



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

**VARIACION MORFOLOGICA EN ACICULAS, CONOS Y SEMILLAS, Y
EVALUACION DE UN ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus radiata* var.
cedrosensis (Howell) Axelrod**



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES**

**PRESENTA:
ROSA ISELA QUIROZ VÁZQUEZ**

C.1



Septiembre, 1998
Chapingo, Estado de México

871411

**VARIACION MORFOLOGICA EN ACICULAS, CONOS Y SEMILLAS, Y
EVALUACION DE UN ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus radiata* var.
cedrosensis (Howell) Axelrod.**

Tesis realizada por ROSA ISELA QUIROZ VAZQUEZ bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES



DIRECTOR: DR. BASILIO BERMEJO VELAZQUEZ



ASESOR: DR. HUGO RAMIREZ MALDONADO



ASESOR: DR. DIODORO GRANADOS SANCHEZ

33002

**VARIACION MORFOLOGICA EN ACICULAS, CONOS Y SEMILLAS, Y
EVALUACION DE UN ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus radiata* var.
cedrosensis (Howell) Axelrod.**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de ROSA ISELA QUIROZ VAZQUEZ autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:



PRESIDENTE: DR. BASILIO BERMEJO VELAZQUEZ



ASESOR: DR. HUGO RAMIREZ MALDONADO



ASESOR: DR. DIODORO GRANADOS SANCHEZ

DEDICATORIA

A ANY

**POR ALENTARME CON SU TERNURA EN TODO MOMENTO Y
SER MI MOTIVO MÁS GRANDE DE SUPERACION**

A MIS PADRES

POR SU AMOR INCONDICIONAL

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por apoyarme en la realización de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo por contribuir a mi formación académica.

Al Centro de Genética Forestal A. C. por permitirme hacer uso de sus instalaciones y brindarme todas las facilidades posibles durante el desarrollo del presente estudio, así como al personal que laboraba durante mi permanencia en el mismo.

Al Dr. Basilio Bermejo Velázquez por darme la oportunidad de trabajar bajo su acertada e invaluable dirección.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado por todas sus sugerencias desde el inicio del presente estudio y por dedicar parte de su valioso tiempo en la revisión del presente estudio.

Al Dr. Diodoro Granados Sánchez, por sus acertados comentarios e importantes observaciones.

A mis amigos Manuel Mapula Larreta, José González Avalos y José Rodolfo Goche Tellez por participar en el enriquecimiento de la tesis y apoyarme con su amistad para seguir adelante.

Al Ing. José Rico Cerda por su interés en el estudio y valiosas sugerencias.

Al Laboratorio de Anatomía de la Madera y a todas las personas que trabajan en él por hacer mi estancia agradable y las facilidades prestadas.

Al Mc. Carlos Cintora G. por sus comentarios en el análisis estadístico.

Al Ing. Valentín Reyes Hernández por su ayuda en la búsqueda de material bibliográfico.

Con aprecio a mis compañeros de maestría Rogelio, Rebeca, Juanita, Genaro, Marco, Enrique, Juan Carlos, Mario y Juan por su camaradería.

INDICE DEL CONTENIDO

	Pag.
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ANEXOS.....	x
 RESUMEN.....	 xi
ABSTRACT.....	xii
 I. INTRODUCCION.....	 1
 II. OBJETIVOS.....	 4
 III. REVISION DE LITERATURA.....	 5
3.1 Variación.....	5
3.1.1 Conceptos generales.....	5
3.1.2 Tipos de variación.....	5
3.1.2.1 Variación clinal (continua).....	5
3.1.2.2 Variación ecotípica (discontinua).....	7
3.1.3 Niveles de variación.....	8
3.1.4 Estudios sobre la variación natural de especies de México.....	10
3.2 Pruebas de progenie.....	13
3.2.1 Importancia.....	13
3.2.2 Objetivos de los ensayos.....	14
3.2.3 Tipos de pruebas.....	15
3.2.4 Ensayos de progenie en especies de México.....	16
3.3 <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	20
3.3.1 Descripción de <i>Pinus radiata</i> D. Don.....	20
3.3.2 Distribución.....	21
3.3.3 Importancia.....	22
3.3.4 Genética y Mejoramiento.....	23
 IV. MATERIALES Y METODOS.....	 29
4.1 Descripción del área de colecta.....	29
4.2 Colecta del material biológico.....	31
4.3 Fases de estudio.....	31
4.3.1 Estudio de variación morfológica.....	31
4.3.1.1 Características de acículas.....	33
4.3.1.2 Características de conos.....	35
4.3.1.3 Análisis estadístico.....	37

	Pag.
4.3.1.3.1 Prueba de normalidad.....	37
4.3.1.3.2 Análisis de varianza y modelos estadístico.....	37
4.3.1.4 Análisis de correlación.....	39
4.3.2 Ensayo de progenie.....	39
4.3.2.1 Diseño experimental.....	39
4.3.2.2 Características fisiológicas.....	41
4.3.2.3 Características morfológicas.....	41
4.3.2.4 Análisis estadístico.....	42
4.3.2.4.1 Modelo estadístico.....	42
4.3.2.4.2 Comparación entre medias.....	44
4.3.2.5 Estimación de parámetros genéticos.....	44
4.3.2.6 Análisis de correlación.....	45
V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	46
5.1 Estudio de variación morfológica.....	46
5.1.1 Análisis de normalidad.....	46
5.1.2 Análisis de dispersión y medidas de tendencia central.....	46
5.1.2.1 Características de acículas.....	46
5.1.2.2 Características de conos.....	51
5.1.3 Análisis y componentes de varianza.....	53
5.1.3.1 Características de acículas.....	53
5.1.3.2 Características de conos.....	55
5.1.4 Análisis de correlación.....	55
5.1.5 Generalización de resultados.....	60
5.2 Ensayo de progenie.....	62
5.2.1 Características fisiológicas.....	62
5.2.2 Características morfológicas.....	64
5.2.3 Contribución a la varianza total.....	68
5.2.4 Heredabilidad.....	70
5.2.5 Correlaciones fenotípicas simples.....	73
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
VII. BIBLIOGRAFIA.....	78

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Características generales de los árboles utilizados en el análisis de características morfológicas y anatómicas de acículas, conos y semillas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	32
Cuadro 2 Estructura de los cuadrados medios y estimación de los componentes de varianza para las características de semilla y ala de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	38
Cuadro 3 Características generales de los árboles progenitores del ensayo de progenie de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	40
Cuadro 4 Estructura de los cuadrados medios y estimación de componentes de varianza utilizados en el ensayo de progenie de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	43
Cuadro 5 Probabilidad de distribución normal para las características morfológicas y anatómicas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.	47
Cuadro 6 Medidas de tendencia central y de dispersión de 16 variables morfológicas y anatómicas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	48
Cuadro 7 Análisis de varianza en acículas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	54
Cuadro 8 Análisis de varianza de variables estudiadas en conos de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	56
Cuadro 9 Componentes y análisis de varianza de variables estudiadas en semillas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	57
Cuadro 10 Análisis de correlación para 15 variables y altura sobre el nivel del mar de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	58

	Pag.
Cuadro 11 Medias y valores extremos de porcentaje de emergencia y vigor germinativo en 36 familias de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	62
Cuadro 12 Análisis de varianza y significancia de porcentaje de emergencia y vigor germinativo en 36 familias de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	62
Cuadro 13 Medias y valores extremos en características morfológicas de plántulas en 36 familias de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	65
Cuadro 14 Análisis de varianza y significancia en características morfológicas de plántulas en 36 familias de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	65
Cuadro 15 Componentes de varianza absolutos y en porcentajes en el ensayo de progenie de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod....	69
Cuadro 16 Heredabilidad en el sentido estricto de características morfológicas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	70
Cuadro 17 Correlaciones fenotípicas entre características morfológicas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i> (Howell) Axelrod.....	74

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1 Ubicación geográfica de Isla Cedros.....	30
Figura 2 Diagrama de características de acículas de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i>	34
Figura 3 Diagrama de características de conos de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i>	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Valores promedio por familia en porcentaje de emergencia y vigor germinativo en el ensayo de progenie de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i>	89
Anexo 2 Medias por familia de características evaluadas en el ensayo de progenie de <i>Pinus radiata</i> var. <i>cedrosensis</i>	90

RESUMEN

ROSA ISELA QUIROZ VAZQUEZ

VARIACION MORFOLOGICA EN ACICULAS, CONOS Y SEMILLAS, Y
EVALUACION DE UN ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus radiata* var. *cedrosensis*
(Howell) Axelrod.

(Septiembre de 1998)

(Bajo la dirección del Dr. Basilio Bermejo Velázquez).

El presente trabajo enfoca su interés a *Pinus radiata* var. *cedrosensis* cuya área de distribución natural se localiza en Isla Cedros, B. C. N.; esta investigación consta de dos estudios. En el primero 17 características morfológicas de acículas, conos y semillas fueron analizadas para determinar el patrón de variación de la especie, analizando muestras vegetativas de 32 arboles colectados en Isla Cedros. En el segundo estudio se estableció un ensayo de progenie de medios hermanos, en el Centro de Genética Forestal A. C., Chapingo, México; en el cual se examinaron características fisiológicas y morfológicas en plántulas de 36 familias, así como la estimación de parámetros genéticos en las variables altura, longitud del hipocotilo, número y longitud de cotiledones. La variación encontrada en las características de acículas, conos y semilla es altamente significativa ($p \leq 0.01$). El análisis de correlación no muestra ninguna tendencia con el factor altitud. En el ensayo de progenie las familias presentaron diferencias en características fisiológicas y morfológicas altamente significativas. La mayor heredabilidad en familias, individual y de individuos dentro de familia se presentó en la longitud de cotiledones. La principal contribución a la varianza total fue la del error (varianza dentro de parcelas). Se presentó una correlación positiva alta ($r = .62$) entre la altura y la longitud de cotiledones.

PALABRAS CLAVE: *Pinus radiata* var. *cedrosensis*, variación, ensayo de progenie, heredabilidad, varianza.

ABSTRACT

ROSA ISELA QUIROZ VAZQUEZ

MORPHOLOGICAL VARIATION OF NEEDLES, CONES AND SEEDS, AND
EVALUATION IN AN PROGENY TEST OF *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell)
Axelrod.

(September, 1998)

(Under the direction of the Dr. Basilio Bermejo Velázquez).

The present work focuses its interest to *Pinus radiata* var. *cedrosensis* whose natural distribution area is located in Cedros Island, B. C. N.; such investigation consists of two studies. In the first 17 morphological characteristics of needles, cones and seeds were analyzed to determine the standard variation of the kind, using 32 trees collected in Cedros Island. In the second study was established an progeny test of open-pollinated, in the Centro de Genética Forestal, A. C., Chapingo, México; examining physiological and morphological characteristics seedlings of 36 families, as well as the genetic parameters estimate in height, length hypocotyl, number and length cotyledons. Results showed that the variation found in the characteristics of needles, cones and seed is highly significant ($p \leq 0.01$). The correlation analysis does not show trend with the altitude. In the progeny test the families differed significantly in physiological characteristics and morphological. The great heritability in families, individual and of individuals within family was showed in the cotyledons length. The principal contribution to the total variance was of variance within plots. There was a highly significant ($p \leq 0.05$) positive correlation beetwen high y cotyledons length.

INDEX WORDS: *Pinus radiata* var. *cedrosensis*, variation, progenie test, heritability, variance.

I. INTRODUCCION

Desde hace tiempo los recursos naturales terrestres han sufrido una serie de cambios de tipo ambiental que han provocado una intensa disminución y un gran impacto sobre las masas forestales, trayendo como consecuencia una fuerte erosión genética y una pérdida de biodiversidad, en muchos casos irreparables.

México cuenta con un valioso potencial genético forestal. Especialmente en el género *Pinus*, en el que se estima que más de la mitad del número de especies existentes en el mundo, se encuentran en nuestro país exhibiendo una amplia variabilidad y complejidad en todas sus poblaciones (Jasso et al. 1978; Caballero y Bermejo, 1994).

Desafortunadamente estos recursos naturales han sido sometidos a diferentes presiones ambientales principalmente de tipo antropogénico, las cuales han provocado una drástica reducción en el tamaño y diversidad genética de sus poblaciones, ocasionando que algunos ecotipos estén representados en la actualidad en su mayoría por fenotipos indeseables (Caballero y Bermejo, 1994), o en otros casos se encuentren a punto de desaparecer, perdiéndose con ellos un valioso material genético y un recurso no bien aprovechado en el caso de especies cuyo máximo potencial aún no se ha estudiado.

En virtud de las condiciones que prevalecen en nuestro país, una opción para lograr la conservación genética de los recursos forestales en forma permanente, se puede lograr a través de un manejo y adecuado establecimiento de bancos de conservación *in situ* y/o *ex situ*, dependiendo de los objetivos y de cada una de las características biológicas a conservar (Jasso y López, 1991).

Las plantaciones forestales en el mundo son consideradas como una estrategia para reducir las presiones sobre los bosques naturales, para la conservación de recursos genéticos y aminorar el estrés en el clima global, al tiempo que se consiguen beneficios económicos (Walter y Smith, 1997). Sin embargo, para el establecimiento exitoso de las plantaciones forestales es necesaria una adecuada selección de la fuente de semilla, así como un conocimiento detallado de la variación que presenta el material de selección en su condición natural.

El estudio del germoplasma en los ensayos de vivero e invernadero permite el obtener un conocimiento previo del potencial de variación de la especie para futuros trabajos de selección. A partir del establecimiento de ensayos de progenie es posible obtener la estimación de algunos parámetros genéticos como los componentes de varianza y heredabilidad de diversas variables morfológicas y fisiológicas.

A través de estos conocimientos es posible determinar la magnitud de la variación adaptativa de la especie a diferentes sitios, con el propósito de establecer áreas de

conservación o de manejo *ex situ*, seleccionando además, poblaciones y genotipos superiores para condiciones particulares de plantaciones.

De esta manera se aprovecharán mejor las características biológicas de la especie en su condición natural teniendo información sobre el grado de plasticidad para responder ventajosamente en diferentes tipos de ambientes (Zobel y Talbert, 1994).

El *Pinus radiata*, es la especie más plantada en el mundo, su rápido crecimiento y sus características deseables en calidad para madera y producción de pulpa motivaron su introducción a Australia, Nueva Zelanda, España, Argentina, Chile, Uruguay, Kenia y Sudáfrica (Russell y Honkala, 1990). En la actualidad sólo se distribuye de manera natural en tres áreas, una en la costa central de California en Estados Unidos y dos más en las Islas de Guadalupe y Cedros en México.

Desafortunadamente las diferentes presiones a las que se han sometido a las poblaciones mexicanas las han colocado entre las especies de pinos no solamente raras sino en peligro de extinción (Perry, 1991). El presente estudio tiene como objetivo principal el de obtener información acerca del patrón de variación morfológica en acículas, conos y semillas en árboles progenitores adultos de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod de la Isla de Cedros, así como el de evaluar su progenie y determinar algunos parámetros genéticos en características morfológicas, a fin de establecer una población base con propósitos de conservación genética.

II. OBJETIVOS

Determinar la magnitud y el patrón de variación morfológica en características de acículas, conos y semillas entre árboles de la población de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod.

Estimar los componentes de la variación dentro y entre diferentes familias de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod en características morfológicas y fisiológicas en el crecimiento inicial de plántulas.

Obtener los valores de heredabilidad de acuerdo a la información genética obtenida, para las variables de altura, longitud del hipocotilo, número y longitud de cotiledones.

Establecer una población inicial de plántulas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod con el propósito de obtener una base genética amplia y estable para la conservación *ex situ* de la especie.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1 Variación

3.1.1 Conceptos generales

Las especies vegetales tuvieron un origen común, pero en su evolución, migración, aislamiento, recombinación genética, mutación y selección natural han diversificado a los individuos originando dentro de las especies; razas, variedades, ecotipos y clines, los cuales han respondido en forma diferente a las condiciones ambientales (Plancarte, 1990a). La variación es la ocurrencia de diferencias entre individuos de un mismo grupo. Estas diferencias pueden ser genéticas controladas por el genotipo, o fenotípicas que son la suma de características morfológicas observables producidas por la expresión coordinada de los genes con la restricción impuesta por el ambiente (Gardner et al., 1991).

3.1.2 Tipos de Variación

3.1.2.1 Variación clinal (continua)

Si el factor ambiental forma un gradiente, la variación genética será gradual también y las poblaciones diferenciadas se caracterizarán por cambios continuos de un

área a otra (Nienstaedt, 1990). Si una especie se distribuye continuamente sobre un amplio rango de condiciones ambientales, particularmente de altitud o elevación, estará sujeta a condiciones mas o menos cambiantes de los factores climáticos, en este caso la variación adaptativa tiende a ser continua. La mayoría de los caracteres de importancia económica son cuantitativos y presentan variación continua dentro de una población (Falconer, 1986). Esta variación es típica de la mayor parte de los caracteres de los árboles, debido a la separación simultánea y la interacción armoniosa de muchos genes que afectan un mismo caracter y la variación originada en causas no genéticas (Spurr y Barnes, 1980).

Entre las investigaciones que han revelado este tipo de variación se puede señalar el de Barret (1972) quien realizó un estudio de variación en dieciséis procedencias de *Pinus patula* Schl. Et Cham. analizando veinte caracteres morfológicos de acículas, conos y semillas. Los resultados obtenidos mostraron valores extremos en el Norte por un lado y en el Sur por el otro, con valores intermedios que no permitieron observar grupos discontinuos, aunque en las poblaciones de la región central mostraron en algunas características variación discontinua.

Bermejo (1982), analizó doce características morfológicas de acículas y conos en siete poblaciones de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. y dos poblaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. localizadas en el estado de Chiapas, encontrando un patrón de variación clinal con respecto a la altitud en la longitud de acículas en *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana*.

Bonilla (1993), estudió la variación natural de la longitud de traqueidas de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. a lo largo del eje Neovolcánico, partiendo de una muestra de ciento ochenta árboles de nueve localidades representativas del área de distribución. En general la longitud de las traqueidas de la madera de *Pinus hartwegii* presentó un patrón de variación discontinuo entre las localidades del Este a Oeste a lo largo del eje Neovolcánico; observándose una variación ecoclinal por zonas, sin embargo esta especie mostró un patrón de variación continuo dentro del árbol, aumentando en sentido radial de la medula hacia la corteza, con respecto a la edad.

3.1.2.1 Variación ecotípica (discontinua)

Se encuentra cuando la distribución de las especies es discontinua, separada debido a un factor geográfico o un cambio ambiental discontinuo. La distribución es interrumpida geográficamente y las respuestas de las dos poblaciones son distintivas y no se traslapan (Nienstaedt, 1990).

Yañez (1981), estudió dieciséis características en acículas, conos y madera de *Pinus pseudostrobus* var. *chiapensis* Mtz. Procedente de los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca. Este autor concluyó que existen discontinuidades entre sitios dentro de localidades, así mismo los resultados obtenidos detectaron discontinuidades entre localidades en características como longitud de semilla, forma y longitud de cono y longitud de acículas, que posiblemente obedezcan a la separación de las regiones estudiadas.

Pérez (1984), analizó veintinueve características de acículas y conos de *Pinus hartwegii* Lindl. En poblaciones que se distribuyen a lo largo del eje Neovolcánico. La variación ambiental influyó tanto en las características de las acículas como en las de los conos. El patrón de variación encontrado para las características macroscópicas y anatómicas de acículas fue discontinuo en su distribución geográfica. *Pinus hartwegii* es una especie formada por poblaciones o razas geográficas y altitudinales en cuanto a morfología acicular.

Hernández (1986), realizó un estudio de variación morfológica de veinticinco características de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andr. en procedencias de Chiapas y Oaxaca. El análisis de conglomerados encontró inconsistencias de las variables morfológicas estudiadas indicando un patrón de variación discontinuo entre las diferentes procedencias con un posible origen ecotípico.

3.1.3 Niveles de variación

El conocimiento de la variación genética dentro de una especie es uno de los requisitos más importantes para definir los objetivos de un programa de mejoramiento genético. Generalmente las poblaciones naturales de la especie de interés constituyen la población inicial de los programas de mejoramiento, esto implica que uno de los requisitos importantes al inicio de todo programa es el conocimiento de la magnitud y estructura genética de la variación de la población o poblaciones que se pretendan mejorar (Vargas et al., 1994).

De acuerdo con Zobel y Talbert (1994) la variación natural se presenta en las siguientes categorías:

- 1.- Entre especies.
- 2.- Variación geográfica o de procedencias.
- 3.- Entre sitios dentro de las procedencias.
- 4.- Rodales dentro de los sitios.
- 5.- Árboles individuales.
- 6.- Dentro de los árboles.

Los niveles de variación genética dentro de especies y poblaciones son importantes en el manejo de recursos genéticos, porque la variación sirve como materia prima de la evolución y esta relacionada con la habilidad de las poblaciones para adaptarse a cambios ambientales (Fisher, 1930). En los rodales dentro de un sitio determinado, por lo general, las diferencias genéticas son muy pequeñas especialmente para características morfológicas, pero este no siempre es el caso especialmente cuando el hombre ha intervenido (Zobel y Talbert, 1994).

Los árboles individuales suelen variar bastante entre sí, esencialmente las características cualitativas tales como forma y adaptabilidad, este es el principal tipo de variación genética que el genetista utiliza en un programa de selección y cruzamiento genético. En general la variación geográfica y dentro de árbol explican la mayor parte de la variación genética encontrada dentro de una especie (aproximadamente el 90% de la variación observada) (Zobel y Talbert, 1994).

El estudio de la variación genética de un carácter cuantitativo se basa en la participación de esta variación en componentes atribuibles a diferentes causas. La varianza total es la fenotípica, compuesta a su vez por la varianza genética, ambiental y la interacción entre ambas. La varianza genética se puede dividir en aditiva (causada por efectos acumulados de los loci), y no aditiva; esta última compuesta por dominancia (interacción de alelos dentro de locus) y epistasis (interacción entre loci) (Falconer, 1986).

3.1.4 Estudios sobre la variación natural de especies de México

Bermejo (1986), estudió veintitrés variables morfológicas y anatómicas de conos, acículas y semillas, así como número y longitud de cotiledones, peso específico ponderado y longitud de traqueidas para seis localidades de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en la región central de México. La variación encontrada fue altamente significativa entre localidades y árboles dentro de localidades para la mayoría de las características. La mayor aportación a la varianza total fue la de árboles dentro de localidades. Los resultados obtenidos evidencian la existencia de variación geográfica en la especie con un patrón de variación discontinua el cual origina la determinación de tres regiones de procedencias.

García (1986), analizó la variación morfológica de treinta características en conos, acículas y semillas de tres rodales distribuidos en el área natural de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Todas las características estudiadas presentaron una variación significativa

entre árboles dentro de rodales y sólo la mitad de ellas exhibió diferencias entre rodales. La característica que presentó mayor variación fue la longitud de acículas del segundo año, y la de menor variación fue el número de acículas por fascículo. La mayor fuente de variación se presentó entre árboles de cada rodal. Finalmente concluye que esta especie es una procedencia única con gran variabilidad, en la cual no existen ecotipos definidos.

Placarte (1990b), determinó la variación en longitud de cono y peso de semilla de *Pinus greggii* Engelm. de dos procedencias de Hidalgo y una de Querétaro. La producción de semilla varió considerablemente entre árboles dentro de procedencias y entre procedencias. La variación en longitud de cono y rendimiento en semilla fue alta entre árboles y más uniforme entre procedencias. La mayor fuente de variación para el rendimiento de semilla fue de los árboles entre procedencias.

Silva (1990), analizó quince variables morfológicas en *Pinus oocarpa* var. *ochoterenae* Mart. y *P. tecunumannii* (Schwer.) Eg. y Perry utilizando cinco localidades para cada especie, comprendidas en México y Guatemala. En este trabajo se aplicó un análisis estadístico multivariado donde los resultados obtenidos mostraron que ambas taxa son diferentes siendo las características de los conos (longitud, longitud de apófisis, longitud y ancho de semilla) lo que permitió separarlos taxonómicamente. El mayor componente de variación se presentó entre especies, el segundo nivel de variación se presentó entre localidades dentro de especies. Las localidades muestreadas de *P. tecunumanni* se agruparon en dos procedencias de acuerdo al análisis discriminante

canónico y de conglomerados. En términos generales *P. oocarpa* var. *ochoterenae* mostró mayor variación que *P. tecunumannii*.

Beristain (1992), evaluó la variación morfológica y anatómica de acículas de *Pinus greggii* Engelm. en cuatro poblaciones naturales de los estados de Coahuila, Hidalgo y Querétaro, utilizando una muestra de veinte árboles por procedencia. Todas las características estudiadas mostraron diferencias significativas, tanto para procedencias como para árboles dentro de procedencias. La mayor contribución a la varianza total se presentó entre árboles dentro de procedencias. La longitud de acículas presentó la variación más notable.

Morales (1995), analizó la variación morfológica y anatómica de catorce características de acículas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus cooperi* Blanco en el estado de Durango y cinco poblaciones de *Pinus engelmannii* Carr. del estado de Chihuahua. La variación fue altamente significativa en todas las fuentes de variación. El componente de varianza generalmente fue mayor para árboles dentro de localidades. Para las dos especies el análisis de conglomerados agrupó a las localidades en tres grupos diferentes donde los principales factores de agrupación fueron la precipitación y en menor grado la altitud.

Romero (1995), evaluó la variación fenotípica de *Pinus durangensis* Martínez basándose en quince características de conos y semillas de ocho poblaciones naturales del Estado de Durango y una de Chihuahua. Todas las características estudiadas fueron

altamente significativas en árboles dentro de procedencias y sólo doce de las características presentaron significancia entre procedencias. La precipitación, latitud y longitud fueron los factores que determinaron en mayor medida la variación fenotípica. El análisis de conglomerados separó en un gran grupo todas las procedencias de Durango y en otro la procedencia de Chihuahua.

Santiago (1995), estudió doce características morfológicas y anatómicas de acículas en ocho poblaciones naturales en el Norte de México de *Pinus durangensis* Martínez. Diez de estas características mostraron diferencias significativas de árboles dentro de localidades y nueve de ellas entre localidades. El componente de varianza fue siempre mayor entre árboles dentro de localidades que entre localidades, a excepción de la longitud de acícula.

3.2 Pruebas de progenie.

3.2.1 Importancia

Las pruebas de procedencias y progenies son unas de las bases principales de los programas de mejoramiento genético en todo el mundo, la información obtenida a través de ellas se usa para establecer zonas de mejoramiento, eligiendo las procedencias superiores y seleccionando los árboles individuales para su inclusión en los huertos semilleros y posterior cruzamiento (Johnsen y Major, 1997).

En las etapas iniciales de un programa de mejoramiento, los individuos que se eligen para la obtención de semilla en forma inmediata o para el establecimiento de huertos semilleros y la continuación del programa, generalmente se seleccionan con base en sus características fenotípicas superiores a los árboles vecinos. La única manera de asegurar que las características fenotípicas observadas se deben a factores genéticos es evaluando el comportamiento de estos individuos directamente, mediante clonación o indirectamente a través de la progenie (Vargas, 1997). Estos ensayos proporcionan mas información sobre el genotipo de los árboles selectos, con referencia a su valor genético, que los árboles originales (Mergen, 1959).

3.2.2 Objetivos de los ensayos

Los objetivos más comunes de las pruebas de progenie son (Mckinley, 1983; Clausen, 1990):

- a) Evaluar a los progenitores de acuerdo a su aptitud combinatoria general y realizar aclareos genéticos de los huertos semilleros sobre la base del valor genético de los clones o familias.
- b) Estimar parámetros genéticos.
- c) Producir una población base para selección de generación avanzada.
- d) Estimar directamente la ganancia genética obtenida.
- e) Estimar la interacción genotipo-ambiente, al establecer múltiples repeticiones en tiempo y espacio.

3.2.3 Tipos de pruebas

Las pruebas de progenies para árboles forestales se dividen en dos grupos: de polinización libre y de polinización controlada. En el primer tipo, se colectan semillas de polinización libre de huertos semilleros o de árboles seleccionados en rodales naturales o plantaciones y se mantiene separada por individuo progenitor, el progenitor hembra es el único que se conoce específicamente. Cada conjunto de semillas tendrá al menos la mitad de constitución genética en común, proveniente de la madre, y por lo tanto son medios hermanos (Mergen, 1959; Saenz y Plancarte, 1991). En México este es el principal tipo de prueba que se realiza en las especies forestales.

En el método de cruzas controladas se regula la procedencia del polen siendo ambos progenitores conocidos (Mergen, 1959). El tipo más simple de cruzas controladas es la polimezcla, que produce progenies de medios hermanos. En ésta se utiliza una mezcla de polen de árboles seleccionados por su abundante producción de polen y/o su elevada aptitud combinatoria general (Saenz, 1991). En el resto de las pruebas controladas las progenies constituyen familias de hermanos completos, donde se utilizan diseños que incluyen factorial (completo y desconectado), dialélico (completo, desconectado y parcial), diseño de un solo par y el diseño anidado o jerárquico, los cuales permitirán de manera precisa la estimación de la aptitud combinatoria general y la aptitud combinatoria específica.

3.2.4 Ensayos de progenie en especies de México

En México este tipo de ensayos se ha realizado desde hace poco tiempo relativamente, utilizando especies de importancia económica en las cuales se ha obtenido información substancial sobre diferentes características. Para revestir la importancia de este tipo de pruebas a continuación se mencionan algunos resultados obtenidos por diferentes autores.

López (1986), estudió las características de la progenie de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. con siete años de edad. Consideró la producción de semilla de los cuatro a los siete años de edad, encontrando diferencias significativas en peso, dimensiones y cantidades de conos y semillas, siendo las mejores las de seis y siete años de edad. En la etapa de plantación la altura, diámetro, número de verticilos y sobrevivencia de la progenie a los dos años de edad, no mostraron diferencias significativas dentro de cada edad. Concluye que la precocidad del arbolado no influye en la calidad de progenie observada a los dos años de edad, aun cuando la mejor producción semillera de los árboles padres se presenta a los siete años.

López (1990), realizó una selección familiar de *Pinus greggii* Engelm. bajo dos niveles de humedad a partir de los ocho meses de edad; para esto seleccionó doscientos árboles de una plantación de once años de edad basándose en sus características fenotípicas, en todos estos árboles se estudiaron características de hojas conos y semillas relacionadas con el vigor y adaptabilidad. Las variables estudiadas en plántulas fueron

características de hojas primarias, tasa transpiratoria, sobrevivencia, intensidad de color, recuperación del turgor, altura y tasa relativa de crecimiento. El análisis sobre la variación en las características longitud de hojas, frecuencia estomatal y número de células endodermales, presentó diferencias altamente significativas entre árboles aunque con bajas correlaciones entre las variables estudiadas y el vigor del arbolado. La evaluación de la tolerancia a sequía mediante la prueba riego-sequía permitió identificar treinta y seis familias más tolerantes a la deficiencia de humedad. Según el autor la estrategia de adaptación de las familias a la sequía son los mecanismos de evasión, retardando la deshidratación

Saenz (1991), comparó las diferencias en características de crecimiento y resistencia a daño por heladas entre progenies de segunda y primera generación de selección procedentes de Sudáfrica y testigos de poblaciones naturales de *Pinus patula* Shiede y Deppe. Este ensayo se realizó en dos lugares diferentes, comprendidos dentro del área de distribución natural de *P. patula*. Las características evaluadas fueron altura, diámetro normal, número de verticilios, ancho de copa, rectitud del fuste y fenología del crecimiento. Los resultados a diferentes edades mostraron una superioridad de las familias procedentes de Sudáfrica comparadas con el testigo, sin embargo, este último fue menos susceptible al daño por heladas. La heredabilidad en las diferentes características fue de moderada a baja, disminuyendo a partir de los veintiséis meses.

Cigarrero (1994), evaluó ciento y ocho familias de seis poblaciones del área de distribución de *Pinus greggii* Engelm. en dos diferentes sitios de plantación. Las variables

analizadas en este estudio fueron altura, diámetro, número de verticilios y número de ramas. Todas las características mostraron diferencias significativas al nivel de procedencias y entre familias sólo se encontraron diferencias para número de verticilios. La variación fenotípica se debió principalmente a la procedencia. Los valores en el análisis de correlación fenotípica simple fueron de bajos a intermedios, excepto para las variables diámetro y altura.

Hernández (1995), en un experimento de procedencias/progenies sobre diez poblaciones de *Pinus engelmannii*, Carr. localizadas en Chihuahua y Durango, determinó el grado de control genético en diferentes características de crecimiento inicial. Entre las variables estudiadas están sobrevivencia, porcentaje de germinación, altura, número de cotiledones, aparición de hojas secundarias, elongación del epicotilo y acumulación de biomasa. En este estudio se encontraron diferencias significativas entre procedencias y familias dentro de procedencias. La variación fenotípica observada se debió principalmente a la procedencia. Las características morfológicas y fenológicas muestran un alto grado de control genético, mientras que la acumulación de biomasa muestra valores más bajos.

Galeote (1995), evaluó a lo largo de seis años las diferencias en sobrevivencia, altura y diámetro entre ochenta y cinco progenies de cuatro procedencias de Honduras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr & Golf. en el campamento forestal La Sabana, Oaxaca. Encontró que las diferencias entre procedencias tanto en altura como en diámetro se apreciaron desde los trece meses de edad, en las primeras etapas de

desarrollo no existieron diferencias visibles que hayan indicado las mejores familias y procedencias. Los valores de heredabilidad individual para medias de familia son relativamente bajos en todas las etapas de medición. Las correlaciones genéticas a edades tempranas son más bajas en edades posteriores.

Mendoza (1995), evaluó el crecimiento en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. bajo dos condiciones de pH, utilizando semilla procedente de doce poblaciones de los estados de Coahuila, Hidalgo, Puebla, Querétaro y Nuevo León. Los tratamientos en este trabajo consistieron en dar riegos desde el inicio de hasta los ocho meses de edad con agua con un pH de 6.1 a partir de los ocho meses y hasta los dieciséis se disminuyó el pH a 5.9. Las variables incluidas en este estudio fueron número de cotiledones, velocidad de emergencia, color de follaje y altura total antes y después de los tratamientos. El estudio demostró la existencia de una alta variación tanto en procedencias como en familias en todas las características estudiadas. De acuerdo a los resultados obtenidos las poblaciones se separaron en dos grupos. El cambio en el pH, no afectó de manera drástica y permanente el crecimiento de las plántulas. Las variables de altura y color de follaje mostraron un control genético moderado a nivel individual y familiar, y este aumentó conforme a la edad.

Campoverde (1997), llevo a cabo dos pruebas de progenie, con ochenta familias de cuatro procedencias de Honduras de *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr & Golf. Entre las características estudiadas se encuentra altura, longitud del hipocotilo, cotiledones, peso fresco y peso seco. Todas las características mostraron diferencias

significativas en familias dentro de procedencias, las diferencias entre procedencias sólo fueron significativas en número de cotiledones, peso seco y peso fresco. La varianza atribuida a la fuente de familia fue siempre mayor que la contribución de las procedencias a la varianza total. En el análisis de correlación el número de cotiledones resultó negativo con respecto a la precipitación.

3.3 *Pinus radiata* D. Don.

3.3.1 Descripción de *Pinus radiata* D. Don.

De acuerdo a Perry (1991) *Pinus radiata* se encuentra dentro del subgénero *Diploxylon*, sección *Serotinae*. Es un árbol de 15 a 25 metros de altura con tronco de 30 a 60 cm de diámetro; copa densa, angosta, redondeada y con frecuencia irregular; corteza hendida, áspera y escamosa, de 2 a 3 cm de espesor, internamente de color café oscuro y por fuera de color gris negruzco, a veces casi negra (Bannister y McDonald, 1983).

Ramillas con yemas principales multinodales, gruesas con las bases de los fascículos prominentes, fascículos extendidos que persisten por tres años. Acículas en grupos de 2 a veces 1 de 8.5 a 9 cm de largo, algo delgadas, rectas o curvadas, de color verde oscuro, brillantes. Tienen de 5 a 12 canales resiníferos medios; paredes de células endodérmicas delgadas, 2 haces fibrovasculares separados; hipodermo uniforme. Vainas persistentes, anilladas de 6 a 12 mm. Yemas ovoides, brillantes, de color castaño.

Amentos masculinos densos, de color amarillo (Bannister y McDonald 1983; Farjon, 1997).

Conillos mucronados de color púrpura oscuro; conos solitarios sobre pedúnculos muy cortos, ovoides, asimétricos de 4.7 a 9 cm en grupos de 2 a 3 muy reflejados y oblicuos, de color moreno rojizo. Escamas duras, uniformes, redondeadas o cuadrangulares, ensanchadas en la parte media con apófisis aplanadas o poco levantadas, cúspide hundida, con una espina muy pequeña y caediza (Martínez, 1948; Farjon, 1997).

Semilla elipsoidal oscura de unos 6 mm con ala de color moreno claro, longitudinalmente estriada, ensanchada hacia arriba y oblicua en el ápice (Martínez, 1948).

3.3.2 Distribución

Pinus radiata llama la atención entre los pinos por su área de distribución tan pequeña, restringida únicamente a cinco poblaciones en todo el mundo. Crece naturalmente en tres áreas de la costa de California; al sur de la Bahía Monterey, en la costa de Santa Cruz y en la costa de San Luis Obispo (Mirov, 1967). En México ocurre solamente en dos pequeñas islas del Pacífico al oeste de la costa de Baja California Norte, Isla Guadalupe a 250 Km de la costa e Isla Cedros a 30 Km de la costa. En Isla Guadalupe la especie se encuentra localizada en la vertiente norte con un número menor a los 100 árboles (Rico, 1997b). En Isla Cedros los pinos son encontrados a elevaciones de 300-650 m.s.n.m. (Perry, 1991).

3.3.3 Importancia

Aún cuando esta especie es de una distribución natural muy restringida ha sido plantada exitosamente en muchas áreas. En Nueva Zelanda, Chile, Australia y Sur África, *Pinus radiata* ha sido ampliamente utilizado como especie exótica desde 1923 aproximadamente (Scott, 1960). Actualmente es la conífera exótica más importante del mundo, ocupando alrededor de 4 millones de hectáreas en plantaciones. Australia y Nueva Zelanda abarcan 900 000 y 1.2 millones de hectáreas respectivamente (Devey, 1997).

Las poblaciones de Isla Cedros e Isla Guadalupe han recibido cierta atención con fines de conservación genética aunque estos esfuerzos han resultado insuficientes (Libby, 1990), actualmente la población de Isla Guadalupe ha sido considerada como uno de los recursos genéticos más valiosos (Ledig et al., 1998). Ambas poblaciones se encuentran bajo protección como Reservas Científicas para mantener ejemplos representativos de los ambientes naturales, disponibles para estudios científicos, monitoreo ambiental, educación ambiental y mantenimiento de los recursos genéticos en su estado y dinámica evolutiva (Rico 1997).

En México ante la necesidad de combatir las pérdidas de terrenos, se iniciaron varios programas de reforestación con la finalidad de recuperar las áreas con fuertes problemas de erosión acelerada. Las cualidades de rápido desarrollo de *Pinus radiata* han dado lugar a que se trate de propagar en sustitución de pinos nativos; por lo que se ha

introducido a los estados de Chihuahua, Distrito Federal, México, Querétaro, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Jalisco, Tlaxcala y Chiapas (Arteaga y Etchvers, 1988).

Esta especie ha sido empleada con fines ornamentales, en producción de pulpa para diferentes tipos de papel, tableros de fibra, madera aserrada y cartón, además por sus características tecnológicas es utilizada en la construcción, pisos, y uniones interiores entre otros productos (Foley, 1965; Husch, 1983). Así mismo las poblaciones de Isla Cedros e Isla Guadalupe han demostrado una menor susceptibilidad a *Endocronartium harknessi* que las poblaciones de California (Old et al., 1986) lo que ha despertado mayor interés sobre estas especies mexicanas en la resistencia natural a enfermedades.

3.3.4 Genética y Mejoramiento

Fielding (1961), analizó la variación de *Pinus radiata* de Isla Cedros que crecen en Australia, estudió la fenología de flores y conillos, encontrando que el tiempo de floración es similar a *Pinus radiata* D. Don, llegando a florear hasta un mes antes que *Pinus muricata*. Este autor también menciona que los conos de Isla Cedros difieren en color con los de *P. muricata* al llegar a la madurez.

Forde (1964 a, b), estudió la variación natural de las poblaciones continentales de *Pinus radiata* D. Don utilizando cien árboles de cada población con veinte árboles de cinco sitios diferentes, analizó características de ramas fascículos, conos por ramas,

características anatómicas en acículas, conos y semillas. En las características estudiadas en conos incluyó varias características como largo de cono, dirección del pedúnculo, longitud axial, número de escamas, curvatura, apófisis, umbo y semillas. Los resultados arrojados por este estudio demostraron una variación local significativa en todas las poblaciones. Las medias en longitud de conos difirieron muy marcadamente, los conos de Cambria fueron los más grandes mientras que los de Monterey fueron los más pequeños en todas las dimensiones. En las características de apófisis todas las poblaciones son muy variables en cuanto a morfología.

El material para características de acículas fue colectado de ramillas laterales de un año de edad, normalmente se encontraron tres acículas por fascículo, comparadas con las de Monterey las acículas de la población de Cambria tuvieron las acículas más largas, gruesas y con mayor espaciado entre las hileras de estomas, la población de Año Nuevo presentó valores intermedios respecto a estas dos. El número de canales resiníferos varió de 0 a 2 por acículas en todas las poblaciones.

Forde (1964b), realizó también una comparación de la variabilidad dentro y entre localidades de Monterey, Año Nuevo y Cambria. La alta variación encontrada entre árboles dentro de las poblaciones para las características de ramas fue atribuible a la diferencia de edades y al ambiente. Comparando los valores de las tres poblaciones, la de Cambria presentó la menor variación entre árboles para todas las características de ramas y acículas y sólo para algunas características de cono, particularmente curvatura y simetría.

Como conclusión Forde (1964c) señaló que en todas las características estudiadas a excepción de cuatro, la variación entre árboles contribuye con cerca del 70% a la variación total. Los resultados obtenidos mostraron que la especie consiste de tres poblaciones diferenciadas entre sí y con una alta variación dentro de cada una de ellas, ya que existe una variación estadística significativa entre las características de los ejemplares colectados en diferentes sitios de una misma población.

Burdon y Low (1977), realizaron un estudio de variación en acículas de *Pinus radiata* utilizando árboles de diez años de edad plantados en Nueva Zelanda procedentes de las poblaciones de Año Nuevo, Monterey y Cambria. Este estudio demostró una clara diferencia entre cada una de las poblaciones para las características de longitud, así como una menor diferencia genética en peso seco y ninguna relación en peso/longitud. La población de Cambria mostró las acículas mas largas ($\bar{x}=146$ mm) mientras que las de Año Nuevo las más cortas ($\bar{x}=125$ mm). Los resultados obtenidos en este estudio difieren con los de Forde (1964b), los cuales son atribuidos a efectos ambientales más que genéticos.

Plessas y Strauss (1986), realizaron una diferenciación enzimática de *Pinus radiata* de California, se tomaron muestras en diez sitios diferentes de árboles de cuatro a seis años en cada una de las tres poblaciones de pino radiata. Estos autores encuentran que comparada con otras coníferas, las poblaciones de California poseen una cantidad de variación genética de mínima a moderada. Su diversidad es similar a otras coníferas que

colonizan sitios rápidamente. Contrariamente a inferencias de crecimiento y caracteres morfológicos, las frecuencias aloenzimáticas sugieren que la población de Año Nuevo diverge a la de Cambria y Monterey.

Molina (1987), estudia la variación morfológica y anatómica de acículas de cuarenta y nueve taxa de pinos del Pinetum "Maximino Martínez", incluyendo árboles de *Pinus radiata* var. *binata* (Engelm.) colectados en Isla Guadalupe, en los que analiza dieciocho variables encontrando diferencias significativas entre árboles.

Cotterill y Dean (1988), determinaron la ganancia genética aditiva, fenotípica y covarianzas para altura y área basal en progenies de polinización abierta de *Pinus radiata* a partir de los dos y hasta los dieciséis años después de ser plantados. La heredabilidad y varianza aditiva en el incremento en altura fueron altas en el periodo entre los 2.5 y 6.5 años pero decreció a partir de estos últimos. La heredabilidad y varianza aditiva en el incremento del área basal aumentó conforme el tiempo especialmente a partir de los once años.

Moran et al. (1988), en un estudio a nivel isoenzimático explican que *Pinus radiata* tiene relativamente baja variabilidad genética comparada con otras coníferas. La proporción total que se atribuye entre poblaciones es mucho más alta que aquella reportada para muchas otras coníferas. Por último la población de Isla de Cedros puede ser interpretada como la línea más primitiva separada del resto de las otras poblaciones.

Falkenhagen (1989), estudió la variación en crecimiento, diámetro, volumen por árbol, forma de tallo, forma de la copa y resistencia a *Pineus pini* en dieciséis árboles y dos testigos de *Pinus radiata* de cuatro y ocho años. Las medias de heredabilidades por procedencias variaron desde 0.00 hasta 0.82. No se presentaron diferencias significativas entre procedencias dentro de poblaciones excepto para la resistencia en el *Pineus pini* en el sitio Kruisfontein. El análisis de varianza mostró pequeñas interacciones procedencias-sitios para altura y resistencia al afido a los ocho años.

Pederick (1990), en dos ensayos de progenie determinó una interacción entre familia x sitio altamente significativa para la característica de diámetro a los doce y quince años de edad. Utilizó dos métodos para comparar ganancias en crecimiento, selección de árboles de las mejores familias y comparaciones de heredabilidades estimadas entre regiones, pero los resultados fueron sobrestimados por la variación entre sitios dentro de regiones por lo que concluyó que las zonas de mejoramiento regional pueden tener altas ganancias si los sitios dentro de regiones son uniformes.

Rico (1997a), estudió dieciséis características anatómicas y morfológicas para acículas y trece para conos de veinte árboles de *Pinus radiata* de Isla Guadalupe y diez de Isla Cedros. Las variables longitud de vaina, número de hileras de estomas de la cara tres, número de dientes de las aristas uno y dos, número de células esclerenquimatosas, longitud de apófisis, altura de cúspide, diámetro de eje central del cono y relación largo ancho de semilla no presentaron diferencias significativas. Las mayores aportaciones a la varianza total fueron del error y el componente árbol.

Este autor considera relevantes el número, posición y orientación de los canales resiníferos proponiendo, basándose en estas variables, la denominación de *Pinus radiata* var. *binata* para la población de Isla Cedros.

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1 Descripción del área de colecta

La Isla de Cedros se encuentra aproximadamente a 24 Km al noroeste de Punta Eugenia, de la Bahía de San Sebastián Viscaíno en Baja California (Rico, 1997b).

El clima es seco con lluvias en invierno. La precipitación media anual es de 250 mm y la temperatura media anual varia de 16-22 °C. El suelo es rocoso probablemente de origen sedimentario. La vegetación es matorral rosetofoilo y una intrusión del chaparral, se pueden encontrar especies como *Agave shawii*, *Euphorbia misera*, *Dudleya californina*, *Rosa minutifolia*, *Quercus* sp. etc. (INEGI; 1988).

Los pinos están restringidos a cordilleras y declives y ocasionalmente en cañones. Estas poblaciones de pino se localizan en tres áreas bien definidas; una sobre la parte norte y dos en la parte central, separadas por aproximadamente 8 Km integradas por árboles jóvenes y en las cuales hay evidencias de incendios que han ocasionado una regeneración natural uniforme o coetánea de alta densidad (Rico, 1997a).

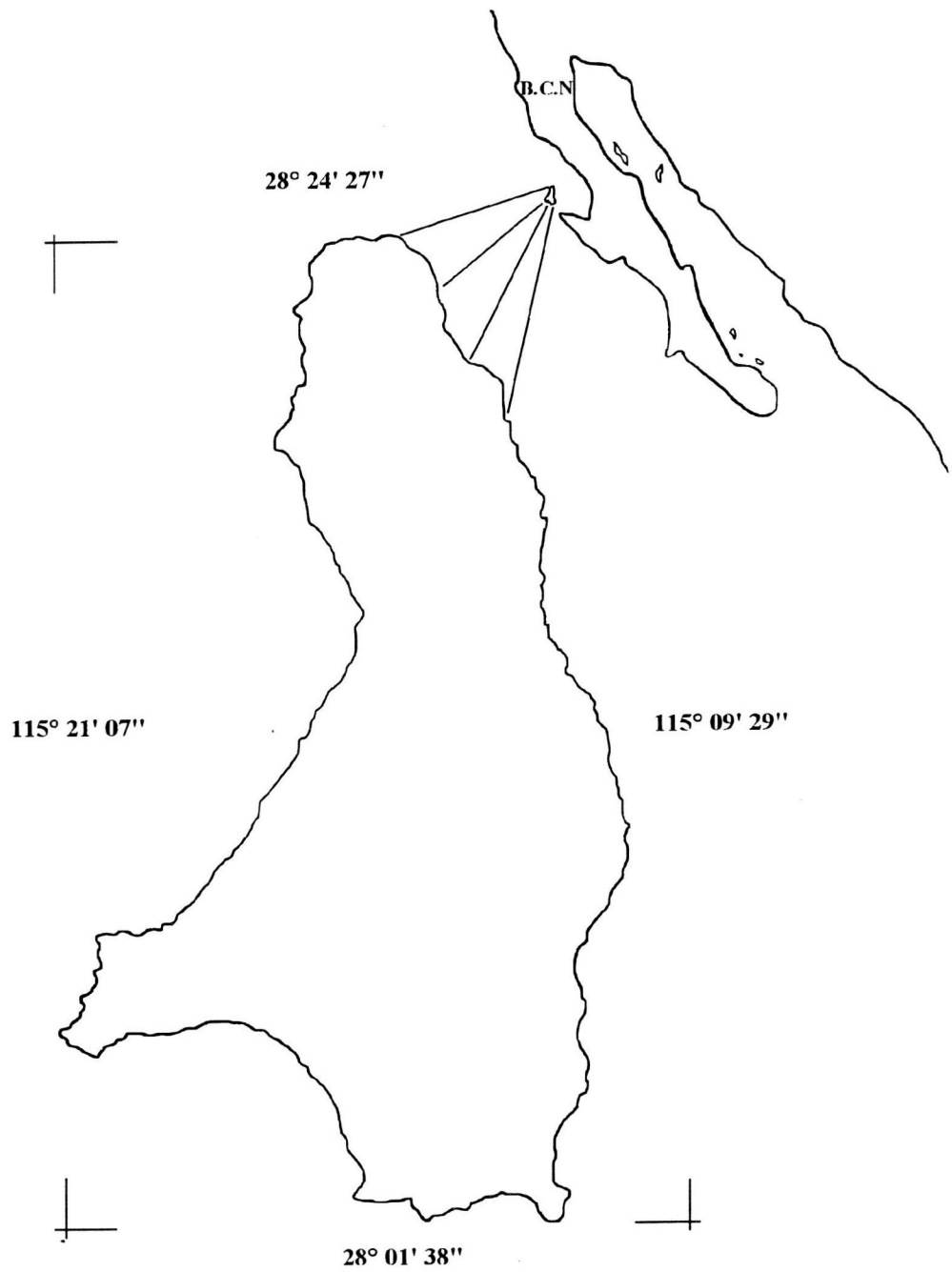


Figura 1. Ubicación geográfica de Isla Cedros

4.2 Colecta del material biológico

En 1996 se realizó una expedición por parte de la Universidad Autónoma Chapingo, bajo la coordinación del Ing. José Rico Cerda, con el objetivo de colectar semilla de *Pinus radiata* de Isla Cedros y otras especies de coníferas localizadas en las sierras de Juárez y San Pedro Mártir. La colecta de material biológico en Isla Cedros se realizó del 9 al 23 de enero de 1996, la cual incluyó una muestra botánica para el herbario y ramillas y conos de cien árboles ubicados tanto en la parte central como en la parte norte del área de distribución de la especie.

El material obtenido fue resguardado en el Centro de Genética Forestal A. C. y almacenado dentro del Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo. Las muestras de conos y acículas sirvieron para cuantificar y analizar la variación morfológica, posteriormente de los conos cosechados se extrajeron todas las semillas presentes las cuales sirvieron para establecer la prueba de progenie.

4.3 Fases de estudio

4.3.1 Estudio de variación morfológica

Este primer estudio, incluyó la determinación de la magnitud de la variación en características morfológicas de conos, semillas y acículas de muestras de 32 árboles de el

Cuadro 1 Características generales¹ de los árboles progenitores utilizados en el análisis de características morfológicas y anatómicas de conos y acículas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod.

No. de Arbol	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altitud (m.s.n.m)
2	16	44	530
5	9	25	530
7	18	56	550
8	5	18	450
9	18	49	545
11	14	40	500
13	3	5	480
14	3	5	480
15	8	20	480
16	12	38	480
18	6	13	490
19	6	16	490
20	12	30	490
35	12	55	590
38	4.5	7	580
39	5	7	560
42	7	23	530
44	9	31	590
55	15	38	585
56	4	10	590
57	6	15	595
58	4.6	13	590
59	4	14	580
61	5	14	530
62	5.5	13	540
63	5.6	11	570
75	6	16	560
78	11	28	510
80	9	17	520
82	10	22	480
83	5	10	450
84	4	12	450

¹ Rico, 1996 (datos sin publicar).

área de estudio, ubicados dentro de un gradiente altitudinal que fue desde los 450 hasta los 595 m.s.n.m. (Cuadro 1). En esta etapa se evaluaron las siguientes variables:

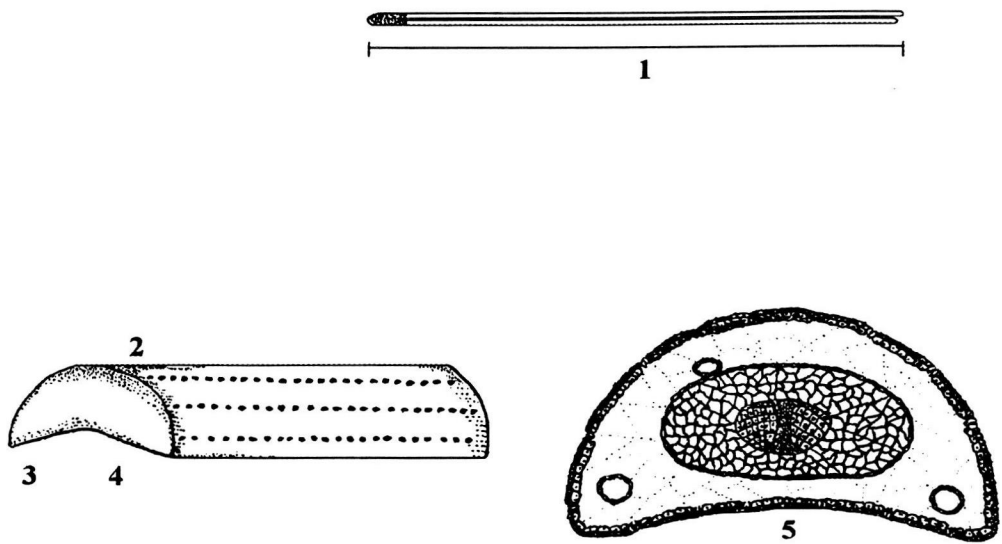
4.3.1.1 Características de acículas

Número de acículas por fascículo (NUMACI). De las ramillas colectadas se eligieron al azar 10 fascículos por cada árbol, cuantificando y registrando el número de acículas encontradas en cada fascículo.

Longitud de acículas (LONGACI). De los 10 fascículos utilizados para el número de acículas se eligió la acícula más grande y se midió desde la base de la vaina hasta la punta con ayuda de un vernier con aproximaciones en milímetros.

Número de hileras de estomas en la cara 1, 2 y 3 (HESTC1, HESTC2 Y HESTC3). Sobre la parte media de la acícula mas larga de los 10 fascículos seleccionados, se contó el número de hileras de estomas en cada una de las caras de la acícula, auxiliándose de un microscopio estereoscópico.

Número de canales resiníferos (CANRESI). Se utilizaron 5 acículas las cuales fueron hidratadas, a cada una se les hicieron cortes transversales en la parte media con la ayuda de un bisturí, estos cortes fueron observados en el microscopio compuesto bajo el objetivo 40x contando el número de canales resiníferos tanto en las caras como en las aristas.



- 1.-Longitud de acículas.
- 2.-Hileras de estomas de la cara uno.
- 3.-Hileras de estomas de la cara dos.
- 4.-Hileras de estomas de la cara tres.
- 5.-Posición de los canales resiníferos.

Figura 2. Diagrama de características de acículas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Posición de los canales resiníferos. Los canales resiníferos se diferenciaron según su posición en internos, externos, medios y septales.

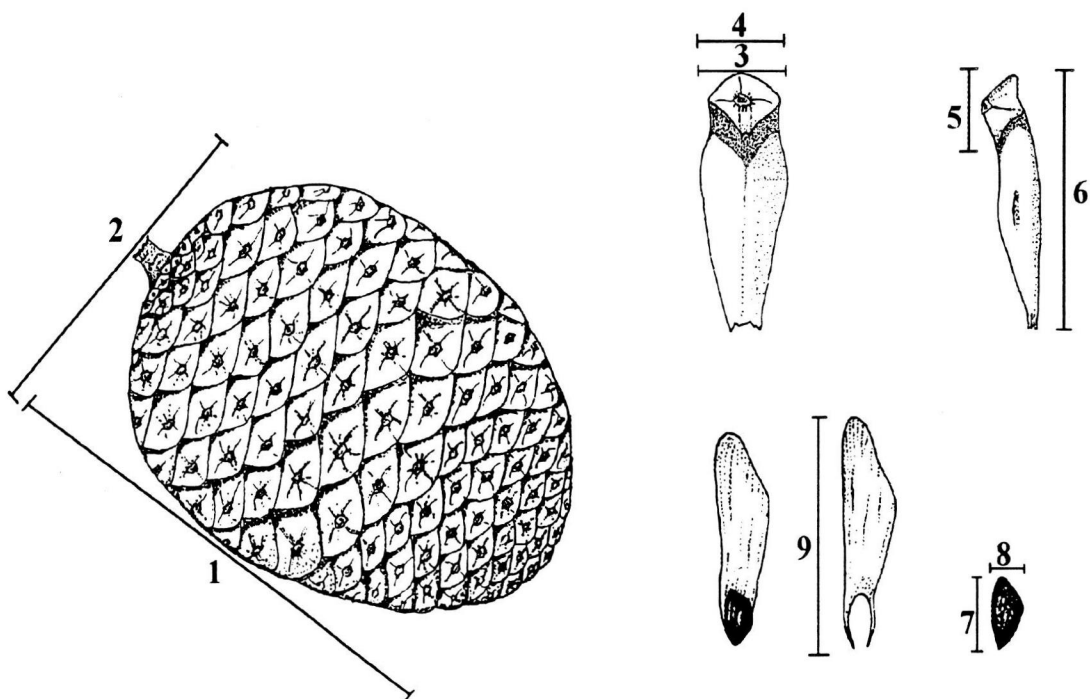
4.3.1.2 Características de conos

Longitud y ancho de conos (LONGCONO y ANCHCONO). De cada árbol se eligieron al azar 5 conos cerrados, a cada uno de éstos se les midió la longitud y diámetro con el auxilio de un vernier con aproximaciones en milímetros. La longitud se determinó tomando desde la base hasta la punta del cono y el diámetro en la sección media más amplia del mismo.

Número de semillas por cono (SEMCON). Para extraer las semillas los conos fueron debidamente etiquetados en el invernadero donde se les aplicaron aspersiones con agua cada tercer día con el fin de acelerar la apertura de las escamas, una vez ocurrida ésta se contó el número de semillas llenas por cono.

Longitud y ancho de escamas (LONGESC y ANCHESC). A los cinco conos seleccionados anteriormente se les extrajeron 10 escamas de la parte central a los cuales se les determinó longitud y ancho. La longitud se consideró desde la base hasta la punta de la escama y el ancho en la sección más amplia de la misma.

Longitud y ancho de apófisis (LONGAPO y ANCHAPO). Se utilizaron las mismas muestras de las escamas, midiendo en estas el largo y ancho de apófisis con aproximaciones en milímetros.



1.- Longitud de cono.

2.-Ancho de cono.

3.-Ancho de apófisis.

4.-Ancho de escama.

5.-Longitud de apófisis.

6.-Longitud de escama.

7.-Longitud de semilla.

8.-Ancho de semilla.

9.-Longitud de ala de semilla.

Figura 3. Diagrama de características de cono de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Longitud y ancho de semillas (LONGSEM y ANCHSEM). Del número total de semillas obtenidas de los conos se eligieron 15 semillas por árbol determinando para cada una el ancho y longitud.

Longitud de ala de semillas (LONGALA). Esta se determinó para las 15 semillas elegidas.

4.3.1.3 Análisis estadístico

4.3.1.3.1 Prueba de normalidad

Para saber la probabilidad de distribución normal de los datos obtenidos en cada variable se utilizó el paquete estadístico SAS con el procedimiento NORMAL UNIVARIATE con lo que además se obtuvieron los valores de normalidad, medidas de tendencia central y medidas de dispersión para cada una de las variables estudiadas.

4.3.1.3.2 Análisis de varianza y modelos estadísticos

El análisis de varianza se realizó utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) con el procedimiento GLM.

Las características de longitud de acículas, número de hileras de las cara uno dos y tres, número de canales resiníferos, ancho y largo de conos, escamas y número de

semillas se analizaron con un criterio de clasificación. Las características de largo de ala y ancho y largo de semilla se analizaron con un modelo de tipo anidado o jerárquico en donde se tuvieron como fuentes de variación árboles y conos dentro de árbol. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + C_{j(i)} + \xi_{ij(k)}$$

Donde:

Y_{ijk} es el valor de la variable

μ es la media poblacional

A_i es el efecto del i-ésimo árbol

$C_{j(i)}$ es el efecto del j-ésimo cono anidado en el i-ésimo árbol

$\xi_{ij(k)}$ es el error experimental

$i = 1, 2, 3 \dots a$ (árbol)

$j = 1, 2, 3 \dots c$ (cono)

$k = 1, 2, 3 \dots n$ (repeticiones)

Cuadro 2. Estructura de los cuadrados medios y estimación de los componentes de varianza para las características de semilla y ala de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Esperanza de los cuadrados medios
A_i	$(I-1)$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{c(a)}^2 + cn\sigma_a^2$
$C_{j(i)}$	$l(a-1)$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{c(a)}^2$
Error experimental	$la(n-1)$	σ_e^2
Total	$lan-1$	

4.3.1.4 Análisis de correlación

Para conocer la relación existente entre cada una de las características morfológicas y anatómicas estudiadas así como su posible relación con respecto a un gradiente ambiental, se llevó a cabo un análisis de correlación fenotípica simple entre las medias por árbol de las variables analizadas, incluyendo además el factor altitud con ayuda del paquete estadístico SAS, procedimiento CORR.

4.3.2 Ensayo de progenie

4.3.2.1 Diseño experimental

El segundo estudio consistió en el establecimiento de un ensayo de progenie para determinar la magnitud de variación genética en las características de crecimiento inicial de *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod.

El experimento se estableció en uno de los invernaderos del Centro de Genética Forestal A. C. ubicado en Lomas de San Juan Chapingo, municipio de Texcoco, Estado de México. Las semillas de polinización abierta (medios hermanos) de 36 familias se sembraron en contenedores de poliestireno de 160 cavidades de 202 cm³ cada una; con un sustrato de tierra lama, tierra de monte, y peat moss en proporciones 1:1:1 con el propósito de obtener un sustrato funcional, bajo condiciones de invernadero.

Cuadro 3. Características generales de los árboles progenitores del ensayo de progenie de *Pinus radiata* var *cedrosensis*.

No. Arbol	Familia	Altura (m)	Diametro (cm)	Altitud (a.s.n.m.)
Bosquete Norte				
1	1	18	53	530
3	2	6	14	515
4	3	12	35	520
6	4	6	16	530
10	5	18	45	540
12	6	12	30	480
21	7	7	34	315
22	8	5	23	315
23	9	10	34	340
30	10	14	44	465
31	11	4	23	470
32	12	7	19	420
33	13	5	16	385
34	14	7	36	280
Bosquete Central				
36	15	10	24	590
40	16	8	23	530
51	17	9	22	580
52	18	9	24	590
53	19	10	28	590
60	20	6	13	580
65	21	12	35	540
66	22	10	24	525
67	23	7	16	525
74	24	7	16	470
77	25	7	8	560
79	26	11	31	510
81	27	10	16	530
85	28	12	45	425
86	29	12	30	420
87	30	7	30	410
88	31	9	32	390
95	32	8	13	450
96	33	6	17	450
97	34	4	10	430
43	35	5	7	535
44	36	9	31	590

Rico, 1996 (datos sin publicar)

El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, donde cada parcela dentro de cada bloque constó de 10 plántulas.

Las semillas se sumergieron en agua durante aproximadamente 7 horas antes de la siembra como pretratamiento. La siembra se realizó el 29 de noviembre de 1997; colocando dos semillas dentro de cada cavidad para asegurar la emergencia, de al menos una plántula; cuando se encontraron dos plantas en cada cavidad la última en emerger se transplanto para evitar competencia entre ellas.

4.3.2.2 Características fisiológicas

Velocidad y porcentaje de emergencia de las plántulas. A partir de la fecha de siembra se contabilizó el número de plántulas que emergieron por parcela cada segundo o tercer día hasta que terminó el período de emergencia, posteriormente se hizo una comparación de la velocidad de emergencia para determinar el vigor germinativo entre las diferentes familias.

4.3.2.3 Características morfológicas.

Número y longitud de hojas cotiledonares. Se contó el número de cotiledones que presentó cada plántula al emerger; una vez que estos detuvieron su crecimiento se midió el cotiledón mas largo con una regla con aproximaciones en centímetros.

Altura de la plántula. Al cabo de tres meses después de la siembra se determinó la altura de la planta considerando desde la superficie del suelo hasta la yema más larga aunque esta no fuera la terminal.

Longitud del hipocotilo. Se determinó desde la superficie del suelo hasta la base de los cotiledones.

4.3.2.4 Análisis estadístico

El análisis de varianza se realizó empleando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) con el procedimiento GLM, con un modelo de efectos aleatorios bajo la prueba de hipótesis: $H_0: \sigma^2_E = 0$ vs. $H_a: \sigma^2_E > 0$ donde E es el efecto a estudiar.

4.3.2.4.1 Modelo estadístico

El modelo utilizado para el análisis de las características antes mencionadas fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + \xi_{(ij)k}$$

Donde:

Y_{ijk} es observación del k-ésimo árbol de la j-ésima familia en el i-ésimo bloque

μ es la media poblacional

B_i es el efecto del i-ésimo bloque

F_j es el efecto de la j-ésima familia dentro de cada bloque

BF_{ij} es el efecto de la interacción entre la j-ésima familia y el i-ésimo bloque

$\xi_{(ij)k}$ es el efecto del error experimental

$i=1,2,3\dots b$ (bloque)

$j=1,2,3\dots f$ (familia)

$k=1,2,3\dots n$ (plántulas por familia)

Cuadro 4. Estructura de los cuadrados medios y estimación de los componentes de varianza utilizados en el ensayo de progenie de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Esperanza de cuadrados medios
Bloques (b)	b-1	CM_b	$\sigma_e^2 + n\sigma_{bf}^2 + nf\sigma_b^2$
Familias (f)	f-1	CM_f	$\sigma_e^2 + n\sigma_{bf}^2 + nb\sigma_f^2$
Bloques x Familias (bf)	(b-1)(f-1)	CM_{bf}	$\sigma_e^2 + n\sigma_{bf}^2$
Error (E)	bf(n-1)	CM_e	σ_e^2
Total	(bf n)-1		

Donde:

b= Número de bloques

f= Número de familias

n= Número de plántulas por parcela

σ_e^2 = Varianza atribuida al error

σ_{bf}^2 = Varianza de la interacción bloque x familia

σ_f^2 = Varianza entre familias

σ_b^2 = Varianza entre bloques

4.3.2.4.2 Comparación entre medias

La comparación entre las medias de las diferentes familias se realizó aplicando la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan con ayuda del paquete estadístico SAS; procedimiento GLM, Means/Duncan.

4.3.2.5 Estimación de parámetros genéticos.

A partir de los componentes de varianza estimados con ayuda del paquete estadístico SAS procedimiento VARCOMP method=TYPEI, se obtuvieron la varianza genética aditiva y la varianza fenotípica basándose en las siguientes fórmulas:

$$\sigma_p^2 = \sigma_e^2 + \sigma_{bf}^2 + \sigma_f^2$$

$$\sigma_A^2 = 4\sigma_f^2$$

Donde:

$$\sigma_p^2 = \text{Varianza fenotípica}$$

$$\sigma_A^2 = \text{Varianza genética aditiva}$$

$$\sigma_e^2 = \text{Varianza atribuida al error}$$

$$\sigma_{bf}^2 = \text{Varianza de la interacción bloque x familia}$$

$$\sigma_f^2 = \text{Varianza entre familias}$$

Una vez obtenidos estos valores se estimó la heredabilidad en el sentido estricto (Zobel y Talbert, 1994) para:

$$\text{Individuos: } h_i^2 = \sigma_A^2 / \sigma_p^2$$

$$\text{Familia} \quad h^2_F = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_e^2/nb + \sigma_{bf}^2/b + \sigma_f^2}$$

y de individuos dentro de familias (Klein, 1989):

$$h^2_{if} = 3\sigma_f^2/\sigma_e^2$$

4.3.2.6 Análisis de Correlación

Para conocer la relación existente entre las características morfológicas altura, longitud del hipocotilo, número y longitud de cotiledones y las variables fisiológicas velocidad y porcentaje de emergencia de las plantas, se realizó un análisis de correlación fenotípica simple entre las medias por familia con ayuda del paquete estadístico SAS, procedimiento CORR.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Estudio de variación morfológica

5.1.1 Análisis de normalidad.

De las dieciséis variables estudiadas en características morfológicas y anatómicas sólo las de hileras de estomas de la cara uno y tres presentaron un valor inferior al 90% de acuerdo a la prueba de Shapiro-Wilk, por lo que no fue necesario realizar ninguna transformación. Los resultados obtenidos se presentan en forma de porcentajes en el Cuadro 5.

5.1.2 Análisis de dispersión y medidas de tendencia central (Cuadro 6)

5.1.2.1 Características de acículas

Número de acículas por fascículo. En el análisis general de las observaciones no se encontró ninguna variación para esta característica, el valor promedio para todos los árboles estudiados fue de 2 acículas por fascículo.

Cuadro 5. Probabilidad de distribución normal para características morfológicas y anatómicas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

VARIABLE	NORMALIDAD (%)
Número de acículas	-
Longitud de acículas (cm)	96
Hileras de estomas cara 1	93
Hileras de estomas cara 2	82
Hileras de estomas cara 3	80
Número de Canales resiníferos	93
Ancho de conos (cm)	95
Largo de conos (cm)	96
Ancho de escama (cm)	96
Largo de escama (cm)	98
Ancho de apófisis (cm)	95
Largo de apófisis (cm)	97
Semillas por cono	95
Largo de semilla (cm)	98
Ancho de semilla (cm)	97
Largo de ala (cm)	98

Cuadro 6. Medidas de tendencia central y de dispersión para 16 variables morfológicas y anatómicas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

VARIABLE	N	MEDIA	MODA	S	MAX.	MIN.	C DE V %
NUMACI	320	2	2	0	2	2	0
LONGACI	320	8.5783	9.97	1.64	12.4	4.7	19.2171
HESTC1	320	8.3187	8	1.34	12	5	16.2019
HESTC2	320	3.3062	3	0.7553	6	2	22.8449
HESTC3	320	2.7937	3	0.6956	5	1	24.9013
CANRESI	320	6.0625	5	2.0546	12	2	33.8919
ANCHCONO	160	3.4989	3.3	0.4384	4.96	2.48	12.5315
LONGCONO	160	6.065	6.7	0.8992	8.86	3.6	14.8271
ANCHESC	1600	1.1643	1.1	0.1570	1.82	0.73	13.4840
LONGESC	1600	2.8033	2.5	0.4095	4.02	0.87	14.6110
ANCHAPO	1600	1.0604	1	0.1670	1.87	0.66	15.7497
LONGAPO	1600	0.8537	0.8	0.1507	1.43	0.25	17.6681
SEMCONO	160	58.1	47	32.36	164	0	55.7031
LONGSEMI	480	0.5784	0.6	0.0812	0.81	0.32	14.0412
ANCHSEMI	480	0.3257	0.3	0.0526	0.47	0.17	16.1588
LONGALA	480	1.622	1.8	0.2521	2.45	0.95	15.5473

N= número de observaciones. S= Desviación estándar. Max.= Valor máximo extremo. Min= Valor mínimo extremo. C. de V.= Coeficiente de variación.

Longitud de acículas. El valor promedio para esta característica fue de 8.57 cm con un valor mínimo de 4.7 y un valor máximo de 12.4. El coeficiente de variación fue de 19.21%.

Estos resultados difieren con los de Rico (1997a) quien reporta un rango más amplio para esta característica, mientras que comparando estos resultados con los presentados por Molina (1987) para *Pinus radiata* de Isla Guadalupe los rangos encontrados son menores. Forde (1964b) señala que las acículas incrementan en longitud por medio de un meristemo basal, por lo que el efecto ambiental en el periodo y tasa de crecimiento puede influenciar su tamaño final, por lo anterior este investigador concluye que este no es un carácter genético distintivo.

Número de hileras de estomas de la cara uno. La media fue de 8.31 con un valor mínimo de 5 y un máximo de 12. El coeficiente de variación fue de 16.20%. Estos valores son similares a los encontrados por Rico (1997a), pero difieren con los encontrados para los árboles de Isla Guadalupe que presentan mayor número de hileras de estomas (Rico, 1997a; Molina, 1987).

Número de hileras de la cara dos. La media general fue de 3.30 con un valor mínimo de 2 y un máximo de 6, este es un rango más pequeño que el encontrado por Rico (1997a) sin embargo el coeficiente de variación 22.84% es mayor que el obtenido por este mismo autor.

Número de hileras de la cara tres. El valor promedio para esta variable fue de 2.97 con un mínimo de 1 hilera (aunque este valor solo se presentó en una sola observación) y un máximo de 5. El coeficiente de variación fue de 24.9 %. La población de Isla Guadalupe presenta rangos mayores para esta característica (Molina, 1987; Rico, 1997a).

Número de canales resiníferos. La media fue de 6.06 con un valor mínimo de 2 y un máximo de 12. Dentro de las características de acículas esta variable presenta el mayor coeficiente de variación con un 33.89%. Estos rangos son mucho mayores que los presentados por Molina (1987) cuyos valores varían de 2-4, muy diferentes a los encontrados por Rico (1997a) quien reporta de 10-23 canales y Forde (1964b) quien menciona que las poblaciones de California no se exceden de dos canales por acícula.

Posición de canales resiníferos. Esta característica no se analizó estadísticamente, sino de manera cualitativa. Los resultados obtenidos basándose en todas las observaciones se presentan en valores de porcentajes:

Media	57.82 %
Media con un canal interno	32.5 %
Media con dos canales internos	7.81 %
Media con tres canales internos	1.87 %

Los resultados presentados para esta característica difieren a los reportados por Rico (1997a) para esta misma población y Forde (1964b) para las poblaciones de California, ambos autores mencionan que los canales resiníferos corresponden

únicamente a la posición media. Reportándose por primera ocasión en el presente estudio, una posición interna en canales resiníferos de árboles de Isla Cedros.

Ancho de conos. El valor promedio fue de 3.49 cm con un valor mínimo de 2.48 y un máximo de 4.96, estos resultados difieren con los de Rico (1997a) quien presentó un rango mayor para esta característica. La media obtenida es menor que la reportada para Isla Guadalupe (Rico, 1997a) y para las poblaciones continentales (Forde, 1964). El coeficiente de variación fue de 12.53 %, este fue el coeficiente de variación con el valor más pequeño de todas las características estudiadas.

5.1.2.2 Características de conos

Longitud de cono. Esta variable ha sido un caracter taxonómico importante en *Pinus radiata* para las colecciones tempranas de la especie (Forde, 1964b). La media fue de 6.06 cm con un valor mínimo de 3.6 y un máximo de 8.86. El coeficiente de variación fue 14.82%. Los resultados obtenidos no difieren de manera sobresaliente con los obtenidos por Rico (1997a) para esta población, pero presentan una diferencia entre las poblaciones de Isla Guadalupe (Rico, 1997a) y las Continentales (Forde, 1964b).

Ancho de escama. La media fue de 1.16 cm con un rango de 0.73 a 1.82, el coeficiente de variación fue de 13.48. Estos resultados no son muy diferentes a los obtenidos por Rico (1997a).

Longitud de escama. El valor promedio fue de 2.8 cm con un valor mínimo de 0.87 y un valor máximo de 4.02, el coeficiente de variación fue de 14.61. Estos resultados concuerdan con los de Rico (1997a).

Ancho de apófisis. La media fue de 1.06 cm con un valor mínimo de 0.66 y un máximo de 1.8, el coeficiente de variación fue de 15.74. Estos valores concuerdan a los obtenidos por Rico (1997a)

Largo de apófisis. El valor promedio fue de 0.85 cm con un coeficiente de variación de 17.66 y un rango de 1.43 a 0.25.

Semillas por cono. Presentó una media de 58.1 con un máximo de 164 semillas por cono y un mínimo de 0. El coeficiente de variación fue el más grande dentro de todas a las características con un valor de 55.70%. La media mas alta entre árboles fue de 117.6 y la presento el árbol No 15, los árboles No 61 ($\bar{x}=112$), No 19 ($\bar{x}=111$) y No 16 ($\bar{x}=107.8$) también presentaron medias relativamente altas. La media mas baja la presentó el árbol No 75 con 13 semillas. Solo se presentó un cono en el que no se obtuvo ninguna semilla llena. Estudios en *Pinus virginiana* muestran que la producción de semilla varia de año en año pero es no rítmica, por lo que la mejor guía para predecir la producción de semilla de árboles individuales es conociendo la historia de producción pasada, sin embargo en algunos casos la producción de semillas por cono y polen llega a mostrar una variación geográfica (Dorman, 1976).

Largo de semilla. El valor promedio fue de 0.57 cm con valor mínimo de 0.32 y un máximo de 0.81, el coeficiente de variación fue de 14.04. Esta característica presenta una media menor a las poblaciones de California reportada por Forde (1964b), siendo el valor más cercano el de la población de Monterey. Los resultados de Rico (1997a) son similares a los obtenidos en este estudio.

Ancho de semilla. La media encontrada fue de 0.32 cm con un valor mínimo de 0.17 y un máximo de 0.47, y un coeficiente de variación de 16.15. De acuerdo a estos resultados los valores encontrados fueron menores que los reportados por Rico (1997a).

Largo total de ala. El valor promedio para esta característica fue de 1.62 cm con un valor máximo de 2.45 y un valor mínimo de 0.95, el coeficiente de variación fue de 15.54. Estos resultados presentan una diferencia mínima con los encontrados por Rico (1997a).

5.1.3 Análisis y componentes de varianza

5.1.3.1 Características de acículas

El análisis de varianza para las variables de este carácter (Cuadro 7), mostró diferencias altamente significativas, con un nivel de probabilidad de $P \leq 0.01$; indicando

que la longitud de acículas, número de hileras de la cara uno, dos y tres y el número de canales resiníferos son muy variable entre árboles.

El número de hileras de estomas en cada una de las caras de la acícula tuvo una variabilidad significativa aunque los valores para el error resultaron altos, lo que puede deberse al bajo número de observaciones por muestra.

Cuadro 7. Análisis de varianza de variables en acículas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

CARACTER	FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F
LONGACI	Arbol*	31	708.7876	22.8641	41.64
	Error	288	158.1312	0.54906	
HESTC1	Arbol*	31	240.0875	7.7447	6.57
	Error	288	339.4	1.1784	
HESTC2	Arbol*	31	70.7875	2.2834	5.91
	Error	288	111.2	0.38611	
HESTC3	Arbol*	31	52.9875	1.7092	4.85
	Error	288	101.4	0.3520	
CANRESI	Arbol*	31	825.75	26.6370	14.72
	Error	288	521.00	1.8090	

*= diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.01$.

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios y F= valor de F calculada.

5.1.3.2 Características de Conos

Las variables estudiadas en conos también mostraron diferencias altamente significativas a un nivel de probabilidad de $P \leq 0.01$ lo que demuestra que existen diferencias entre árboles dentro de la población. En el Cuadro 8 se presentan los valores del análisis de varianza para el ancho, largo y número de semillas en conos, ancho de escama, largo de escama, y ancho y largo de apófisis.

El Cuadro 9 muestra los componentes de varianza para las características de ancho y longitud de semilla y longitud de ala, el factor árbol y el factor cono mostraron diferencias altamente significativas; lo que sugiere que existe una gran variación entre conos dentro de árboles y entre árboles, la mayor fuente de variación correspondió al componente árbol, seguida por la variación debida al error, a excepción de la longitud de ala en el cual la segunda fuente de variación es debida al factor cono aunque las diferencias entre cada componente son relativamente pequeñas.

5.1.4 Análisis de Correlación

Este análisis se realizó entre cada una de las variables morfológicas y con diámetro y altura del árbol y por último con el factor geográfico altitud (a.s.n.m.). Algunas de estas relaciones (Cuadro 10) fueron esperadas por la interdependencia de algunos caracteres, mientras que en otras se tratará de explicar algún significado. Entre los resultados que este análisis mostró se encontró una correlación positiva relativamente

Cuadro 8. Análisis de varianza de variables estudiadas en conos de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

CARACTER	FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F
ANCHCONO	Arbol*	31	21.4732	0.6926	9.75
	Error	128	0.0954	0.0710	
LONGCONO	Arbol*	31	114.2191	3.6844	32.84
	Error	128	14.3618	0.1122	
SEMCON	Arbol*	31	123696.00	3990.1935	11.92
	Error	128	42840.40	334.6906	
ANCHESC	Arbol*	31	21.3270	0.6879	59.63
	Error	1568	18.0906	0.0115	
LONGESC	Arbol*	31	153.9321	4.9657	68.11
	Error	1568	114.3209	0.0729	
ANCHAPO	Arbol*	31	19.3109	0.6229	38.62
	Error	1568	25.2940	0.0162	
LONGAPO	Arbol*	31	11.8654	0.3827	24.48
	Error	1568	24.5179	0.0156	

*= diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.01$.

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrados medios y F= valor de F calculada.

Cuadro 9. Componentes y análisis de varianza de variables estudiadas en semillas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

CARACTER	FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	F	COMPONENTES DE VARIANZA ESTIMADOS	ESPERANZA DE LOS CM
ANCHSEM	Arbol*	31	0.5514	0.0177	16.67	0.009	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)} + 15\sigma^2$
	Cono*	128	0.4344	0.0033	3.18	0.0007	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)}$
	Error	320	0.3415	0.0010		0.0010	σ^2_e
LONGSEM	Arbol*	31	1.4617	0.0471	21.03	0.0026	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)} + 15\sigma^2$
	Cono*	128	0.9542	0.0074	3.32	0.0017	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)}$
	Error	320	0.7176	0.0022		0.0022	σ^2_e
LONGALA	Arbol*	31	19.2944	0.6224	53.16	0.03762	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)} + 15\sigma^2$
	Cono*	128	7.4242	0.0580	4.95	0.01543	$\sigma^2_e + 3\sigma^2_{a(c)}$
	Error	320	3.7267	0.0117		0.0117	σ^2_e

* diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.01$.

GL= grados de libertad, SC= suma de cuadrados, CM= cuadrado medio, F= valor de F calculada.

Cuadro 10. Análisis de correlación para 15 variables y altura sobre el nivel del mar de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

LONGACI														
LONGACI	1.00000	HESTC1												
HESTC1	0.31926	1.00000	HESTC2											
HESTC2	0.17981	0.63408	1.00000	HESTC3										
HESTC3	0.39775	0.63691	0.76109	1.00000	CANRESI									
CANRESI	0.36031	0.45305	0.29315	0.45285	1.00000	ANCHCON								
ANCHCON	0.17440	-0.05323	0.30405	0.19051	0.07848	1.00000	LONGCON							
LONGCON	0.24477	0.03161	0.39989	0.25283	0.07453	0.90070	1.00000	SEMCON						
SEMCON	-0.15018	-0.09495	0.11609	-0.00326	-0.14074	*0.54311	*0.51766	1.00000	ANCHESC					
ANCHESC	0.38680	0.20272	0.26236	0.19328	0.10183	0.73662	0.64141	0.26207	1.00000	LONGESC				
LONGESC	0.23391	-0.09924	0.28905	0.27986	0.14359	0.52744	0.55548	-0.03454	0.43139	1.00000	ANCHAPO			
ANCHAPO	0.53542	0.34639	0.26810	0.24046	0.18968	0.55092	0.46911	0.03925	0.91727	0.25912	1.00000	LONGAPO		
LONGAPO	0.37332	0.03466	0.10912	0.09966	0.14229	0.26242	0.28453	-0.35516	0.48370	0.61019	0.58550	1.00000	ANCHSEM	
ANCHSEM	0.40454	0.39113	0.02881	0.20881	0.38152	0.08304	-0.02705	-0.40463	0.37143	0.16333	0.48851	0.41410	1.00000	LONGSEM
LONGSEM	0.36415	0.25269	0.40612	0.47395	0.28303	0.31179	0.28959	-0.20955	0.37909	0.41602	0.41601	0.41846	0.52756	1.00000 ANCHALA
ANCHALA	0.32302	0.09540	0.39414	0.21971	0.33966	0.48655	0.55921	-0.00180	0.44327	0.77824	0.34879	0.51674	0.17465	0.18344 1.00000 ASNM
ASNM	0.27084	0.27963	0.32073	0.30796	0.07926	-0.41371	0.35685	*-0.52985	-0.20581	-0.13226	0.06797	0.24562	0.07072	0.13064 0.04823 1.00000 DIAM.
ALTURA	0.4056	-0.42	0.18591	0.0981	-0.05837	0.45566	0.40196	0.08767	0.47750	0.21778	0.09221	-0.46120	*0.80628	*0.8381 *0.83805 -0.72026 1.000 ALTURA
DIAMETRO	0.3474	0.0941	0.08578	0.31329	0.02062	0.32397	0.28281	0.13377	0.45557	0.20677	0.58747	0.42649	-0.0311	-0.20436 0.25192 -0.20438 0.32504 1.00

*=diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.05$.

alta entre número de semillas en cono y ancho de cono ($r=.54$); y número de semillas en cono y longitud de cono ($r=.51$) lo cual sugiere que a mayor ancho y longitud de conos mayor número de semillas. Esta misma relación se ha encontrado en especies como *Pinus banksiana* (Jeffers, 1972) y *Pinus greggii* (Plancarte, 1988). De acuerdo a esto se puede tener una estimación relativamente confiable de la producción de semilla por cono de acuerdo a la longitud de este, pese a esto no hay que olvidar que la producción de semilla por cono a sido relacionada con otros factores como por ejemplo en *Pinus greggii* esta relación ha tratado de explicarse con la intervención indirecta de otros factores como densidad del arbolado (Plancarte, 1990), otros autores han atribuido la producción de semilla a una distribución geográfica (Ying y Illingworth, 1985). Según Ruby (1967) la longitud del cono puede ser una adaptación para acomodar mas semillas o semillas largas.

Las características longitud y ancho de semilla y longitud de ala presentaron una correlación muy alta con la característica de altura del árbol con $r=.83$, $r=.80$ y $r=.83$ respectivamente, la altura del árbol parece influir sobre las características de la semilla relacionado probablemente con un crecimiento vigoroso del árbol. Aunque en este estudio la relación semillas por cono y diámetro es baja ($r=.13$), se ha encontrado que en *Pseudotsuga menziessi* existe una relación entre la producción de semillas por cono y diferentes clases de diámetro (Shearer, 1985).

Entre las correlaciones negativas sobresale la que ocurrió entre el número de semillas en cono y la altitud con un valor relativamente alto ($r=-.52$), sugiriendo que conforme la altitud es mayor el número de semillas disminuye. Aun cuando otros

autores han reportado una relación positiva alta entre características morfológicas de semillas y la altitud para varias especies (Romero, 1995) en este trabajo la altitud parece ser un factor menor y para el caso de semillas por cono un factor negativo, esta misma tendencia se ha observado en otras especies como *Pinus greggii* en donde se obtuvieron correlaciones negativas ($r=-20$) entre ambas características (Cornejo, 1992). En *Pinus taeda*, el número de semillas por cono ha mostrado una correlación positiva alta con la latitud y longitud y una correlación baja con la elevación debida principalmente a un diferencial de adaptación entre procedencias (Ying y Illingworth, 1985). En un estudio para *Pseudotsuga menziesii* se encontró que la localización de la zona femenina del árbol varia de acuerdo a la altitud, los conos se encontraron en la parte alta de la copa a elevaciones altas y en la parte baja de la copa a elevaciones menores (Roller citado por Jeffers, 1971). Es posible que estas diferencias de número de semillas entre árboles se deban a diferentes efectos ambientales experimentados por el árbol madre durante el desarrollo de la semilla.

También se observó una correlación negativa ($r=-.72$) entre la altura del árbol y la altitud, sugiriendo que a mayor altitud menor altura del árbol.

5.1.5 Generalización de Resultados

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en este estudio y en los reportados por Molina (1987) y Rico (1997a) la población de Isla Cedros muestra características diferentes a la población de Isla Guadalupe y las poblaciones de California, se puede generalizar que las diferencias más notorias entre las poblaciones mexicanas de Isla

Guadalupe e Isla Cedros se encontraron para las características de acículas. Los conos de Isla cedros son más pequeños que los de Isla Guadalupe. Las características de semilla no muestran diferencias marcadas entre la población de Isla Cedros e Isla Guadalupe.

Pinus radiata var. *cedrosensis* muestra una alta variación intrapoblacional en todas las características morfológicas y anatómicas estudiadas. Aún cuando la población estudiada no se encuentra en un área de distribución extensa o con transiciones muy marcadas, la diversidad entre los árboles de esta población es grande, atribuida probablemente a factores genéticos más que ambientales. Esta gran variabilidad se ha presentado en otras especies también de distribución restringida como *Pinus maximartinezii* (García, 1986) cuya restricción obedece a barreras de dispersión. En el caso de *Pinus radiata* de Isla Cedros su aislada distribución probablemente obedece a barreras geográficas. Uno de los aspectos más importantes en poblaciones genéticas es que las poblaciones con gran cantidad de variabilidad genética son mejores para adaptarse a cambios de hábitat, los pinos de Isla Cedros parecen cumplir con este requisito por lo que podrían utilizarse dentro de programas de mejoramiento para plantaciones a nivel operacional bajo las condiciones adecuadas.

5.2 Ensayo de progenie

5.2.1 Características fisiológicas

En los Cuadros 11 y 12 se presentan los resultados del análisis de varianza, promedios y valores extremos para las variables porcentaje de emergencia y vigor germinativo. El porcentaje de emergencia se analizó mediante la transformación arco seno y posteriormente los valores medios se expresaron en porcentajes. En estas dos variables los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativa ($P \leq 0.01$) al nivel de familias.

Cuadro 11 Medias y valores extremos de porcentaje emergencia y vigor germinativo en 36 familias de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	Media	Valor máximo	Valor mínimo
% de Emergencia	66%	100	30
Vigor germinativo (días)	35.72	50.45	25.55

Cuadro 12. Análisis de varianza y significancia de porcentaje de emergencia y vigor germinativo en 36 familias de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	Cuadros medios			
	Familia gl 35	Bloque 3	Fam x Bloq 105	Error 1296
% de Emergencia	0.0591*	0.0405	-	0.0128
Vigor germinativo (días)	1070.7245*	3306.0311*	157.7617*	77.1331

*= diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.01$.

El porcentaje de emergencia promedio fue de 65% (13 plántulas por parcela) con valores extremos de 32 % y 81 % en las familias 11 y 28 respectivamente, es importante mencionar la presencia de plántulas albinas cuyos porcentajes de ocurrencia fueron de

1% en las familias 8, 10 y 7; estas plántulas mostraron dos tipos de mutación, en la familia 8 presentaban un color verde claro, mientras que en las familias 10 y 7 los cotiledones eran de un color amarillo muy tenue. Estas plántulas tuvieron una sobrevivencia que varió de una semana hasta tres por lo que no se tomaron en cuenta para este estudio.

En los pinos la polinización es cruzada o alógama, sin embargo en algunas coníferas y otras especies con mecanismos de polinización cruzada, diversos estudios han demostrado que en poblaciones aisladas con un reducido número de individuos, aumenta considerablemente la frecuencia de autopolinización la cual incrementa las frecuencias de genes recesivos y carga genética en estado de homocigosis de la población, provocando en las progenies serios problemas como la existencia de albinismo, depresión en la tasa de crecimiento de plántulas así como la producción de semillas vanas o con embriones mal formados (Niembro, 1986; Sorensen y Miles, 1989; Mathenson et al., 1989).

El albinismo y otras deficiencias clorofilicas han sido observadas en plántulas de *Pinus elliottii* var. *elliottii* y otras coníferas (Squillace y Kraus, 1963). Aunque los individuos albinos pueden interpretarse como una evidencia de autopolinización existen otras formas de endogamia que pueden dar lugar a mutantes homocigotos, como en el caso de que un árbol crezca en un grupo de medios hermanos en una masa natural y se encuentren muy cerca uno del otro o en un segundo caso un árbol puede ser polinizado por el árbol progenitor madre (Sorensen, 1973). El árbol 22 (familia 7) y 30 (familia 8) localizados en el bosque norte de la zona de estudio, son individuos aislados del

manchón principal del bosque ubicados sobre las parte mas baja de este, y por tal razón se contempla que presenten cierto grado de endogamia. El árbol 50 (familia 10) se localiza en el bosque central donde existe una abundante regeneración inducida por incendios ocurridos hace varios años, lo que dio lugar probablemente a que en determinado tiempo los individuos reproductores fueran pocos o quedaran aislados de otros (Rico, comunicación personal) esto posiblemente ocasionó que individuos emparentados hayan estado reproduciéndose entre sí, al encontrarse cercanos uno del otro, o al existir diferencias en el tiempo de floración con los demás individuos.

El promedio en el tiempo de emergencia (vigor germinativo) para las familias estudiadas fue de 35 días con valores extremos de 50 días presentado por la familia 30 y 25 días en la familia 36, aún cuando en esta última familia las plántulas comenzaron a emerger primero no significó que fuera la de mayor altura, como se observa mas adelante. Las diferencias en porcentaje de emergencia y vigor germinativo han sido relacionadas con características de la semilla como peso, volumen y tamaño (Wells, 1964; Clair y Adams, 1991). En *Pinus taeda* L. el tamaño y principalmente el peso de la semilla están fuertemente asociados con el vigor germinativo (Dunlap y Barnett, 1983).

5.2.2 Características morfológicas

El número de cotiledones presentó un valor promedio de 6 con valores medios que fluctuaron desde 5 hasta 7 en las familias 14 y 28 respectivamente. Esta característica mostró una variación altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre las familias estudiadas. Squillace (1966) señala que el número de cotiledones está fuertemente

relacionado con el peso de semilla teniendo por lo tanto efectos procedentes del árbol progenitor. En *Picea abies* y *Picea glauca* el mayor número de cotiledones está relacionado con un mayor tamaño de semilla (Popov, 1982). Se ha demostrado también que el número de cotiledones y el peso de la semilla tienen una fuerte relación con la calidad de plántulas (Isik, 1986).

Cuadro 13 Medias y valores extremos en características morfológicas de plántulas en 36 familias de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	Media	Valor máximo	Valor mínimo
Número de cotiledones	6.21	7.32	5.24
Longitud de cotiledones (cm)	3.36	4.51	2.59
Altura (cm.)	4.48	5.88	3.63
Longitud del hipocotilo (cm)	1.79	2.14	1.33

Cuadro 14. Análisis de varianza y significancia en características morfológicas de plántulas en 36 familias de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	Cuadrados medios			
	Familia gl 35	Bloque 3	Fam x Bloq 105	Error 1296
Número de cotiledones	8.0403*	1.4308	0.7956	0.8253
Longitud de cotiledones	5.9667*	0.8141	0.4493*	0.2460
Altura	9.1896*	10.6674*	1.6936*	0.7908
Longitud del hipocotilo	1.1584*	3.0205*	0.3501*	0.1410

*= diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.01$.

La longitud de los cotiledones exhibió una media de 3.3 cm con valores extremos de 4.5 presentado en la familia 31 y 2.5 mostrado en la familia 13. El análisis de varianza mostró una variación altamente significativa ($P \leq 0.01$) entre y dentro de familias para esta característica.

La altura promedio a los tres meses de edad fue de 4.48 cm aunque las medias de las familias variaron desde 3.63 hasta 5.88 cm en las familias 14 y 31 respectivamente. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre familias.

Las diferencias de altura entre familias pueden probablemente ser atribuidas al efecto de peso de semilla y velocidad de germinación por familia (Waxler y Van Buijten, 1981). En especies como *Picea mariana* y *Pinus sylvestris* el desarrollo de las plántulas es influenciado por el tamaño de semilla y el vigor germinativo durante los primeros periodos de crecimiento, aunque se ha observado que posteriormente el efecto del tamaño de semilla declina con el tiempo y la influencia del origen geográfico incrementa (Wright y Bull, 1963). El efecto maternal expresado a través de las diferencias en peso de semilla puede contribuir en diferencias de crecimiento inicial de las progenies de diferentes familias, aunque tal efecto esta influenciado por el ambiente competitivo en el cual las plántulas están creciendo (Clair y Adams, 1991). Wakeley (1947) señala que debido a mayores reservas alimenticias, la semilla grande produce plántulas más altas y vigorosas.

Esta característica es un indicador del potencial de sobrevivencia en el campo y es un factor especialmente importante en sitios desfavorables ya que las plantas altas pueden tener ventaja en lugares con maleza, daños por nieve o animales (Cleary et al., 1980), sin embargo no es un buen indicador de crecimiento a futuro por estar influenciado por la variación de factores ambientales (Wenger, 1955). La diferencia entre los valores promedio extremos en las familias del presente estudio es de más de 1

cm, por lo este aspecto debería ser tomado en cuenta al momento de efectuar cualquier selección en un programa de mejoramiento que se pretenda iniciar.

La longitud promedio del hipocotilo fue de 1.7 mm con valores extremos de 1.3 correspondiente a la familia 14 y 2.1 alcanzada en la familia 34. En especies como *Pinus caribaea* la longitud del hipocotilo ha sido reportada como una variación genética entre procedencias (Venator, 1974).

Para las características emergencia, longitud del hipocotilo y altura el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en bloques sugiriendo variaciones ambientales por efecto del lugar donde se estableció el ensayo, aun cuando esté se coloco dentro del invernadero.

En las características de número y longitud de cotiledones las diferencias significativas observadas en el análisis de varianza se presentaron en familias y bloque*familia sugiriendo la existencia de un alto grado de control genético.

La familia 31 de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan tuvo diferencias significativas en comparación con el resto de las familias encontrándose en el primer grupo con los valores mas altos para las características vigor germinativo, altura y longitud de cotiledones. La familia 14 tuvo los valores más bajos en las características altura, longitud del hipocotilo cotiledones y longitud de cotiledones.

5.2.3 Contribución a la varianza total

Al separar la contribución relativa de las diferentes fuentes de variación de la variación fenotípica total se observó que a pesar de la variación significativa entre familias, esta fuente sólo contribuyó con menos del 12 % de la varianza total con valores extremos de 11.92% para longitud del hipocotilo y 46% para germinación (Cuadro 15).

La mayor fuente de variación en todas las características estudiadas la aportó el error lo que en este caso es la varianza dentro de parcelas. Este mayor porcentaje de variación dentro de parcelas se debe tanto a efectos microambientales dentro de la parcela, como a efectos genéticos, ya que de las familias de medios hermanos, tres cuartas partes de la varianza aditiva se encuentran dentro de ellas (individuos en una misma parcela) (Manzo, 1992). Con respecto a las variables, se observó que el número de cotiledones tuvo la aportación mas alta a la varianza total con un 80.7 % mientras que la aportación más baja se presentó en el vigor germinativo con un 51.2%.

La contribución de la interacción bloque*familia fue pequeña a excepción de la longitud del hipocotilo con un valor de 11.77%, el cual fue muy cercano al valor aportado por la familia. Si bien existieron diferencias significativas entre bloques su contribución a la varianza total fue mínima con valores de 2 % a 7.86%.

La variación encontrada dentro y entre familias fue altamente significativa lo que podría utilizarse para dar lugar a una buena intensidad de selección dentro y entre las

Cuadro 15. Componentes de varianza absolutos y en porcentajes en el ensayo de progenie de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	Componentes de varianza								
	Familia		Bloque		Fam x Bloq		Error*		Total
	%	absoluto	%	absoluto	%	absoluto	%	Absoluto	
% de Emergencia	46	0.0115	2.8	0.0007	-	-	51.2	0.0128	0.025
Vigor germinativo	19.84	23.4631	7.86	9.2911	7.08	8.3796	65.22	77.1331	118.2669
Numero de cotiledones	19.2	0.1975	0.1	0.0016	0	-0.0031**	80.7	0.8253	1.0213
Longitud de cotiledones	36.04	0.1517	.238	0.0010	5.27	0.0222	58.45	0.2460	.4209
Altura	18.27	0.2061	2.81	0.0317	8.82	0.0995	70.1	0.7908	1.1281
Longitud del hipocotilo	11.92	0.0233	4.19	0.0082	11.77	0.0230	72.12	0.1410	.1955

* varianza dentro de familias.

** teóricamente componentes de varianza negativos no existen, por lo que este valor se considera como 0.

mejores familias. Esta amplia variación intraespecífica probablemente revela que los procesos de presión de selección han dado lugar a diferentes grados de adaptación entre familias, lo cual sugiere que la población bajo estudio podría ser capaz de responder favorablemente a diferentes sitios de plantación por la plasticidad que presenta.

5.2.4 Heredabilidad

Aunque las estimaciones de heredabilidad se realizan con algún error; las proporciones obtenidas son indicación relativa del control genético existente (Zobel y Talbert, 1994). En términos generales en la mayoría de las características de crecimiento estudiadas, los valores de heredabilidad individual, familiar y de individuos dentro de familia fueron altos, lo que sugiere que tales características para las condiciones de este estudio están bajo un alto control genético (Cuadro 16).

Cuadro 16. Heredabilidad en el sentido estricto de características morfológicas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Variable	σ^2_A	σ^2_P	h^2_i	h^2_F	h^2_{iF}
Número de cotiledones	0.79	1.01	0.77	0.90	0.71
Longitud de cotiledones (cm)	0.60	0.41	1.44	0.92	1.85
Altura (cm.)	0.82	1.09	0.75	0.89	0.78
Longitud del hipocotilo (cm)	0.09	0.18	0.49	0.71	0.16

σ^2_A =varianza genética aditiva, σ^2_P =varianza fenotípica, h^2_i =heredabilidad individual, h^2_F =heredabilidad de familias, h^2_{iF} =heredabilidad de individuos dentro de familias.

El valor mas bajo en heredabilidad individual como en familias fue la longitud del hipocotilo lo que sugiere que su respuesta a una selección temprana sería baja a esta edad de la plántula, dada su menor variación aditiva y fenotípica. Hipocotilos largos

pueden tener un significado adaptativo para competir por luz a edades muy tempranas de las plántulas, contrariamente plantas con hipocotilos largos son más susceptibles a diferentes daños ambientales como depredadores y deterioro por calor en el verano (Isik, 1986).

La longitud de cotiledones presentó valores de heredabilidad ligeramente mayores a los de las características restantes tanto a nivel individual como a nivel de las familias.

Los valores de heredabilidad de familias fueron mayores que los valores de heredabilidad individual y heredabilidad individual dentro de parcelas, con excepción de la longitud del hipocotilo, lo que sugiere que la selección familiar podría tener una buena respuesta para el resto de las características estudiadas. En otros estudios como los de Maza (1994) y Galeote (1995) para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Hernández (1995) para *Pinus engelmannii* y Mendoza (1995) para *Pinus greggii* los valores de heredabilidad también han sido más altos en las familias que en individuos.

Los valores de heredabilidad superiores a 1 podrían explicarse debido a que la varianza de familias esta sobrestimada y al multiplicarla por 4 para calcular h^2_I , la varianza aditiva resulta mayor que la varianza fenotípica, lo cual teóricamente no es posible. Las explicaciones posibles de una probable sobrestimación de la varianza son cuatro: a) no todos los individuos de algunas progenies son medios hermanos, algunos son hermanos completos, b) algún tipo de error aleatorio está presente en la varianza entre familias, c) cierta proporción de interacción genotipo*ambiente esta confundida

con la varianza aditiva y d) existen efectos maternos confundidos con la varianza aditiva (Lowe et al, 1983; Saenz, 1991).

Diversos estudios han demostrado que el efecto materno parece expresarse con mayor magnitud a edades tempranas y bajo condiciones mas o menos uniformes; Saenz, (1991) en *Pinus patula* realizó mediciones a los 3, 10, 17, 23 y 38 meses de edad, la heredabilidad presentó un comportamiento diferencial en cuatro etapas, en la primera etapa (3 meses) la heredabilidad presentó valores máximos con una heredabilidad individual y heredabilidad de individuos dentro de familias de 1.05 y 1.19 respectivamente, a partir de la segunda etapa (10 meses) los valores de heredabilidad disminuyen al tiempo que el error alcanza un nivel más alto. De acuerdo a Saenz (1991) los resultados en la primera etapa son un reflejo del patrón de crecimiento en el vivero donde las condiciones son homogéneas y la expresión de las diferencias genéticas a nivel familia pueden expresarse al máximo.

Manzo (1992), en dos pruebas de progenie para *Pinus caribaea* var. *caribaea* reportó valores de heredabilidad altos, para el primer ensayo la heredabilidad individual en altura a la edad de 6 meses fue de 1.35, mientras que en el segundo ensayo la heredabilidad individual en altura a los 9 meses fue de 1.19; atribuyendo estos valores a una sobreestimación debida posiblemente a efectos maternos que son mayores en edades tempranas asociados con el tamaño de semilla, así como el hecho de que algunos individuos no son medios hermanos sino hermanos completos.

Para el presente estudio se contempla la posibilidad de que la polinización no fue cruzada en un 100% (basándose en la presencia de plantas albinas) por lo que la sobreestimación en los valores de heredabilidad se debe posiblemente a la presencia de hermanos completos en algunas de las familias y no medios hermanos como se pretendió para fines de análisis.

Cotterill, (1987) discute que invariablemente se omite la varianza de los bloques en el denominador de la formula de heredabilidad individual lo que puede tener una influencia substancial en la magnitud de la estimación de esta, provocando que los cálculos de heredabilidad se sobreestimen como por ejemplo en los resultados obtenidos en el ensayo de *Pinus caribaea* realizado por Dean et al. (1986). La varianza entre bloques es siempre excluida del denominador porque el efecto del bloque debería ser eliminado con anterioridad a usar arboles superiores de generación avanzada, por lo que este autor juzga pertinente hacer las debidas correcciones.

5.2.5 Correlaciones fenotípicas simples

Este tipo de correlación permite hacer una selección basándose en un carácter, en el Cuadro 17 se presentan las correlaciones entre todas las características analizadas en este ensayo.

Cuadro 17. Correlaciones fenotípicas entre características fisiológicas y morfológicas de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

GERMINACION	GERMI					
	1.00000					
EMERGENCIA	0.39660	EMERGEN				
		1.00000				
ALTURA	-0.38809	*-0.55761	ALTURA			
			1.00000			
HIPOCOTILO	-0.18873	-0.17138	0.41931	HIPOCOT		
				1.00000		
COTILEDONES	-0.49373	-0.21012	*0.62107	0.23134	COTILED	
					1.00000	
LONGCOT	0.28781	-0.23129	*0.74722	0.25335	*0.54908	LONGCOT
						1.00000

*= diferencia estadísticamente significativa a $p \leq 0.05$.

Las correlaciones fenotípicas a nivel de medias de familias dieron como resultado que el número y longitud de cotiledones están fuertemente correlacionados de manera positiva con la altura, es decir las plántulas con mayor altura generalmente presentaron un mayor número y longitud de hojas cotiledonares.

Un requerimiento primario para la sucesión evolutiva de una población de árboles forestales es que sea capaz de hacer un uso razonablemente eficiente de la energía viable en su hábitat natural. En cada ambiente particular la eficiencia fotosintética es un factor vital en determinar la sucesión de una población dada (Townsend y Hanover, 1972). Las plántulas en la etapa crítica de su establecimiento dependen solamente de los cotiledones para su fotosíntesis (Isik, 1986).

La longitud de los cotiledones, que determina el área fotosintética de los mismos puede estar relacionada con la tasa de crecimiento de las plántulas a edad temprana

(Harper et al, 1970); el vigor en altura de plántulas de *Pinus taeda*, *Pinus palustris* y *Pinus echinata* de 1, 2, y 3 años ha sido fuertemente relacionado con el contenido de clorofila y nitrógeno (McGilvary et al, 1982). Hernández (1995) encontró una correlación positiva entre el número y longitud de cotiledones con la producción de biomasa al año de edad en plántulas de *Pinus engelmannii* Carr.

Se obtuvo un alto coeficiente de correlación negativa ($r=-.55$) entre la altura y el vigor germinativo, de acuerdo a esto la emergencia temprana de las familias influirá sobre la altura de las mismas. El número de cotiledones y el vigor germinativo presentaron una correlación negativa ($r=-0.49$).

La longitud del hipocotilo presentó una asociación baja con el número de cotiledones ($r=.23$) y longitud de cotiledones ($r=.25$) y una correlación media con altura ($r=.41$).

Considerando los resultados del análisis de varianza y heredabilidad podría existir una buena posibilidad en hacer una selección familiar para la población, basándose en familias con un determinado número de cotiledones para obtener plántulas de mayor altura. Sin embargo debe tenerse presente que la heredabilidad es una estimación válida para una especie, un tiempo y una localidad determinada (Falconer, 1986), por lo que se recomienda continuar con este estudio para determinar si estas diferencias y correlaciones se mantienen a lo largo de un periodo determinado de tiempo o bien varían conforme éste avanza.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de varianza indica que las 15 variables morfológicas y anatómicas evaluadas estadísticamente en conos y acículas presentan diferencias significativas al 99% de probabilidad entre árboles.

En todas las características la mayor contribución a la varianza total fue la del árbol.

El análisis de correlación no mostró ninguna tendencia significativa con la altitud, por lo que deben considerarse otros factores que ayuden a dilucidar de manera mas clara el origen de la variación dentro de la población.

El conjunto de familias estudiadas en el ensayo de progenie mostró diferencias altamente significativas para las características de porcentaje de emergencia y vigor germinativo, así como en las características de número de cotiledones, longitud de cotiledones, altura y longitud del hipocotilo.

La variación a nivel de individuos dentro de parcelas fue el componente que contribuyó en mayor proporción a la varianza total.

Los valores de heredabilidad individual, individuos dentro de familia y familiar fueron relativamente altos, especialmente éstos últimos por lo que se recomienda continuar con este estudio para dilucidar si su comportamiento temprano sigue manteniéndose a etapas cercanas a la madurez, con el propósito de recomendar una estrategia de selección basándose en las mejores familias.

Pinus radiata var. *cedrosensis* a pesar de su localización restringida y el tamaño reducido de su población comparado con otras coníferas, presenta una variación grande la cual puede aprovecharse para la conservación *ex situ* con buenos resultados.

Se recomienda establecer un huerto semillero sexual a partir de árboles superiores, seleccionados sobre la base de los resultados del ensayo de progenie, los cuales podrán ser utilizados como progenitores dentro de un programa de cruzamiento y producción de semillas.

VII. BIBLIOGRAFIA

- ARTEGA, B. M. Y B. ETCHEVERES 1988. *Pinus radiata* en México y el mundo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 88 p.
- BANNISTER, H. M. AND C. MCDONALD 1983. Turpine composition of the pines of Guadalupe and Cedros Islands, Baja California. New Zeland Journal of Botany 21:373-377.
- BARNETT P. J. AND C. J. BRISSETTE 1986. Producing southern pine seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. SO-59, New Orleans. LA:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experimental Station. p.p. 51-54.
- BARRET, W. H. G. 1972. Variación de caracteres morfológicos en poblaciones naturales de *Pinus patula* Schl. Et Cham. En México. I. D: I. A. Suplemento Forestal No 7:9-35.
- BERISTAIN, B. J. 1992. Variación morfológica y anatómica de acículas de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 93 p.
- BERMEJO V. B. 1980. Estudio de variación de características morfológicas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. en Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 104 p.
- BERMEJO, V. B. 1986. Variación natural de caracteres de acículas, conos, semillas, plántulas y madera de seis poblaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. De la región central de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 108 p.
- BONILLA, A. V. O. 1993. Variación natural en *Pinus hartwegii* Lindl.: longitud de traqueidas de la madera a lo largo del eje Neovolcánico. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 83 p.
- BURDON D. R. AND B. C. LOW 1976. Variation in needle characters of *Pinus radiata* from Mainland California. New Zeland Journal Forestry 7(1):16-20.
- BURNS, R. AND B. HONKALA 1990. Silvics of North America. Forest service. Agriculture handbook 654 Vol. 1. Washington, D. C. 675 p.

- CABALLERO, M. AND B. BERMEJO 1994. An overview of diversity and richness of mexicans pine species. *Ecodecision* (Canada) p.p. 82-83.
- CAMPOVERDE, M. J. O. 1997. Ensayo de procedencia y progenie en plántulas de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr y Golf. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 61 p.
- CIGARRERO, C. C. 1994. Evaluación temprana de seis procedencias y 108 familias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades del estado de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 65 p.
- CLAUSEN, K. 1990. Diseños genéticos y pruebas de progenies. In Mejoramiento genético y plantaciones forestales: Memoria. Eguluz, T. y A. Plancarte (ed.) Centro de Genética Forestal, A. C. p.p. 67-77.
- CLEARY, B. D., GREAVES D. R. AND W. P. OWSTON 1980. Seedlings. In: Regenerating Oregons Forest. (B. D. Cleary, D. R. Greaves and R. K. Hermann, Eds.). Oregon State University, Corvallis. pp. 63-97.
- CORNEJO, M. G. 1992. Variación morfológica de conos y semillas de once poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 71 p.
- COTTERILL, P. P. 1987 On estimating heritability according practical applications. *Silvae Genetica* Vol. 36(1): 46-48.
- COTTERILL, P. P. AND C. A. DEAN 1988. Changes in the genetic control of growth of Radiata pine to 16 years and efficiencies of early selection. *Silvae Genetica* Vol. 37(3-4): 138-146.
- DEVORAK, W. S. AND J. K. DONAHUE 1993. Reseña de investigaciones 1980-1992. CAMCORE. 94 p.
- DEVEY, M. 1997. Super 80055 radiata pine, sujet of research in Australian and New Zeland. Dendrome forest tree genome research. Table of contents Vol 1(2).
- DORMAN, W. K. 1976. The genetics and breeding of Souther pines. Departament of Agriculture, U. S. Forest Service. Agriculture handbook No 471. 407 p.
- DUNLAP, R. J. AND P. J. BARNETT 1983. Influence of seed size on germination and early development of lobolly pine (*Pinus taeda* L.) germinants. *Can. J. For. Res.* Vol 13:40-44.
- FALCONER, D. S. 1986. Introducción a la genética cuantitativa. México. CECSA. 383 p.

- FALKENHAGEN, R. E. 1991. Provenance variation in *Pinus radiata* at six sites in South Africa. *Silvae Genetica* Vol. 40(2):41-50.
- FARJON, A.; A. J. PEREZ DE LA ROSA & T. B. STYLES 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. Royal Botanic Gardens y Oxford Forestry Institute. 152 p.
- FIELDING, M. J. 1961. The pines of Cedros Island, México. *Australian Forestry*. 25(2):62-65.
- FISHER, R. A. 1930. The genetical theory of natural selection. Clarendon Press, Oxford. 272 p.
- FOLEY, A. T. 1965. Industries based on exotic conifer forest. *Unasylva* Vol. 19(76):8-13.
- FORDE, B. M. 1964a. Variation in natural populations of *Pinus radiata* in California. Part 2 Needle Characters. *New Zealand Journal Botany*. 2:237-257.
- FORDE, B. M. 1964b. Variation in natural populations of *Pinus radiata* in California. Part 3 Cone Characters. *New Zealand Journal Botany*. 2(4): 459-485.
- FORDE, B. M. 1964c. Variation in natural populations of *Pinus radiata* in California. Part 4 Discussion. *New Zealand Journal Botany*. 2(4):486-501.
- FURNIER, G. R. 1997. Métodos para medir variación genética en las plantas. In: Manejo de recursos genéticos forestales. Vargas H., Bermejo V. y Leding T. (Ed.). Colegio de postgraduados y Centro de Genética Forestal A. C.. p.p. 23-36.
- GALEOTE, R. M. A. 1995. Ensayo de procedencias y progenies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr & Golf. En la Sabana, oaxaqueña. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 89 p.
- GARDNER, E. J.; SIMONS M. J. AND D. P. SNUSTAD 1991. Principles of genetics. Octava edición. Edit. John Wiley & Sons Inc. 649 p.
- GARCIA, N. R. M. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 54 p.
- HARPER, J. L. LOVELL P. H. AND R. G. MOORE 1970. The shapes and sizes of seeds. In: Annual Review of Ecology and Systematics. (R. F. Johnston, P. W. Franck, Ch. D. Michener, Eds.). 1: 327-356.

- HERNANDEZ, G. J. J. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* de Oaxaca y Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 91 p.
- HERNANDEZ, P. C. 1995. Variación geográfica y genética en el crecimiento inicial de *Pinus engelmannii* Carr. en condiciones de invernadero. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 99 p.
- HOWELL, J. T. 1941. The closed-cone pine of insular California. Leaflets of Western Botany. 3:1-8.
- HUSCH, B. 1983. Forestry in Chile. Journal of Forestry. 80(11): 735-738.
- INEGI, 1988. Atlas nacional del medio físico. México. INEGI. 209 p.
- ISIK, K. 1986. Altitudinal variation in *Pinus brutia* Ten.: seed and seedling characteristics. Silvae Genetica Vol. 35(2-3): 58-66.
- JASSO, M. 1991. Agricultura sostenible una opción para el desarrollo sin deterioro ambiental. El mejoramiento forestal en la conservación y restauración de áreas forestales. Texcoco, México. Memorias del primer simposio nacional. Colegio de Postgraduados. pp.203-230
- JASSO, M. et al. 1978. Recursos genéticos forestales de México. Análisis de los recursos genéticos disponibles en México. México. Cervantes ed. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. pp. 423-437
- JEFFERS, M. R. 1972. Cone characteristics and seed yield in jack pine. In 19th Northeastern Forest tree improvement Conference. Schreiner J. E. (ed.) 1971 August 2-4 University of Maine Orono, Maine. p.p. 35-46.
- JOHNSEN, H. K. AND E. J. MAJOR 1997. Técnicas ecofisiológicas en la evaluación de germoplasma. In. Manejo de recursos genéticos forestales. Vargas H., Bermejo V. y Leding T. (Ed.). Colegio de postgraduados y Centro de Genética Forestal. 179-211.
- KEIN, 1989. Effects of incomplete block design and stands structure on heritability of growth in a jack pine family test in Manitoba. Can. J. of For. Res. 19(8): 1044-1050.
- LEDING, T., VARGAS H. J. AND K. H. JOHNSEN 1998. The conservation of forest genetic resource. Journal of Forestry Vol. 96(1): 32-41.
- LIBBY, J. W. 1990. Genetic conservation of radiata pine and coast redwood. Forest ecology and management. 35:109-120.

- LOWE, W. J., STONECYPHER AND A. V. HATCHER 1983. Progenie test data hadling and analysis. Souther Cooperative Series Bulletin No 275. Texas. Texas University. p.p. 51-68.
- LOPEZ U. J. 1986. Características de la progenie de plantaciones jóvenes de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 71 p.
- LOPEZ U. J. 1990. Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 91 p.
- MANZO, V. S. 1992. Estimación de parámetros genéticos en dos pruebas de progenie del huerto clonal de *Pinus caribaea* var. *caribaea* Morelet de La Sabana, Oax. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Saltillo Méx. 116 p.
- MANZO, V. S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus patula* Schl. et Cham. y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 108 p.
- MARTINEZ, M. 1948. Los pinos mexicanos. Seg. Edición. Edit. Botas, México 366 p.
- MATHESON, A. C. BELL J. C. AND R. D. BARNES 1989. Breeding systems and genetic structure in some Central American pine populations. *Silvae Genetica* 38:107-113.
- McGILVRAY, P. J. BARNETT AND P. JAMES 1982 Relating seedling morphology to field performance of containerized southern pines. In. Proceedings Southern containerizad forest tree seedling conference. Guldin R. W.; Barnett P. J: (Eds.). 1981 August 25-27, Savannah G. A.. Gen. tech. Rep. SO-37 New Orleans, LA:U: S: Departament of Agriculture, Forest service, Southern Forest Exp. station:39-46 p.p.
- McKINLEY, C. R. 1983. Objetives of progeny tests. In progeny testing of forest trees. Southern Cooperative Series Bulletin No 275. Texas, Texas A&M University. p.p. 2-6.
- MENDOZA, H. A. 1995. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 96 p.
- MERGEN F. 1959. Investigaciones sobre genética de los árboles forestales. *Unasyuva*. Vol. 15(2): 81-88.

- MILLAR I. C., H. S. STRAUSS, T. M. CONKLE, Y D. R. WESTFALL 1987. Allozyme differentiation and biosystematics of the californian closed cones pines (subsection-*oocarpae* Litle and Crithfield). Mimeógrafo. 40 p.
- MIROV, N: T. 1967. El genus *pinus*. The Ronald press company. 602 p.
- MOLINA, D. V. 1987, Variación morfológica y anatómica de acículas de 49 taxa de pinos del pinetum "Maximino Martínez". Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 120 p.
- MORALES, B. S. 1995. Variación en caracteres morfológicos y anatómicos de acículas en poblaciones naturales de *Pinus engelmannii* Carr. y *Pinus cooperi* Blanco. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 79 p.
- MORAN G. F., J. C. BELL AND K. G. ELDRIDGE 1988. The genetic structure and the conservation of five natural population of *Pinus radiata*. Can. J. For. Res. 18:506-514.
- NICHOLLS P. J., E. H. DADSWELL AND M. J. FIELDING 1964. The heritability of wood characteristics of *Pinus radiata*. Silvae Genetica Vol 13(3): 68-71.
- NIEMBRO R. A. 1986. Mecanismo de reproducción sexual en pinos. Edt. Limusa. México, D. F. 130 p.
- NIENSTAEDT, H. 1990. Importancia de la variación natural. In Mejoramiento genético y plantaciones forestales. Eguiluz, T. y A. Plancarte (ed.): Memoria. Centro de Genética Forestal, A. C. p.p. 16-23.
- PEDERICK, L. A. 1990. Family x sites interactions in *Pinus radiata* in Victoria, Australia, and implications in breeding strategy. Silvae genetica 39(3-4): 134-140.
- PEREZ R. P. M. 1984. Variación morfológica en acículas y conos de poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del eje neovolcánico. Tesis profesional. U. N. A. M. Facultad de Ciencias. México. 106 p.
- PERRY, P. J. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon 231 p.
- PLANCARTE, B. A. 1988. Rendimiento de semilla de 2 procedencias de rodales naturales de *Pinus greggii* Engelm. Nota técnica No 2. Centro de Genética Forestal A. C., Chapingo México. 4 p.
- PLANCARTE, B. A. 1990a. Manual para el establecimiento y evaluación de ensayos de especies y procedencias. Centro de Genética Forestal A. C. Boletín técnico No 4. 36 p.

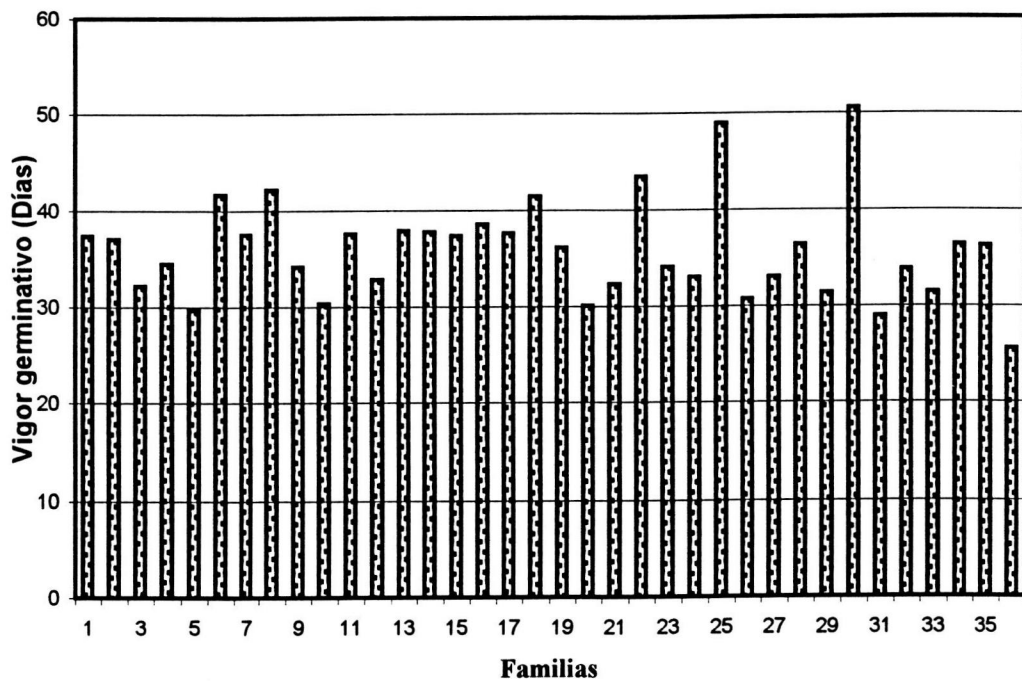
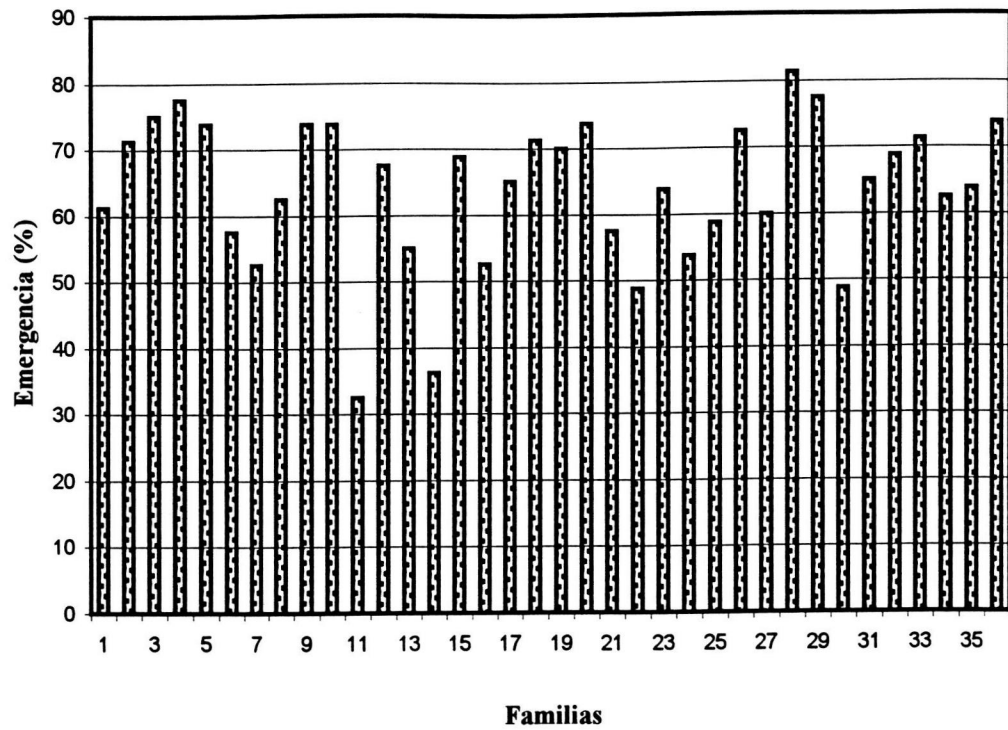
- PLANCARTE B. A. 1990b. Variación en longitud de cono y peso de semilla en *Pinus greggii* Engelm de tres procedencias de Hidalgo y Querétaro. Centro de Genética Forestal A. C. Nota Técnica # 4. Lomas de San Juan, Texcoco, México. 6 p.
- PLESSAS E. M. AND H. S. STRAUSS 1986. Allozyme differentiation among populations, stands, and cohorts in Monterey pine. Can. J. For. Res. 16:1155-1164.
- POPOV P. P. 1982. Variation in the number cotyledon in *Picea abies* and *P. obovata*. For. Abst. 1984. 41(8):407.
- RICO, C. J. 1997a. Variación morfológica en *Pinus radiata* var. *binata* (Engelm) Lemmon y *Pinus radiata* var. *cedrosensis* (Howell) Axelrod de Isla Guadalupe e Isla Cedros, B. C. N. México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Mex. 105 p.
- RICO, C. J. 1997b. La flora endémica de Isla Guadalupe, Baja California Norte, México: en peligro de extinción. Revista Chapingo Serie: Ciencias Forestales Vol 3(1). p.p. 17-24.
- ROMERO M. R. 1995. Variación morfológica en conos y semillas en poblaciones naturales de *Pinus durangensis* Martínez. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 94 p.
- RUBY, L. J. 1967. The correspondence between genetic morphological, and climatic variation patterns in Scotch pine. Silva Genetica 16(2): 50-56.
- RUIZ G. C. Y B. E. VELASCO 1994. Crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. bajo dos niveles de humedad del suelo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 108 p.
- SAENZ R. C. 1991. Control genético de algunas características de progenies de medios hermanos de *Pinus patula* Shiede y Deppe, procedentes de Sudáfrica y probadas en Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 67 p.
- SAENZ, R. C. Y A. PLANCARTE 1991. Metodología para el establecimiento y evaluación de ensayos de progenies en especies forestales. Serie de apoyo académico No 46. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 47 p.
- SALAZAR, G. G. 1994. Variación genética en el crecimiento inicial de plántulas de *Pinus chiapensis* Mtz. Andersen, bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 97 p.

- SANTIAGO, C. M. 1995. Variación en caracteres morfológicos y anatómicos de acículas en poblaciones de *Pinus duranguensis*. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 96 p.
- SAS INSTITUTE INC. 1982. SAS/Stat. User's Guide. North Carolina SAS. Inst. 584 p.
- SCOTT, C. 1960. Radiata pine as an exotic. *Unasylva* Vol 14(1). p.p. 6-16
- SHEARER C. R. 1986. Cone production en Douglas-Fir and Western Larch in Montana. Proc. conifer tree seed in Inland Mountain Mest symposium. Missoula, Montana August 5-6. Comp. Shearer C. R.. Gen Tech. Rep. INT-203. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experimental Station. p.p. 63-76
- SILVA, F. R. 1990 Análisis multivariado de caracteres morfológicos de *Pinus oocarpa* var. *ochoterenae* Mart. y *Pinus tecunumanii* (Schwer.) Eg. y Perry. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 49 p.
- SORENSEN, C. F. 1973. Frequency of seedlings from natural self-fertilization in Costal Douglas-fir. *Silvae Genetica* 22(1-2):20-24.
- SORENSEN, F. C. AND R. S. MILLES 1982. Inbreeding depression in height growth and survival of Douglas-Fir ponderosa pine and noble fir to 10 years of age. *For. Sci.* 28:283-292.
- SPURR, H. S. AND V. B. BARNES 1982. *Ecología forestal* AGT Editor. 690 p.
- SQUILLACE A. C. 1966. Geographic variation in slash pine. *Forest Science Monograph* # 10. 56 p.
- SQUILLACE A. C. AND F. J. KRAUS 1963. The degree of natural selfing in slash pine as estimated from albino frecuencies. *Silvae Genetica* Vol. 12(2): 46-50.
- ST. CLAIR B. J. AND T. W. ADAMS 1991. Effects of seed weight and rate of emergence on early growth of open-pollinated Douglas-Fir families. *Forest Science* Vol. 37(4): 987-997.
- TOWNSEND AND HANOVER 1972. Altitudinal variation in photosynthesis, growth and monoterpene composition of western white pine (*Pinus monticola* Dougl.) seedlings. *Silvae Genetica* Vol. 21(3-4):133-138.
- VARGAS H. J. 1985. Respuesta a la sequía de 4 especies de *Pinus* en estado de plántulas. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Méx. 99 p.

- VARGAS, H. J., M. J. JASSO Y V. B. BERMEJO 1994. El mejoramiento genético forestal como base para el establecimiento de plantaciones forestales. In IV Reunión nacional de Plantaciones Forestales. Arteaga M. y Musalem M. (Ed.). Memoria. México. p.p. 49-77.
- VARGAS, H. J. 1997. Diseños genéticos y métodos estadísticos en evaluación de germoplasma de especies forestales. In. Manejo de recursos genéticos forestales Vargas H., Bermejo V. y Leding T. (Ed.). Colegio de postgraduados y Centro de Genética Forestal. 141-161.
- VAZQUEZ P. S. 1988. Características de la progenie de plantaciones jóvenes de *Pinus greggii* Engelm. (Segunda etapa). Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 63 p.
- VENATOR R. C. 1974. Hypocotyl length in *Pinus caribaea* seedlings: a quatitative genetic variation parameter. *Silvae Genetica* Vol. 23(4): 130-132.
- WAKELEY, P. C. 1947. Loblolly pine seed production. *Journal of Forestry* Vol 42:676-677.
- WALTER, C. AND D. SMITH 1997. Transformes *Pinus radiata* now growth in greenhouse at the New Zelanda Forest Research Institute. *Dendrome forest tree genome research*. Vol 2 (2).
- WAXLER S. M. AND P. J. VAN BUIJTEN 1981. Early genetic evaluation of loblolly pine. *Can. Jour. For. Res.* Vol. 11(2): 351-355.
- WELLS O. O. 1964. Geographic variation in ponderosa pine. II Correlations between progeny performance and characteristics of the native habitat. *Silvae Genetica* Vol 13(5): 125-132.
- WENGER, F. K. 1955. Height growth of loblolly pine seedlings in relation to seedling characteristics. *Forest Science* Vol 1(2):158-162.
- WRIGHT W. J. AND I. W. BULL 1963. Geographic variation in scotch pine. *Silvae Genetica* Vol 12(1): 1-25.
- WRIGHT, W. J. 1964. Mejoramiento genético de los árboles forestales. FAO. Roma, Italia. 438 p.
- YAÑEZ, M. O. 1981. Estudio de la variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Martínez, de tres localidades de su distribución natural. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, Mex. 173 p.

- YING C. CH. AND K. ILLINGWORTH 1986. Variation in cone and seed production form natural stands plantations, and clonal-banks fo longepole pine. Proc. conifer tree seed in Inland Mountain Mest symposium. Missoula, Montana August 5-6, 1985. Comp. Shearer C. R.. Gen Tech. Rep. INT-203. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experimental Station. p.p. 191-199.
- ZOBEL, B. J. Y J. TALBERT 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles. UTHEA, Noriega editores. México, D. F. 545.

A N E X O S



Anexo 1. Valores promedio por familia en porcentaje de emergencia y vigor germinativo en el ensayo de progenie de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Anexo 2. Medias por familia de características evaluadas en el ensayo de progenie de *Pinus radiata* var. *cedrosensis*.

Familia	% de Emergencia	Vigor germinativo (días)	Altura (cm)	Hipocotilo (cm)	Cotiledones	Longitud De Cotiledones (cm)
1	61.25b	37.35c	4.2675b	1.6421	6.2894b	3.3405c
2	71.25c	37.05c	4.1102c	1.6538c	6.2c	3.2315d
3	75c	32.1538e	4.3435b	1.6128c	6.3589c	3.4051c
4	77.5c	34.4615d	4.4324b	1.9108b	6.1282c	3.1184d
5	73.75c	29.7f	4.0526c	1.8184b	5.7435c	2.8675d
6	57.5b	41.6315b	3.6421d	1.5667c	5.7179c	3.1236d
7	52.5b	37.4864b	4.46b	1.8b	6.4864b	3.2527c
8	62.5b	42.125b	3.9323c	1.6617c	5.8235c	3.3411c
9	73.75c	34.15d	5.2605b	2.0578b	6.75b	4.05b
10	73.75c	30.325e	4.7102b	2.0564b	6.075c	3.1575d
11	32.5 ^a	37.5416b	4.056c	1.596c	5.5833d	2.672e
12	67.5b	32.8d	4.3421b	1.9894b	6.8157b	3.1473d
13	55b	37.8974b	3.875c	1.6472c	5.8684c	2.597e
14	36.25b	37.7333b	3.6357d	1.3357d	5.2413d	2.9344e
15	68.75b	37.375c	3.8846c	1.6205c	5.525d	2.9179d
16	52.5b	38.5405b	4.0903c	2.9258c	5.5428d	3.1457d
17	65b	37.6052b	4.9512b	1.9666b	6.9117b	3.203d
18	71.25c	41.4b	4.0589c	1.6615c	6.3421b	3.3184c
19	70b	36.075c	4.9473b	1.9605b	6.3684b	3.1972d
20	73.75c	30.075e	4.6076b	1.9487b	5.85c	3.3925c
21	57.5b	32.3d	4.7657b	1.6921b	6.3947b	3.9486b
22	48.75b	43.4594b	4.1375c	1.5875c	5.6285c	3.5c
23	63.75b	34.1025d	4.5157b	1.7789b	5.7179c	3.5c
24	53.75b	33d	4.6447b	1.9421b	6.4358b	3.3846c
25	58.75b	48.9743a	4.1032c	1.8322b	6.2368c	3.4378c
26	72.5c	30.725e	5.3871a	2.0384b	6.6b	3.5525c
27	60b	33.027d	4.6371b	1.6941b	6.4444b	3.4666c
28	81.25d	36.35c	4.57b	1.84b	7.325a	3.8815b
29	77.5c	31.4e	4.8432b	1.6891b	6.5789b	3.4c
30	48.75b	50.5675a	4.0531c	1.7062b	6.147c	3.2566c
31	65b	28.9743f	5.8842a	2.0263b	6.1515c	4.5105a
32	68.75b	33.775d	4.941b	2.0051b	6.6666b	3.95b
33	71.25c	31.475e	5.16b	1.83b	6.8717b	3.9307b
34	62.5b	36.3846c	4.8486b	2.1486a	6.8108b	3.6055c
35	63.75b	36.225c	4.1794c	1.641c	5.825c	2.8526d
36	73.75c	25.55f	4.5135b	1.6675c	6.1315c	3.225d

*=medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$)

