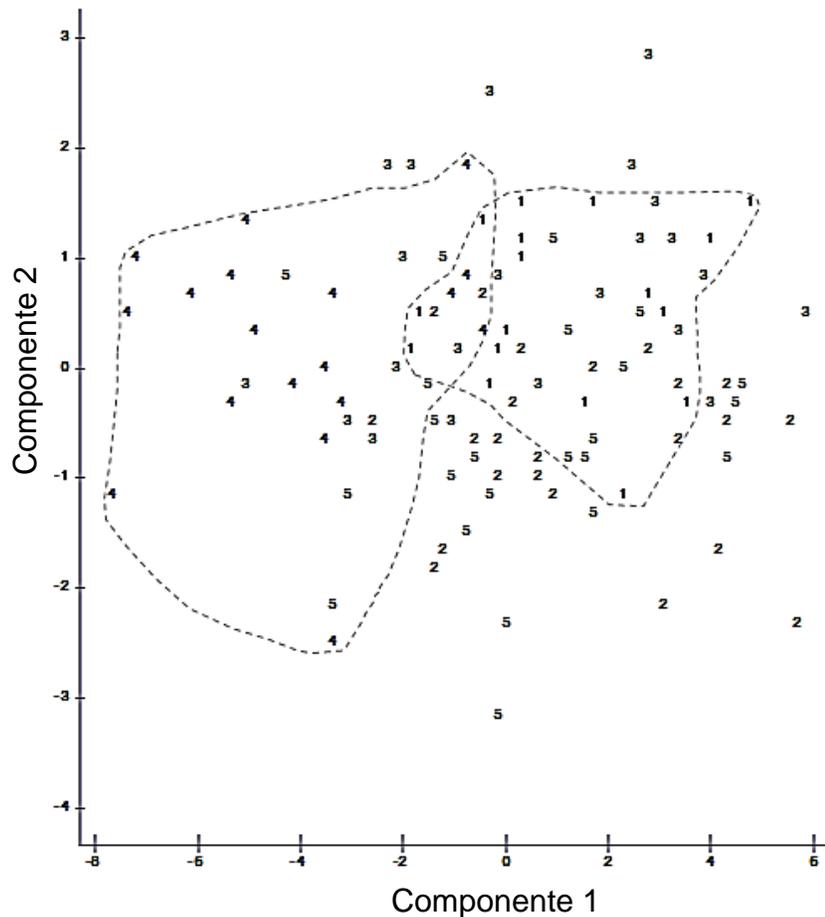
Característica del árbol	Variable (abreviatura)	Componente principal 1	Componente principal 2	Componente principal 3
Cono	Longitud del cono (LC)	0.282 [†]	0.104	-0.397 [†]
	Diámetro del cono (DC)	0.252	0.285 [†]	0.079
	Peso verde del cono (PVC)	0.303 [†]	0.171	-0.217
	Peso seco del cono (PSC)	0.304 [†]	0.159	-0.200
Escama	Longitud de la escama (LE)	0.280 [†]	-0.077	-0.337 [†]
	Grosor de la escama (GE)	0.212	0.270	0.211
	Ancho de la quilla (AQ)	0.285 [†]	0.110	0.090
	Longitud del umbo, quilla y espina (LUQE)	0.140	0.641 [†]	0.261
Semilla	Longitud de la semilla (LS)	0.266	-0.343 [†]	0.036
	Ancho de la semilla (AS)	0.265	-0.258	0.460 [†]
	Grosor de la semilla (GS)	0.268	-0.285 [†]	0.343 [†]
	Longitud del ala con la semilla (LALA)	0.274	-0.235	-0.374 [†]
	Ancho del ala (AALA)	0.274	-0.020	0.138
	Peso de mil semillas (PMILS)	0.293 [†]	-0.177	0.161

[†]: Variables con mayor correlación a cada componente principal.

De acuerdo al análisis de componente principales y la gráfica de éstos, se puede notar que las poblaciones se distribuyen de forma similar al análisis de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), tal como pasa con estudio de *Picea mexicana* Martínez (Hernández, 2009). La población Sierra San Pedro Mártir es la que se aleja de las demás. Otras razones que pueden influir en esto, es que la densidad de árboles en esta población es menor, posiblemente 20 árboles por ha, mientras que en la otras 4 la densidad puede ser de 80 árboles por ha, haciendo una aproximación de acuerdo a lo visto en las visitas del 2010 y 2011.

También sería importante saber la edad de los árboles para cada población esto podría darnos una idea del supuesto de que los árboles más jóvenes produzcan conos menos desarrollados.

Si se analizaran las características ecológicas, podemos decir que la población Sierra San Pedro Mártir se encuentra en una altitud mayor, es la única que su exposición es hacia el Golfo de California (Mar de Cortés), las demás están expuestas hacia el Océano Pacífico, además de encontrarse más hacia el sur (Minnich, 1986; Rzedowski, 1983). Todo esto hace que la temperatura y humedad sean diferentes, y cabe la posibilidad que reflejen varios tipos de vegetación, tamaño de las plantas, frutos y semillas, como lo mencionan Peinado *et al.* (1994). sobre la correlación que existe entre las comunidades vegetales con determinados intervalos termoclimáticos, y la influencia en las zonas donde se distribuyen con la orientación y altitud.



1 = San Faustino; 2 = Sierra blanca; 3 Laguna Hanson; 4 = Sierra San Pedro Mártir; 5= Santa Catarina.

Figura 5. Gráfica comparativa de los componentes principales 1 y 2, para las 5 poblaciones de *Pinus coulteri* D. Don.

5 CONCLUSIONES

Las características morfológicas evaluadas en *Pinus coulteri* son altamente significativas entre poblaciones.

Las poblaciones de San Faustino y Sierra Blanca son las que más sobresalen al tener los promedios con mayor valor, por tener los conos y semillas más desarrollados.

La Población de Sierra San Pedro Mártir es la que más se aleja de las demás en cuanto a variación morfológica, por tener los frutos y semillas más pequeños.

La población de San Faustino y Sierra San Pedro Mártir son las que se alejan más en cuanto a diferencia morfológicas, así también en cuanto a la latitud desde el punto de vista geográfico.

6 RECOMENDACIONES

Con el propósito de complementar la información morfológica de conos y semillas en este estudio, se recomienda estudiar la variación morfológica y anatómica de acículas de las 6 poblaciones existentes en Baja California, así como estudios de marcadores genéticos moleculares con el propósito de conocer la variación fenotípica y genética de la especie, complementando la información básica para establecer estrategias de conservación de la especie

Es necesario estimar la edad de los árboles seleccionados en estas poblaciones ya que esta variable tiene relación con el tamaño de árboles y frutos.

Para la apertura de los conos serótinicos en este estudio es necesario situar el agua y la estufa a las temperaturas recomendadas, ya que se hicieron varias pruebas para ver las condiciones mínimas requeridas para abrir los conos, de no ser así y ocupar temperaturas más altas, posiblemente la apertura del cono sea más rápida, pero se corre el riesgo de dañar las semillas, haciendo que éstas pierdan la viabilidad.

7 LITERATURA CITADA

- Bell, R. 1968. Variación y clasificación de las plantas. Traductor S. Martínez C. Herrero hermanos sucesores. México. 142 p.
- 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.
- Castillo T., J., L. Mendizábal H., y E. O. Ramírez G. 2004. Variación de semillas de *Pinus patula* Schl. et. Cham. Procedentes de un huerto semillero de tercera generación en Orizaba, Veracruz, México. *Foresta veracruzana*. 6 (2): 27-30.
- Conabio. 1998. Curvas de nivel para la República Mexicana. Escala 1:250000. Extraído del Modelo Digital del Terreno. INEGI. México. [Archivo en línea en formato Vectoriales (Arcview)]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible: en http://www.conabio.gob.mx/información/metadatos/gis/cni250kgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Conabio. 2008. División política estatal. Versión 2. Escala 1:250000. Modificado de conjunto de datos vectoriales y toponimia de la carta topográfica. Serie III. INEGI (2003-2004). Marco Geoestadístico Municipal, INEGI (2005). Escala 1:250000. México. [Archivo en línea en formato Vectoriales (Arcview)]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/información/metadatos/gis/destdv250k_2gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Cornejo M., G. 1992. Variación morfológica de conos y semillas en once poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 71 p.

- Delgadillo R., J. 2004. *Pinus coulteri*. Actualización de las especies de plantas incluidas en la NOM-059-ECOL-2000. Herbario BCMEX, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Bases de datos SNIB-Conabio. Proyecto W037. México. D. F. 6 p.
- Eguiluz P., T. 1990. Importancia de la variación natural. *In*: Memoria mejoramiento genético y plantaciones forestales. T. Eguiluz P. y A. Plancarte B. Editores. Ed. Centro Genética Forestal, A. C. Lomas de San Juan, Chapingo. pp. 78-88.
- 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.
- Ferreira R., O. 1996. Métodos estadísticos aplicados a la medición forestal. Siguatepeque, Honduras. 123 p. Inédito.
- Furnier, G. R. 2004. Métodos para medir variación genética en las plantas. *In* Manejo de Recursos Genéticos Forestales, segunda edición. Vargas H., J. Jesús, B. Bermejo V.† y F. Thomas Ledig (eds.). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp. 22-29.
- García M., V. 2012. Indicadores reproductivos *Pinus coulteri* D. Don de conos y semillas en poblaciones naturales de Baja California. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 13 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed.

Secretaría de la Presidencia. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México. 217 p.

González-Abraham C., E., P. Garcillán P., y E. Ezcurra. 2010. Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 87: 69-82.

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., D. 2009. Variación morfológica y anatómica de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 52 p.

INEGI. 1990. Hipsometría. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. [Archivo en línea en formato Vectoriales (Arcview)]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/hipso4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

INIFAP – Conabio. 1995. Edafología. Escalas 1:250000 y 1:1000000. México. [Archivo en línea en formato Vectoriales (Arcview)]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda251mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Primera edición en español. International Thomson Editores. México 566 p.

- Ledig, F. T. 2004. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. In Manejo de Recursos Genéticos Forestales, segunda edición. Vargas H., J. Jesús, B. Bermejo V.† y F. Thomas Ledig (eds.). Colegio de Postgraduados, Montecillo, México y Comisión Nacional Forestal, Zapopan, Jalisco. pp. 07-20.
- Martínez V., R. 2009. Variación morfológica y anatómica de *Picea martinezii* T. F. Patterson en cuatro poblaciones naturales de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 53 p.
- Matthews, J. D. 1964. Producción y certificación de semillas. Unasyuva - No. 73-74 - Reunión FAO/IUFRO sobre genética forestal. Unasyuva 18 (2-3): s.p [en línea]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/03650s/03650s0b.htm#10>. producción y certificación de semillas
- McCune, B. 1988. Ecological diversity in North American Pines. American Journal of Botany. 75 (3): 353-368.
- 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. Madroño 34: 98-127.
- Morandini, R. 1964. Genética y mejora de las especies exóticas forestales. Unasyuva - No. 73-74 - Reunión FAO/IUFRO sobre genética forestal. Unasyuva 18 (2-3): s.p. [en línea]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013].

Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/03650s/03650s06.htm#5>.
genética y mejora de las especies exóticas forestales

Munns, E. N. 1921. Coulter Pine. *Journal of Forestry* 19: 903-906.

Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. *In* Memoria mejoramiento genético y plantaciones forestales. T. Eguiluz P. y A. Plancarte B. Editores. Ed. Centro Genética Forestal, A. C. Lomas de San Juan, Chapingo. pp. 16-23.

Patiño V., F y J. C. Garzón R. 1976. Manual para el establecimiento de ensayos de procedencias. Boletín divulgativo No. 43 Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaria Nacional Forestal y de la Fauna. INIF. México. 1 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.

Perry, J. P. 1991. *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, Oregon, U.S.A. 231 p.

Rodríguez G., A. 2004. Variación de nueve caracteres morfológicos de acículas, conos y semillas de *Pinus engelmannii* Carr en el estado de Durango. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México. 68 p.

Rodríguez, L. R. y M. A. Capó A. 2005. Morfología de acículas y conos en poblaciones naturales de *Pinus arizonica* Engelm. *Revista Ra Ximhai*. Universidad Autónoma Indígena de México. El Fuerte, México. 1 (1): 131-152.

Romero M., R. 1995. Variación morfológica en conos y semillas en poblaciones naturales de *Pinus durangensis* Martínez. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo. México. 94 p.

- Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Sargent, C. 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.
- 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. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. 30 de diciembre de 2010. México. 78 p.
- Snedecor, G. W. y W. G Cochran. 1981 Métodos estadísticos. Traductor J. A. Reinoso F. 8 Ed. Cecs. México. 703 p.
- Spurr, S. H., y B. V. Barnes 1980. Ecología forestal. Traductor C., L. Raigorodsky Z. AGT EDITOR, S. A. México. 690 p.
- Wright, J. W. 1964. Hibridación entre especies y razas. Unasyuva - No. 73-74 - Reunión FAO/IUFRO sobre genética forestal. Unasyuva 18 (2-3): s.p. [en línea]. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2013]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/03650s/03650s04.htm#3>. Hibridación entre especies y razas
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Traductor M. Guzmán O. Limusa. México. 545 p.