



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

Programa de Maestría Institucional en Ciencias Biológicas

TESIS

**“VARIACIÓN Y PARÁMETROS GENÉTICOS DE FAMILIAS DE
MEDIOS HERMANOS PROCEDENTES DE ÁRBOLES FENOTÍPICAMENTE
SUPERIORES DE *Pinus pseudostrobus* LINDL. DE MICHOACÁN”**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

PRESENTA:

FLORIBERTA SÁNCHEZ SUÁREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. NAHUM M. SÁNCHEZ VARGAS

Morelia, Michoacán, Abril de 2011



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

AGRADECIMIENTOS.

Al financiamiento otorgado por CONACYT

Al financiamiento de PROMEP de la SES para el desarrollo del proyecto. Proyecto PROMEP/103.5/08/1538.

CONTENIDO.

	Núm. de Pág.
i. ÍNDICE DE CUADROS	i
ii. RESUMEN GENERAL	iii
iii. GENERAL ABSTRACT.	v
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
II. OBJETIVOS	6
II.1. Objetivo General.	6
II.2. Objetivos Particulares.	6
III. RESULTADOS	7
III.1. EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> DE MICHOACÁN, MÉXICO.	7
III.1.1. RESUMEN.	8
III.1.2. SUMMARY.	9
III.1.3 INTRODUCCIÓN.	10
III.1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.	13
III.1.4.1. Análisis de datos.	15
III.1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.. . . .	17
III.1.6 CONCLUSIONES.. . . .	23
III.1.7 LITERATURA CITADA.	25
III.2. PARÁMETROS GENÉTICOS DE FAMILIAS CRECIDAS EN CAMPO, PROCEDENTES DE ÁRBOLES SUPERIORES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. DE MICHOACÁN, MÉXICO.	28
III.2.1. RESUMEN.	29
III.2.2 SUMMARY.. . . .	30
III.2.3 INTRODUCCIÓN.	31
III.2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.	35
III.2.4.1. Análisis de datos	35

	III.2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	.	37
	III.2.6 CONCLUSIONES	45
	III.2.7 LITERATURA CITADA	47
IV.	DISCUSIÓN GENERAL.	52
V.	LITERATURA COMPLEMENTARIA.	55

*A mi familia; quienes me han hecho sentir, que para ellos el apoyarme,
es un gusto
y no una obligación.*

i. ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro III.1.4.1. Datos de procedencia de 40 árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl., colectados en el estado de Michoacán.

. 14

Cuadro III.1.5.1. Estadísticas descriptivas de las variables evaluadas en *Pinus pseudostrobus* a diferentes edades (meses): Media general (μ), valor mínimo (Mín), máximo (Máx), desviación estándar (Sx) y coeficiente de variación (CV).

. 17

Cuadro III.1.5.2. Resultados de los análisis de varianza. Fuente de variación (FV), cuadrados medios de bloques (BLOQ), familia (FAM), interacción entre bloque y familia (B x F) y error (E), con sus respectivos valores de probabilidad (P); coeficiente de variación genética aditiva (CV_G), heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), con sus respectivos errores estándar ($\sigma_{h^2_i}$ y $\sigma_{h^2_f}$).

. 20

Cuadro III.1.5.3. Correlaciones fenotípicas con su significancia (arriba de la diagonal) y genéticas aditivas con su error estándar (debajo de la diagonal) entre altura y diámetro.

. 22

Cuadro III.2.5.1. Estadísticas descriptivas de las variables evaluadas en *Pinus pseudostrobus* a diferentes edades (meses): Media general (μ), valor mínimo (Mín), máximo (Máx), desviación estándar (Sx) y coeficiente de variación (CV).

. 38

Cuadro III.2.5.2. Resultados de los análisis de varianza. Fuente de variación (FV), cuadrados medios de bloques (BLOQ), familia (FAM), interacción entre bloque y familia (B x F) y error (E), con sus respectivos valores de probabilidad (P); coeficiente de variación genética aditiva (CV_G), heredabilidad en sentido estricto a

nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), con sus respectivos errores estándar (σ_{h^2}). **41**

Cuadro III.2.5.3. Correlaciones fenotípicas con su respectiva significancia (arriba de la diagonal) y genéticas aditivas con su error estándar (debajo de la diagonal), entre altura y diámetro a diferentes edades. **44**

ii. RESUMEN GENERAL.

Pinus pseudostrobus es considerada una especie que puede representar una opción para la conservación de ecosistemas forestales, el desarrollo de programas de plantaciones y reforestación de entornos afectados, ya que produce una alta cantidad de semillas.

En Michoacán existen pocos estudios con *Pinus pseudostrobus*, donde se evalúa la eficiencia de la selección a edades tempranas.

Es por ello que los objetivos de este trabajo fueron: a) evaluar la variación genética, b) estimar el grado de control genético, y c) explorar las posibilidades de selección indirecta entre caracteres de crecimiento, de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* procedentes de árboles fenotípicamente superiores, en vivero y campo.

Las plantas se establecieron en un ensayo de progenies bajo un diseño de bloques completos al azar en vivero y campo. La progenie se evaluó de 1 a 9 meses de edad en la fase de vivero a partir de semilla y en la fase de campo hasta la edad de 17 meses después del trasplante. Se estimó el control genético (h^2) de altura total (ALT) y diámetro basal (DIAM) (a la base en la fase de vivero y a 5 cm sobre el suelo en la fase de campo). Para conocer las relaciones entre variables se estimó la correlación genética entre pares de variables (r_{Gxy}).

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre familias ($P < 0.0001$) para diámetro y altura en las diferentes edades en vivero y en campo, hasta la edad de 9 meses, esto es un indicador de la existencia de variación genética durante el período de evaluación.

La heredabilidad individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) de altura (ALT) y diámetro (DIAM), presentó valores altos en la fase de vivero ($0.66 \leq h^2_{i\text{ALT}} \leq 1.00$;

$0.25 \leq h^2_{i \text{ DIAM}} \leq 0.97$; $0.86 \leq h^2_{f \text{ ALT}} \leq 0.97$; $0.66 \leq h^2_{f \text{ DIAM}} \leq 0.90$) y moderadamente altos a bajos en la fase de campo ($0.02 \leq h^2_{i \text{ ALT}} \leq 0.31$; $0.09 \leq h^2_{i \text{ DIAM}} \leq 0.21$; $0.06 \leq h^2_{f \text{ ALT}} \leq 0.66$; $0.37 \leq h^2_{f \text{ DIAM}} \leq 0.51$), en ambas fases la tendencia en general fue disminuir con el tiempo.

Las correlaciones genéticas aditivas (r_G) edad-edad entre las variables evaluadas en la fase de vivero, mostraron sus valores máximos al correlacionar edades cercanas. Correlaciones del mes 1 al mes 4 en altura ($0.55 \leq r_{G \text{ ALT}} \leq 0.99$) y del mes 4 al mes 9 en altura y diámetro ($0.19 \leq r_{G \text{ ALT}} \leq 0.96$) y $0.38 \leq r_{G \text{ DIAM}} \leq 1.00$ respectivamente). Las correlaciones genéticas entre las dos variables evaluadas fueron fluctuantes entre las edades y no tuvieron una tendencia clara.

Las correlaciones genéticas aditivas edad-edad de la fase de campo fueron altas al correlacionar la altura a diferentes edades ($r_{G \text{ ALT}} = 1.00$), mientras que las correlaciones genéticas aditivas edad-edad fueron de relativamente altas a bajas al correlacionar diámetro en a diferentes edades ($0.51 \leq r_{G \text{ DIAM}} \leq 1.00$). Mientras que las correlaciones genéticas entre las dos variables evaluadas fueron de altas y negativas a bajas y positivas, y tendieron a hacerse más negativas conforme se correlacionaban edades lejanas ($-0.52 \geq r_G \geq 0.05$).

Los resultados obtenidos indican que se podría hacer una selección a edades tempranas, tanto en fase de vivero como en fase de campo.

Palabras clave: *Pinus pseudostrobus*, coeficiente de variación, heredabilidades, correlaciones genéticas, vivero y campo

iii. GENERAL ABSTRACT.

Pinus pseudostrobus is considered a species that may represent an option for the conservation of forest ecosystems and the development of plantations and reforestation programs affected environments because it is one of the best of the genre and produces a high amount of seeds.

In Michoacán, there are few studies with *Pinus pseudostrobus*, which assesses the efficiency of selection at early ages.

That is why the objectives of this study were a) to assess genetic variation, b) estimate the degree of genetic control, and c) explore the possibilities for indirect selection among growth traits in sib *Pinus pseudostrobus* family from phenotypically superior trees in nursery and field.

The plants were established in a progenies trial of half-sib families with a complete block randomized design in the nursery and field. Was evaluated from 1 to 9 months old at nursery stage and for 17 months in the field phase, the genetic control (h^2) in height (ALT) and diameter at 5 cm above the ground (DIAM). To understand the relationships between variables were estimated genetic correlation between pairs of variables (r_{Gxy}).

The analysis of variance showed highly significant differences between families ($P < 0.0001$) for diameter and height at different ages in the nursery, and field until the age of 9 months with the same significance, that is an indicator of existence of genetic variation throughout the evaluation period

Individual heritability and families means height and diameter, have high values in the nursery phase ($0.25 \leq h^2_{iALT} \leq 1.00$; $0.25 \leq h^2_{iDIAM} \leq 0.97$; $0.86 \leq h^2_{fALT} \leq 0.97$; $0.66 \leq h^2_{fDIAM} \leq 0.90$) and moderately high in the field phase with a tendency to

decrease with age ($0.02 \leq h^2_{i\text{ ALT}} \leq 0.31$; $0.09 \leq h^2_{i\text{ DIAM}} \leq 0.15$; $0.06 \leq h^2_{f\text{ ALT}} \leq 0.66$; $0.37 \leq h^2_{f\text{ DIAM}} \leq 0.51$).

The additive genetic correlations among the variables evaluated in the nursery, showed the highest values to correlate close in age from age 4 to 9 in height and diameter ($0.81 \geq r_{GA\text{ ALT}} \leq 0.91$ y $0.67 \geq r_{G\text{ DIAM}} \leq 1.00$ respectively), except in diameter between ages 7 and 8 ($r_{G\text{ DIAM}} = 0.48$). Genetic correlations between the two variables were fluctuating between the ages and had no clear trend ($-0.18 \leq r_{GA} \leq 0.72$).

The additive genetic correlations in height and diameter in the field phase were high when correlating only the height at different ages ($r_{G\text{ ALT}} = 1.00$) and only the diameter ($0.51 \leq r_{G\text{ DIAM}} \leq 1.00$). This indicates the possibility of selecting plants for height or diameter at an earlier age of development. Genetic correlations between the two variables were high and low negative and positive, and tended to become more negative with increasing the difference between ages ($-0.52 \leq r_{GA} \leq 0.05$).

The results indicate that a selection could be done at an early age, during both nursery and field stage.

Keywords: *Pinus pseudostrobus* Lindl., heritability, genetic correlation, growth, nursery and field.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL.

En México existen alrededor de 47 especies de *Pinus* que representan más del 42% de las especies conocidas en el mundo (Sánchez-González, 2008). Un análisis de la literatura reciente indica que los pinos migraron hacia el actual territorio mexicano desde el hemisferio norte, a través de corredores naturales e impulsados por los cambios climáticos del pasado. Los procesos de diversificación del género ocurrieron en las principales cadenas montañosas de México que definieron el patrón de distribución actual de los pinos (Sánchez-González, 2008).

En México, los pinos tienen un especial interés desde un punto de vista económico, social, ecológico y de conservación. A menudo son el componente dominante de la vegetación, influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego y son hábitat y fuente de alimentos para la fauna silvestre, por lo que continuamente se buscan alternativas que permitan optimizar su uso (García y González, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005; Ordoñez *et al.*, 2001).

Los pinos ocurren de manera natural en la mayoría de los estados de México a excepción de Tabasco, Campeche y Yucatán. (Dvorak, 1987; Eguiluz, 1988; Caballero y Bermejo, 1994). Son fuente de madera, leña y pulpa, resina, semillas comestibles y otros productos. Además, ofrecen importantes servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional (Ordoñez *et al.*, 2001; García y González, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005; García *et al.*, 2006; Sánchez-González, 2008).

Varias de las especies de pino son utilizadas actualmente en programas de mejoramiento en África del Sur, Australia, Brasil (Gibson, 1987) y en otros países (Barnes, 1988). Por lo tanto, el valor de los pinos mexicanos como recurso genético ha sido ampliamente reconocido a nivel internacional. Esta riqueza constituye un

patrimonio nacional que es prioritario conservar por su enorme capacidad de generar beneficios ecológicos, sociales y económicos (Serrano, 2002; FAO, 2010).

Uno de los principales problemas que enfrentan los bosques, es la deforestación, por la conversión a tierras agrícolas, potreros y más recientemente, en zonas de uso urbano y suburbano en varios países a un ritmo sumamente elevado (Serrano, 2002; FAO, 2010).

En el año 2001, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) dio a conocer, los resultados de la tasa de deforestación en México y de acuerdo con estas cifras, el total de superficie deforestada en el periodo 1993-2000 fue de 7,894,921 ha, es decir, una tasa anual de 1,127,845 ha, condición que coloca a México entre los países con los índices más altos en este rubro (Serrano, 2002). La situación de deterioro ambiental constituye un motivo de gran preocupación cuando se reconoce la importancia de la vegetación forestal.

La deforestación a gran escala lleva a la fragmentación del hábitat, que afecta la estructura genética de las poblaciones, ya que la disminución del número de individuos reducen el flujo genético existente entre ellas, lo que incrementa los procesos estocásticos de deriva genética (Young *et al.*, 1996; Serrano, 2002). Esto hace necesario el establecimiento de plantaciones forestales a través de la práctica de mejoramiento genético forestal, aunque en México estas prácticas, aseguran únicamente la regeneración de los bosques sin la certeza de que el renuevo presente una ganancia genética efectiva (Azamar *et al.*, 2000).

En los programas de mejoramiento genético, la información de la primera generación de los individuos de la población es puramente fenotípica. Sin embargo, a medida que se avanza en el programa, es indispensable utilizar metodologías de evaluación más eficientes (Torres, 2000). Como cualquier otra actividad, el mejoramiento genético forestal debe considerar los tres elementos básicos que fundamentan la sostenibilidad: ambiente, sociedad y economía. La falta de

cualquiera de estos tres, hará fracasar la actividad en el largo plazo (CAMCORE, 2008).

En Michoacán, en particular, hacen falta programas de mejoramiento genético forestal que contribuyan al incremento de la competitividad de las empresas de productos forestales mediante el mejoramiento de la calidad, costos y abastecimiento de materia prima, y las estrategias de la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal en desarrollo tienden a incrementar el rango de crecimiento, manteniendo o mejorando la calidad de la madera de la entidad en cuestión (López y Staffieri, 2003).

Pinus pseudostrobus es la especie con mayor distribución en Michoacán, y es la de mayor importancia en producción, reforestación y establecimiento de plantaciones con fines comerciales (PRONARE 2000, Ordoñez *et al.*, 2001, Viveros-Viveros *et al.*, 2006). Está clasificado como una de las mejores especies del género *Pinus* por presentar rápido crecimiento, su madera es de buena calidad, presenta buena producción de resina y por lo general, presenta tronco recto, buena poda natural y abundante producción de semilla (Eguiluz-Piedra, 1978; CABI, 2002; López-Upton, 2003; Espinoza-Hernández *et al.*, 2009).

Los árboles de la especie de *Pinus pseudostrobus* alcanzan 30 a 40 o más metros de altura y 40 a 80 cm de diámetro (Stead y Styles, 1984; Perry, 1991). Comienzan a reproducirse de los 6 a 7 años de edad (Patiño-Valera, 1973). Crecen en elevaciones desde 1,600 hasta 3,250 msnm, pero los mejores pinos se encuentran a 2,500 m en suelos volcánicos profundos (Martínez, 1948; Eguiluz-Piedra, 1978; Perry, 1991).

La madera de *P. pseudostrobus* es ligera, suave, fuerte y amarilla, con una gravedad específica de 0.32 a 0.51 y de alto rendimiento de pulpa (Perry, 1991). Es ampliamente utilizado para la construcción en general, madera tallada, artículos decorativos, pulpa, leña, postes, en aserrío o madera cortada para la construcción,

carpintería, ebanistería, divisiones de pared, triplay, chapa, cajas de empaque, contenedores, artículos de madera, pasta de papel, fibras largas de pulpa, carbón vegetal, fabricación de ventanas y muebles finos (Zobel, 1965; Eguiluz, 1978; Perry, 1991; Wright y Malan, 1991; Wright y Wessels, 1992; CABI, 2002).

Finalmente, *Pinus pseudostrobus* se considera una especie que puede representar una opción para la conservación de ecosistemas forestales, el desarrollo de programas de plantaciones y reforestación de entornos afectados, ya que produce una alta cantidad de semillas y sus plántulas suelen desarrollarse, tanto en suelos profundos, como en suelos pedregosos, calizos y delgados (Eguiluz, 1978).

La mayor contribución del mejoramiento genético del género *Pinus*, se da por el incremento en la producción de volumen de madera por hectárea en las plantaciones, reduciendo el costo de producción por metro cúbico o tonelada de madera en pie (CAMCORE, 2008).

Se han desarrollado algunos estudios enfocados a la mejora genética mediante la selección a edades tempranas en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite* (Farfán *et al.*, 2002), *Pinus elliotii* (López, 2003), *Pinus pinea* L. (Buitrago-Esquinas *et al.*, 2001), *Pinus contorta* ssp. *Latifolia* (Xie y Ying 1995), *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (Gutiérrez, 2007) y *Pinus caribea* var. *hondurensis* (Rodríguez y López, 2002).

Los ensayos de procedencia y progenie forman parte de una estrategia de manejo y conservación de los recursos genéticos forestales para el desarrollo de productos maderables de mejor calidad (Alba-Landa *et al.*, 2008). Los ensayos de progenies permiten conocer el desempeño de los mejores individuos y su selección dará lugar al establecimiento de huertos semilleros, cuya semilla será utilizada para el desarrollo de plantaciones comerciales.

En Michoacán no existen huertos semilleros en producción de ninguna de las principales especies forestales aprovechadas en el estado. *P. pseudostrobus* es la principal especie utilizada por su abundancia. Ante esta situación, la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) seleccionó y colectó semilla de 40 árboles de *Pinus pseudostrobus* fenotípicamente superiores de 14 localidades del Estado. Parte de esa semilla fue donada al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, para la elaboración de este trabajo.

El presente estudio se dividió en dos etapas, la primera (apartado III.1) describe la fase de germinación y crecimiento en vivero de 1 a 9 meses y la segunda (apartado III.2) describe la fase de crecimiento en campo, donde se midieron las plantas cada dos meses, por 18 meses, en la que se analizaron parámetros como el control genético (h^2) de altura total y diámetro a la base del tallo y la estimación de la correlación genética, entre edades de la misma variable y entre pares de variables a una misma edad (r_{Gxy}).

(Literatura complementaria pag. 55)

II. OBJETIVOS.

II.1 Objetivo General.

Determinar la variación y los parámetros genéticos de familias de medios hermanos, procedentes de árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* de Michoacán, en vivero y campo.

II.2 Objetivos Particulares.

1). Evaluar la variación genética del crecimiento de familias de medios hermanos de *P. pseudostrobus*, provenientes de árboles fenotípicamente superiores en condiciones de vivero y campo.

2). Estimar el grado de control genético de caracteres de crecimiento de familias de medios hermanos de *P. pseudostrobus*, provenientes de árboles fenotípicamente superiores en condiciones de vivero y campo.

3). Estimar las correlaciones genéticas y fenotípicas entre caracteres de crecimiento de familias de medios hermanos de *P. pseudostrobus*, provenientes de árboles fenotípicamente superiores en condiciones de vivero y campo.

III. RESULTADOS.

III.1. EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE *Pinus pseudostrobus* DE MICHOACÁN, MÉXICO.

Floriberta Sánchez-Suárez¹, Nahum M. Sánchez-Vargas^{1*}, Cuauhtémoc Sáenz-Romero¹, Armando Aparicio-Rentería³, Alejandro Martínez-Palacios¹ y Juan Carlos Montero-Castro²

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH) nsanchezv@yahoo.com. Km 9.5 carr. Morelia-Zinapécuaro; Tarímbaro, Michoacán 58880 México Tel (443)3 34 04 75 ext. 129, Fax ext. 200; ²Facultad de Biología-UMSNH, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México. ³Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana, Parque Ecológico “El Haya”, Xalapa Veracruz, México.

* Autor para correspondencia

III.1.1. RESUMEN.

El presente ensayo forma parte de una de las etapas iniciales del Programa de Mejoramiento Genético impulsado por la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). Se estableció con el propósito de explorar la selección a edades tempranas de crecimiento de *Pinus pseudostrobus*. Se evaluaron 37 familias de medios hermanos de árboles fenotípicamente superiores, de 14 localidades de Michoacán, en condiciones de vivero.

La Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) seleccionó, colectó y donó la semilla que se utilizó para la elaboración de este trabajo. Las semillas fueron germinadas en condiciones de laboratorio y las plántulas se trasplantaron a contenedores de plástico rígido de 380 cm³ estableciendo un ensayo de progenies de medios hermanos bajo un diseño de bloques completos al azar. Se evaluó mensualmente el control genético (h^2) de altura total (ALT) y diámetro (DIAM) a la base del tallo durante nueve meses de edad. Para conocer las relaciones entre variables se estimó la correlación genética entre pares de variables (r_{Gxy}).

Los parámetros genéticos variaron con la edad de evaluación. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre familias ($P_{FAM} < 0.0001$), en las variables evaluadas a todas las edades de evaluación. Las heredabilidades a nivel individual fueron de relativamente altas a bajas ($1.00 \geq h^2_i \geq 0.25$) y altas a nivel de medias de familias ($0.66 \leq h^2_f \leq 0.97$). Las correlaciones genéticas aditivas edad-edad en altura fueron de relativamente altas a altas y positivas a partir de la edad de 7 a 9 meses ($0.61 \leq r_{GA} \leq 0.92$), mientras que las correlaciones obtenidas a partir de la edad 7 a 9 en diámetro, fueron de relativamente bajas a altas ($0.47 \leq r_{GA} \leq 1.00$). Estas correlaciones indican la posibilidad de hacer una selección a edades tempranas en altura y diámetro.

Palabras Clave: *Pinus pseudostrobus* Lindl., heredabilidad, correlaciones genéticas, crecimiento, vivero.

III.1.2. SUMMARY.

This trial is part of an initial phase of the Breeding Program led by the Forestry Commission of the State of Michoacán (COFOM). It was established with the purpose of exploring the selection of early growth of *Pinus pseudostrobus*. So, 37 *Pinus pseudostrobus* half-sib families from plus trees from 14 provenances of Michoacán, were established in greenhouse conditions. The Forestry Commission of the State of Michoacán (COFOM) selected, collected and donated the seeds that were used in this work. The seeds were germinated under laboratory conditions and the seedlings were transplanted into rigid plastic containers of 380 cm³. The plants were established in a progenies trial of half-sib families with a complete block randomized design.

We assessed the genetic control (h^2) in height (ALT) and diameter (DIAM) at the base of the stem monthly for nine months. To understand the relationships between variables, the genetic correlation between pairs of variables (r_{Gxy}) were estimated.

The results showed that genetic parameters varied with evaluation age. The analysis of variance showed significant differences between families ($P_{FAM} < 0.0001$) in the variables assessed at all ages, used as an indicator of the existence of genetic variation. Narrow sense heritabilities were relatively low to high ($0.25 \leq h^2_i \leq 1.00$) at individual level and high ($0.66 \leq h^2_f \leq 0.97$) at families means levels. Age-age genetic correlations in height were from relatively high to high and positives since ages 7 to 9 ($0.61 \leq r_{GA} \leq 0.92$), unlike the genetic correlations in diameter obtained since the 7 to 9 months were from relatively low to high ($0.47 \leq r_{GA} \leq 1.00$). The correlation values obtained indicate the possibility of early selection in height and diameter.

Keywords: *Pinus pseudostrobus* Lindl., heritability, genetic correlation, growth, nursery.

III.1.3. INTRODUCCIÓN.

La gran demanda de plantas de calidad provenientes de huertos semilleros ha aumentado en los últimos años, debido a eso, la producción de plántulas forestales es una tecnología en continua evolución en la reforestación. La evaluación de la calidad de plántulas es crucial para la comprensión de desarrollo de las plántulas en el vivero, así como la supervivencia y el posterior crecimiento en campo, sin embargo, a menudo estos estudios se hacen en forma limitada (Haase, 2008).

En Michoacán no hay huertos semilleros productivos de ninguna de las principales especies aprovechadas en el Estado. Hasta hace pocos años, el gobierno del Estado de Michoacán inició un programa de mejoramiento genético para especies nativas de pino. Dentro de este programa se seleccionaron y colectaron semillas de 37 árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* procedentes de diferentes poblaciones naturales del Estado.

La madera de *Pinus pseudostrobus* es de buena calidad y es usada como leña, postes, en aserrío o madera cortada para la construcción, carpintería, ebanistería, divisiones de pared, triplay, chapa, cajas de empaque, contenedores, artículos de madera, pasta de papel, fibras largas de pulpa, carbón vegetal, fabricación de ventanas y muebles finos (CABI, 2002), Se considera una especie con buena velocidad de crecimiento (CONAFOR, 2010)

Los ensayos de progenies en edades tempranas proporcionan una fuente de información valiosa porque puede ser usada para correlacionarlos con edades futuras, y para elegir las mejores procedencias a ser establecidas en el área de evaluación, estimando el grado de la regulación genética de un carácter y cuánto influye el ambiente en la expresión de ese carácter a partir del comportamiento de la descendencia de ese árbol (Eriksson, 2000; Gutiérrez, 2007)

Uno de los problemas asociados al mejoramiento genético de los árboles forestales es el tiempo requerido para su evaluación, debido a la longevidad de las

especies, y una opción para acelerar este proceso es la de utilizar selecciones en etapas tempranas del desarrollo (Vargas-Hernández y Adams, 1992).

La selección a edades tempranas puede también ser muy útil para identificar y eliminar los peores genotipos antes del establecimiento de los ensayos en campo, reduciéndose así el tamaño y costo de éstos, y aumentando su eficiencia estadística (Adams *et al.*, 2001). Además, puede resultar más eficaz ya que es más fácil controlar la heterogeneidad espacial y se puede evaluar un mayor número de genotipos (Eriksson *et al.*, 1993).

Por lo anterior, durante los últimos años se viene realizando un gran esfuerzo para poner en marcha estrategias de selección temprana en muchos programas de mejora de especies forestales. Los estudios retrospectivos, donde el comportamiento juvenil del material se compara con el comportamiento adulto en campo, en ensayos instalados previamente, son una de las principales alternativas (López-Nava, 2010).

En un estudio realizado con 15 familias de medios hermanos de *P. pseudostrobus*, en el que se evaluó la variación del crecimiento inicial de familias en la búsqueda de indicadores de selección temprana. Se encontró la posibilidad de hacer selección a edades tempranas del desarrollo, a partir de caracteres diferentes al crecimiento en diámetro y altura como la longitud del cotiledón e incluso a partir de caracteres de la semilla (Sánchez-Vargas *et al.*, en prensa).

En dos ensayos de progenies de *Pinus radiata* establecidos en el sur de Chile, fueron evaluadas, a los 7 años de edad después de la plantación, 5 progenies originadas de polinización controlada y estacas de las mismas familias, en altura, diámetro y volumen. Encontraron que las heredabilidades estimadas para los árboles originados de semillas fueron, en general, moderadas y los valores de la correlación genética intra-clase, estimados para el grupo de árboles originados de propagación vegetativa, fueron de moderados a bajos. Concluyendo que existe una mayor

homogeneidad en el crecimiento en la propagación vegetativa (Mora y Zamudio, 2006).

En un ensayo de progenies de medios hermanos de *Pinus oocarpa* Schiede originados de árboles procedentes de bosques cercanos a Uruapan, Michoacán, estimaron la heredabilidad en sentido estricto y las correlaciones genéticas y fenotípicas entre el número y longitud de cotiledones, altura a los 2 y 6 meses y diámetro basal del tallo a los 5 meses de establecido en vivero. El control genético fue significativo a nivel de familias. Las correlaciones genéticas más elevadas se presentaron entre la longitud de cotiledón y la altura a los 2 meses y entre altura a los 2 y 6 meses de edad, se podrían obtener ganancias genéticas mediante selección temprana de mejores individuos o de mejores familias y de mejores individuos dentro de familias (Viveros-Viveros *et al.*, 2005).

En un banco clonal del Centro de Conservación Genética y Mejoramiento de pinos Tropicales se evaluó la recombinación genética, se instalaron ensayos de progenies de *Pinus caribea* var *hondurensis* Barr. y Golf. en Anhemi (ANH) y Selviria (SEL) en Brasil, en 1986. Las evaluaciones a los 7 años en altura y diámetro revelaron potencial de las familias, con un grado de mejoramiento similar al de un área de producción de semillas. El control genético encontrado permite desarrollar un programa de mejora por selección y las respuestas correlacionadas permiten la selección indirecta de los caracteres de crecimiento (Rodríguez y López, 2002).

Los objetivos de este trabajo fueron a) evaluar la variación genética, b) estimar el grado de control genético, y c) explorar las posibilidades de selección indirecta, a través de las correlaciones genéticas entre caracteres de crecimiento de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* procedentes de árboles fenotípicamente superiores, establecidos en condiciones de vivero.

III.1.4. MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó con semillas provenientes de 37 árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrabus* seleccionados en diferentes poblaciones del Estado de Michoacán (Cuadro III.1.2.1). Personal capacitado de la Comisión Forestal del Estado (COFOM) seleccionó cada árbol con base en su superioridad fenotípica en altura, rectitud del fuste, tamaño reducido de la copa, buena poda natural, buen productor de semillas, y que estuviera libre del ataque de plagas.

Los conos fueron colectados y etiquetados separadamente por árbol, de tal manera que se mantuvo la identidad de su origen materno. Los conos fueron beneficiados en el Banco de Germoplasma de la COFOM y la semilla fue almacenada a 5 °C hasta antes de su germinación.

Las semillas fueron puestas a germinar en el Laboratorio de Biotecnología y Genética del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH)-Unidad San Juanito. Se colocaron 300 semillas en cuatro cajas de Petri, con 75 semillas por caja. Las semillas se estratificaron a 5 °C, durante ocho días, manteniendo la humedad constante y posteriormente se pusieron a germinar a temperatura ambiente. Cuando las plántulas tuvieron alrededor de dos centímetros de altura, se trasplantaron a contenedores de plástico rígido de 380 cm³ de capacidad, en los que se usó como sustrato una mezcla de turba de sphagnum (Peat Moss®) (50%), Vermiculita (25%), Agrolita ® (25%) y Osmocote ® (150 ml/L) (Domínguez *et al.*, 2005).

Cuadro III.1.4.1. Datos de procedencia de 40 árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl., colectados en el estado de Michoacán.

Lote	Clave	Localidad	Municipio	Latitud	Longitud
I322	101	Patamban	Tangancícuaro	19°48'09"	102°17'28"
I32	102	Periban	Los Reyes	19°30'59"	102°24'59"
I322	103	Periban	Los Reyes	19°30'59"	102°24'59"
II322	104	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	105	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	106	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	107	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	108	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	109	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	110	Copro. Lázaro Cárdenas	Zacapu	19°48'55"	101°47'29"
II322	111	Ejido Las Canoas	Zacapu	19°49'30"	101°47'10"
II322	112	Ejido Las Canoas	Zacapu	19°49'30"	101°47'10"
VI322	113	C. I Cherán	Cherán	19°41'08"	101°57'24"
VI322	114	C. I Cherán	Cherán	19°41'08"	101°57'24"
VI322	115	C. I Cherán	Cherán	19°41'08"	101°57'24"
VI322	116	Nahuatzen	Nahuatzen	19°39'15"	101°55'03"
VI322	117	Nahuatzen	Nahuatzen	19°39'15"	101°55'03"
VI322	118	San Isidro	Nahuatzen	19°39'15"	101°55'03"
VII322	119	Cerro La Zarzamora	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
VII322	120	El Tepano	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
VII322	121	Cerro del Frijol	Pátzcuaro	19°31'	101°36'
VII322	122	Cerro del Frijol	Pátzcuaro	19°31'	101°36'
VII322	123	Ej. Villa Escalante	Salvador Escalante	19°24'	101°38'
VII322	124	Ej. Villa Escalante	Salvador Escalante	19°24'	101°38'
VII322	125	Cerro La Zarzamora	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
VII322	126	Cerro La Zarzamora	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
VII322	127	Cerro La Zarzamora	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
VII322	128	La Compra	Erongarícuaro	19°35'10"	101°42'41"
002322	129	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	130	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	131	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	132	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"

002322	133	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	134	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	135	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	136	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	137	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	138	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	139	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"
002322	140	Santa Ana Jeráhuaro	Zinapécuaro	19°52'42"	100°38'34"

Las plantas se dispusieron en un ensayo de progenies bajo un diseño de bloques completos al azar en condiciones de vivero, en las instalaciones del IIAF-UMSNH-Unidad La Posta a 19°46'07.45" N 101°08'56.32" O, a una elevación de 1853 msnm. Las variables medidas mensualmente, fueron altura total hasta la yema principal (ALT) y diámetro a la base del tallo (DIAM).

III.1.4.1. Análisis de datos.

Se realizó un análisis de varianza para explorar la existencia de variación genética tomando como referencia la significancia de las familias como fuente de variación. Se utilizó el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2004), con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + e_{ijk},$$

donde: Y_{ijk} es el valor observado del k -ésimo individuo de la j -ésima familia en el i -ésimo bloque, μ es el valor promedio de la población; B_i es el efecto del i -ésimo bloque, F_j es el efecto de la j -ésima familia; BF_{ij} es el efecto de la interacción del i -ésimo bloque con la j -ésima familia, y e_{ijk} es el error experimental.

Con el mismo modelo se obtuvieron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP (SAS, 2004) para estimar la heredabilidad y las correlaciones genéticas entre caracteres.

La heredabilidad en sentido estricto se estimó como parámetro del grado de control genético, a nivel de árboles individuales (h^2_i) y a nivel de medias de familias (h^2_f) con las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h^2_i = 4\sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_{bxf}^2 + \sigma_e^2)$$

$$h^2_f = \sigma_f^2 / [\sigma_f^2 + (\sigma_{bf}^2 / b) + (\sigma_e^2 / nb)]$$

donde σ_f^2 es la varianza de familias, σ_{bf}^2 es la varianza de la interacción bloque x familia, σ_e^2 es la varianza del error, n es la media armónica del número de individuos por parcela y b es el número de bloques.

El error estándar de la heredabilidad (σ_{h^2}) se estimó con la fórmula de Falconer y Mackay (2001):

$$\sigma_{h^2} = \left[\frac{2(1 + (n_a - 1)h^2)^2(1 - h^2)^2}{n_a(n_a - 1)(n_f - 1)} \right]^{0.5}$$

donde n_a es el número de árboles por familia y n_f es el número de familias.

También se estimó el coeficiente de variación genética aditiva (CV_{GA}) con la fórmula (Sánchez-Vargas *et al.*, 2004):

$$CV_{GA} = [(\sigma_f^2)^{0.5} / \bar{x}_E] 100$$

donde $(\sigma_f^2)^{0.5}$ es la raíz cuadrada de la varianza de familia y \bar{x}_E es la media de la población a una edad determinada.

Se estimaron las correlaciones genéticas utilizadas como parámetro de comparación con su homólogo fenotípico, utilizando la fórmula (Sánchez-Vargas *et al.*, 2007):

$$r_{g(x,y)} = \left[\frac{(\text{Var}_{x+y} - (\text{Var}_x + \text{Var}_y)) / 2}{(\text{Var}_x \text{Var}_y)^{0.5}} \right]$$

donde Var_{x+y} es la varianza genética de $x + y$, Var_x y Var_y son la varianza de x y la varianza de y , respectivamente.

El error estándar de la correlación genética (σ_{rg}) se estimó con la fórmula de Falconer y Mackay (2001):

$$\sigma_{rg} = \left[\frac{(1 - r_{g(x,y)}^2) / 2^{0.5}}{[(\sigma_{h^2x} \sigma_{h^2y}) / (h^2_x h^2_y)]^{0.5}} \right]$$

III.1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El análisis descriptivo de las variables evaluadas (Cuadro III.1.5.1), muestra un coeficiente de variación en la altura inicial relativamente alto ($CV_{ALT1} = 47.95$) que tiende a disminuir con la edad hasta casi la mitad del valor inicial ($CV_{ALT9} = 25.08$). Un efecto similar ocurre con la desviación estándar pero en sentido contrario ($Sx_{ALT1} = 0.87$, $Sx_{ALT9} = 4.21$), lo que puede deberse a la reducción en el número de plantas durante el tiempo de crecimiento en vivero.

Cuadro III.1.5.1. Estadísticas descriptivas de las variables evaluadas en *Pinus pseudostrobus* a diferentes edades (meses): Media general (μ), valor mínimo (Mín), máximo (Máx), desviación estándar (Sx) y coeficiente de variación (CV).

		μ	Mín	Máx	Sx	CV
ALT1	JUL	1.82	0.10	4.80	0.87	47.95
ALT2	SEP	2.49	0.40	5.40	0.86	34.61
ALT3	NOV	2.75	0.70	5.60	0.79	28.56
ALT4	ENE	4.65	0.90	10.80	1.66	35.64
ALT5	MAR	6.66	1.60	15.70	2.23	33.47
ALT6	MAY	9.94	2.70	24.60	2.90	29.18
ALT7	JUL	12.91	2.70	28.40	3.52	27.22
ALT8	SEP	15.06	4.00	28.80	3.92	26.02
ALT9	NOV	16.78	4.30	30.50	4.21	25.08
DIAM4	ENE	1.44	0.50	2.90	0.39	27.36
DIAM5	MAR	1.77	0.50	3.40	0.48	26.96
DIAM6	MAY	1.99	0.80	3.50	0.48	24.29
DIAM7	JUL	2.60	1.00	4.70	0.64	24.46
DIAM8	SEP	3.26	1.00	6.50	0.76	23.39
DIAM9	NOV	3.51	1.00	6.80	0.79	22.42

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($P_{FAM} < 0.0001$) entre familias, en todas las edades para ambas variables, dado que esta fuente de variación está asociada con la variación genética, implica que existió variación a lo largo del período de duración del ensayo. El análisis de varianza de la altura no mostró diferencias significativas entre bloques, excepto a la edad de 2 meses, en el que mostró un efecto significativo que podría deberse a la adaptación

de la planta al sitio de transplante y a los 9 meses mostró un efecto altamente significativo lo cual puede deberse a un efecto dado por la alta mortalidad observada para ese mes y en cuanto al análisis de varianza de diámetro, no mostró diferencias significativas (Cuadro III.1.5.2). La interacción entre bloques y familias fue inesperadamente significativa, posiblemente debido a las diferencias en la mortalidad de los individuos dentro de familia, lo que se reflejó en diferencias en el comportamiento de las mismas entre los bloques, o bien podría no haber variación entre bloques.

El coeficiente de variación genética aditiva fue disminuyendo conforme fue pasando el tiempo, de 28.97 a 10.16, relativamente comparable al estimado en otras coníferas como *Pinus elliottii* a los 3 años de edad ($CV_G = 17.79$), alto comparado con el estimado con *Pinus caribea* a los 7 años de edad de (2.46 y 3.22) (Rodríguez y López, 2002) y el obtenido en otras especies forestales como *Populus deltoides* a un año de edad ($CV_G = 2.87$ –valor estimado por los autores-) (Farmer, 1969).

Las heredabilidades fueron significativamente diferentes de cero (Cuadro III.1.5.2). La heredabilidad individual presentó valores altos (Cuadro III.1.5.2) con una tendencia a disminuir con la edad ($h^2_{i\text{ ALT1}} = 1.00$, $h^2_{i\text{ ALT9}} = 0.66$; $h^2_{i\text{ DIAM4}} = 0.97$, $h^2_{i\text{ DIAM9}} = 0.25$), posiblemente debido a un fuerte efecto materno comprobable con un estudio previo, realizado a las semillas utilizadas para este ensayo, donde se encontró que las semillas tienen un fuerte control materno, el cual pudo tener una influencia en las altas heredabilidades encontradas en los primeros meses de edad.

Cabe mencionar que también se encontró que este efecto se ve reducido para la altura a los siete meses y para el diámetro a los ocho meses, debido probablemente a la disminución de las reservas de nutrimentos que la planta obtenía de la semilla, ya que pasado ese tiempo la planta empieza a depender de más atributos, como características de los verticilos, grado de desarrollo del sistema radicular, etc., y muchos más genes se ven involucrados indirectamente, o asumen el

control del crecimiento de las plantas (Barnes y Schweppenhauser, 1978; Castellanos, 2010).

El crecimiento inicial de las plantas presentó variaciones ambientales casi nulas en condiciones de vivero: poca variación de temperatura, luz, humedad (dada por riego semi-automatizado) y suelo (la misma composición de sustrato), lo que permite, entonces, una mayor expresión del genotipo (Castellanos, 2010).

Al iniciar la competencia por luz, cuando las hojas se comienzan a entrecruzar, y se va dando la absorción diferenciada de nutrimentos por las plantas, las variaciones ambientales aumentan e influyen sobre la expresión genética de los individuos (Franklin, 1979; Castellanos, 2010), por lo que la heredabilidad tiende a disminuir con el tiempo. Este es un fenómeno que ocurre en otras especies, tanto coníferas como latifoliadas y está asociado, principalmente, a características y propiedades de las semillas (Carles *et al.*, 2009).

La heredabilidad de medias de familias presentó valores altos en altura y de altos a relativamente altos en diámetro ($0.86 \leq h^2_{f\text{ ALT}} \leq 0.97$; $0.66 \leq h^2_{f\text{ DIAM}} \leq 0.90$), que al igual que las heredabilidades individuales tendieron a disminuir ligeramente con la edad (Cuadro III.1.5.2). Franklin (1979) explica esta disminución en la heredabilidad como una consecuencia de los efectos de la competencia entre las plantas, indicando que conforme aumenta la competencia entre ellas, el coeficiente de heredabilidad disminuye; aunque ese valor puede crecer nuevamente a medida que los árboles llegan a la madurez.

Los valores de heredabilidad obtenidos en este estudio fueron más altos que los obtenidos para *Pinus oocarpa* en un ensayo de vivero a las mismas edades, tanto a nivel individual ($h^2_{i\text{ ALT2}} = 0.39$, $h^2_{i\text{ ALT6}} = 0.38$, $h^2_{i\text{ DIAM5}} = 0.28$) como de medias de familias ($h^2_{f\text{ ALT2}} = 0.76$, $h^2_{f\text{ ALT6}} = 0.74$; $h^2_{f\text{ DIAM5}} = 0.69$) (Viveros-Viveros *et al.*, 2005); al igual que para los obtenidos en *Pinus patula* ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.66$) (Barnes y Schweppenhauser, 1979).

Cuadro III.1.5.2. Resultados de los análisis de varianza. Fuente de variación (FV), cuadrados medios de bloques (BLOQ), familia (FAM), interacción entre bloque y familia (B x F) y error (E), con sus respectivos valores de probabilidad (P); coeficiente de variación genética aditiva (CV_G), heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), con sus respectivos errores estándar ($\sigma_{h^2_i}$ y $\sigma_{h^2_f}$).

		BLOQ	P	FAM	P	B x F	P	E	P	CV_G	h^2_i	$\sigma_{h^2_i}$	h^2_f	$\sigma_{h^2_f}$
ALT1	NOV	2.04	ns	35.72	**	0.92	**	0.43	**	28.97	1.00	±0.22	0.97	±0.01
ALT2	DIC	2.19	*	22.32	**	0.73	**	0.52	**	20.47	1.00	±0.12	0.97	±0.01
ALT3	ENE	1.46	ns	14.64	**	0.65	**	0.46	**	15.52	1.00	±0.04	0.96	±0.01
ALT4	FEB	4.73	ns	82.09	**	7.30	**	1.70	**	18.95	1.00	±0.06	0.91	±0.02
ALT5	MAR	18.36	ns	130.52	**	15.55	**	3.21	**	17.13	1.00	±0.02	0.90	±0.03
ALT6	ABR	31.16	ns	153.82	**	30.97	**	6.06	**	14.15	0.91	±0.02	0.87	±0.03
ALT7	MAY	44.00	ns	221.47	**	37.30	**	9.14	**	13.02	0.89	±0.03	0.88	±0.03
ALT8	JUN	39.44	ns	236.16	**	37.26	**	11.95	**	11.73	0.78	±0.05	0.88	±0.03
ALT9	JUL	106.20	**	207.40	**	30.80	**	14.06	**	10.16	0.66	±0.06	0.86	±0.03
DIAM4	FEB	0.72	ns	3.36	**	0.40	**	0.11	**	13.56	0.97	±0.01	0.90	±0.03
DIAM5	MAR	0.07	ns	5.01	**	0.68	**	0.16	**	12.61	0.89	±0.03	0.88	±0.03
DIAM6	ABR	0.14	ns	3.20	**	0.55	**	0.19	**	9.35	0.59	±0.07	0.85	±0.04
DIAM7	MAY	1.66	ns	4.33	**	1.02	**	0.33	**	10.17	0.66	±0.06	0.85	±0.03
DIAM8	JUN	0.67	ns	4.46	**	1.40	**	0.51	**	5.60	0.23	±0.05	0.66	±0.06
DIAM9	JUL	0.30	ns	4.33	**	1.26	**	0.54	**	5.61	0.25	±0.06	0.66	±0.06

ns No significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, * Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, ** Altamente significativo al nivel de 0.01 de probabilidad.

En general, las correlaciones genéticas edad-edad de altura mostraron sus valores máximos al correlacionar edades cercanas las cuales fueron disminuyendo incluso hasta hacerse negativas al compararlos con las edades más lejanas ($r_{G\text{ ALT1 }2} = 0.68$, $r_{G\text{ ALT1 }9} = -0.08$) (Cuadro III.1.5.3), esto ocurre en los primeros tres meses de edad, a partir de la edad cuatro las correlaciones siguen el mismo patrón, pero sin llegar a ser negativas, hasta ser relativamente altas a altas en los meses 4 a 9 ($r_{G\text{ ALT }4\ 5} = 0.91$, $r_{G\text{ ALT4 }9} = 0.19$; $r_{G\text{ ALT5 }6} = 0.83$, $r_{G\text{ ALT8 }9} = 0.81$). En los diámetros los valores máximos se encontraron al correlacionar edades cercanas ($r_{GA\text{ DIAM4 }5} = 0.94$, $r_{GA\text{ DIAM5 }6} = 0.88$; $r_{GA\text{ DIAM8 }9} = 1.00$).

La correlación genética aditiva entre altura y diámetro puede permitir seleccionar planta de calidad a edades tempranas de desarrollo, a través de una selección indirecta, ahorrando tiempo, espacio y recursos. Por ejemplo, una buena correlación entre la altura a la edad cuatro, y el diámetro a la edad 4, 5 y 6, ($r_{G \text{ ALT } 4 \text{ DIAM } 4,5,6} = 0.70, 0.72, 0.68$, respectivamente), permite la posibilidad de seleccionar las plantas más altas a la edad cuatro que seguramente tendrán el mayor diámetro y vigor a la edad seis.

Los valores de correlación estimados para diámetro a la edad cinco con la altura a las edades 1 a la 6 fueron mayores que los reportados para *Pinus oocarpa* a las mismas edades en vivero ($r_{G(\text{DIAM}5, \text{ALT}2)} = -0.222$; $r_{G(\text{DIAM}5, \text{ALT}6)} = 0.264$) (Viveros-Viveros *et al.*, 2005).

Cuadro III.1.5.3. Correlaciones fenotípicas con su significancia (arriba de la diagonal) y genéticas aditivas con su error estándar (debajo de la diagonal) entre altura y diámetro.

	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5	ALT6	ALT7	ALT8	ALT9	DIAM4	DIAM5	DIAM6	DIAM7	DIAM8	DIAM9
ALT1		0.77 **	0.74 **	0.58 **	0.46 **	0.23 **	0.12 **	0.05 **	0.03 ns	0.38 **	0.41 **	0.31 **	0.12 **	0.17 **	0.17 **
ALT2	0.68 (0.01)		0.93 **	0.48 **	0.32 **	0.10 **	0.02 ns	0.02 ns	0.02 ns	0.35 **	0.35 **	0.27 **	0.12 **	0.18 **	0.19 **
ALT3	0.68 (0.00)	0.99 (0.00)		0.53 **	0.36 **	0.16 **	0.07 **	0.06 **	0.06 **	0.38 **	0.39 **	0.31 **	0.17 **	0.21 **	0.21 **
ALT4	0.87 (0.00)	0.55 (0.01)	0.55 (0.01)		0.86 **	0.66 **	0.48 **	0.34 **	0.25 **	0.58 **	0.65 **	0.57 **	0.38 **	0.38 **	0.38 **
ALT5	0.76 (0.00)	0.26 (0.01)	0.24 (0.00)	0.91 (0.00)		0.85 **	0.67 **	0.48 **	0.37 **	0.54 **	0.65 **	0.62 **	0.47 **	0.45 **	0.44 **
ALT6	0.33 (0.01)	-0.20 (0.02)	-0.20 (0.01)	0.61 (0.01)	0.83 (0.00)		0.87 **	0.70 **	0.56 **	0.39 **	0.51 **	0.57 **	0.53 **	0.47 **	0.46 **
ALT7	0.22 (0.02)	-0.33 (0.02)	-0.34 (0.01)	0.53 (0.01)	0.73 (0.01)	0.96 (0.00)		0.89 **	0.75 **	0.23 **	0.33 **	0.41 **	0.46 **	0.42 **	0.41 **
ALT8	0.02 (0.03)	-0.37 (0.03)	-0.36 (0.01)	0.33 (0.03)	0.47 (0.02)	0.79 (0.01)	0.92 (0.01)		0.86 **	0.13 **	0.21 **	0.28 **	0.39 **	0.42 **	0.40 **
ALT9	-0.08 (0.03)	-0.35 (0.03)	-0.32 (0.01)	0.19 (0.03)	0.26 (0.02)	0.61 (0.02)	0.78 (0.01)	0.81 (0.02)		0.09 **	0.13 **	0.19 **	0.29 **	0.35 **	0.34 **
DIAM4	0.62 (0.00)	0.57 (0.01)	0.61 (0.00)	0.70 (0.00)	0.50 (0.00)	0.29 (0.01)	0.18 (0.01)	0.07 (0.02)	0.05 (0.02)		0.80 **	0.71 **	0.52 **	0.45 **	0.44 **
DIAM5	0.69 (0.01)	0.54 (0.02)	0.54 (0.01)	0.72 (0.01)	0.56 (0.01)	0.28 (0.02)	0.15 (0.03)	0.02 (0.05)	-0.08 (0.05)	0.94 (0.00)		0.86 **	0.60 **	0.55 **	0.54 **
DIAM6	0.50 (0.03)	0.32 (0.04)	0.34 (0.02)	0.68 (0.02)	0.61 (0.01)	0.52 (0.02)	0.38 (0.04)	0.17 (0.07)	0.08 (0.07)	0.94 (0.00)	0.88 (0.01)		0.73 **	0.61 **	0.60 **
DIAM7	-0.06 (0.03)	-0.18 (0.03)	-0.16 (0.01)	0.15 (0.03)	0.18 (0.02)	0.41 (0.02)	0.38 (0.03)	0.31 (0.06)	0.28 (0.06)	0.58 (0.01)	0.38 (0.04)	0.67 (0.04)		0.68 **	0.66 **
DIAM8	0.16 (0.05)	0.05 (0.06)	0.00 (0.02)	0.23 (0.05)	0.24 (0.03)	0.31 (0.04)	0.23 (0.06)	0.22 (0.09)	0.05 (0.10)	0.43 (0.02)	0.53 (0.06)	0.54 (0.08)	0.48 (0.08)		0.98 **
DIAM9	0.19 (0.05)	0.07 (0.06)	0.02 (0.02)	0.24 (0.05)	0.25 (0.03)	0.31 (0.04)	0.22 (0.06)	0.21 (0.09)	0.03 (0.11)	0.43 (0.02)	0.52 (0.06)	0.53 (0.08)	0.47 (0.08)	1.00 (0.00)	

^{ns} No significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, * Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, ** Altamente significativo al nivel de 0.01 de probabilidad.

III.1.6. CONCLUSIONES.

La variación genética fue altamente significativa entre progenies en el análisis de varianza ($P < 0.0001$) para las variables evaluadas en las diferentes edades.

Los parámetros genéticos cambiaron con la edad de evaluación. Los coeficientes de variación genética aditiva tendieron a disminuir con la edad en ambas variables, pero fueron altos comparados con los de otras especies.

Fue evidente un efecto materno durante el período de evaluación principalmente en las heredabilidades a nivel individual, que se ve reducido para la altura a los siete meses y para el diámetro a los ocho meses.

Se detectaron altas correlaciones genéticas positivas edad-edad de la variable altura al correlacionarlas a partir de la edad 7 que es la edad en que altura presenta una disminución de las reservas de nutrimentos que la planta obtenía de la semilla, y es la edad en que es más viable hacer una correlación para la selección a edades tempranas.

En el análisis del diámetro se observaron correlaciones de relativamente altas a altas al hacer las correlaciones a la edad 8, por lo cual es más viable hacer selección a edades tempranas tomando en cuenta en primer lugar altura y después diámetro en la fase de vivero

De acuerdo a los resultados obtenidos no es recomendable, en la fase de vivero, seleccionar el diámetro con base en la altura o la altura con base en el diámetro porque las correlaciones son bajas y cercanas a cero a partir de la edad 8.

AGRADECIMIENTOS.

Al financiamiento otorgado por CONACYT

Al financiamiento de PROMEP de la SES para el desarrollo del proyecto. Proyecto PROMEP/103.5/08/1538.

III.1.7. LITERATURA CITADA.

ADAMS, W.T.; AITKEN, S.N.; JOYCE, D.G.; HOWE, G.T. y VARGAS-HERNÁNDEZ, J. 2001. Evaluating efficacy of early testing for stem growth in coastal Douglas-fir. *Silvae Genética* 50(3-4): 167-175.

ALBA-LANDA, J.; MENDIZÁBAL-HERNÁNDEZ, L.C.; y MÁRQUEZ, J. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana*. 10(1): 25-29.

BARNES, R. D. y SCHWEPPENHAUSER, M.A. 1978. *Pinus patula* and Deppe progeny tests in Rhodesia. Genetic control of nursery traits. *Silvae genetica* 27(5):200-204.

BARNES, R.D. y SCHWEPPENHAUSER, M.A. 1979. *Pinus patula* Schiedes y Deppe progeny tests in Rhodesia: genetic control of 1.5 year old traits and comparison of progeny test methods. *Silvae Genética* 28(4): 156-167.

CABI 2002. Pines of Silvicultural Importance. The Forestry Compendium. CABI. 608 p.

CARLES, S.; LAMHAMEDI, M.S.; BEAULIEU, J.; STOWE, D.C.; COLAS F. y MARGOLIS H.A. 2009. Genetic variation in seed size and germination patterns and their effect on white spruce seedling characteristics. *Silvae Genética* 58(4):152-161.

CASTELLANOS, A. D. 2010. Relación entre caracteres cuantitativos de semillas y plantas procedentes de árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 38 p.

CONAFOR. 2010. Comisión Nacional Forestal. Reforestación: Fichas Técnicas http://www.conafor.gob.mx/portal2/index.php?option=com_content&task=view&id=58&Itemid=39. Fecha de consulta 04-11-10

DOMÍNGUEZ, P.A.; NAVAR, J.; HERNÁNDEZ, C. y TIENDA, J. 2005. Factors influencing the quality of nursery seedlings of *Pinus pseudostrobus* Lindl. Tree Planters' Notes 51(1):47-52.

ERIKSSON, G. 2000. Genética evolutiva y conservación genética. Department of Forest Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences, Invest. Agr.: Forest Systems 9(4):210-219.

ERIKSSON, G.; JONSSON, A.; DORMLING, I.; NORELL, L. y STENER, L.G. 1993. Retrospective early tests of *Pinus sylvestris* L. seedlings grown under five nutrient regimes. Forest Science. 39(1): 95-117.

FALCONER, D.S y MACKAY, T.F.C. 2001. Introducción a la genética cuantitativa. Acribia, S.A. Zaragoza, España. 469 p.

FARMER JR., R.E. 1969. Genetic variation among open –pollinated progeny of Eastern cottonwood. Silvae Genética 19(5/6):149-151.

FRANKLIN, E.C. 1979. Model relating levels of genetic variance to stand development of North American Conifers. Silvae Genética 28(5/6):207-12.

GUTIÉRREZ, C. B. 2007. Supervivencia, crecimiento inicial e interacción con el sitio de progenies de árboles plus de pino Oregón *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Ciencia e Investigación Forestal 13(2):273-285.

HAASE, D. 2008. Understanding Forest Seedling Quality: Measurements and Interpretation. Nursery Technology Cooperative, Department of Forest Science. Oregon State University, Corvallis. OR. Tree Planters" Notes. 52 (2):24- 30.

LÓPEZ-NAVA, J. 2010. Evaluación y análisis retrospectivo de dos ensayos de progenies de *Pinus greggii* Engelm. de primera y segunda generación en Morelia, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 50 p.

MORA, F. y **ZAMUDIO, F.** 2006. Variabilidad genética del crecimiento en progenies selectas de *Pinus radiata*. *Ciencia Forestal*, Santa María 16(4):399-405.

RODRÍGUEZ, G.H. y **LÓPEZ, C.R.** 2002. Variación genética de progenies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari. *Quebracho* 9:19-28.

SÁNCHEZ-VARGAS, N.M. y **VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J.** 2007. Competencia y su relación con los parámetros genéticos en clones de eucalipto. *Ciencia e Investigación Forestal* 13(2):361-369.

SÁNCHEZ-VARGAS, N.M.; **CAMBRÓN-SANDOVAL, V.H.;** **SÁENZ-ROMERO C.** y **VARGAS-HERNÁNDEZ J. J.** Parámetros genéticos del crecimiento temprano de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Michoacán, México. *Rev. Forestal Venezolana*. En prensa.

SÁNCHEZ-VARGAS, N.M.; **VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J.;** **RUIZ-POSADAS, L.M.** y **LÓPEZ-UPTON J.** 2004. Repetibilidad de parámetros genéticos en un ensayo clonal de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Agrociencia* 38:465-475.

SAS Institute 2004. **SAS/STATS. Users Guide;** <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugwhatsnew/63792/PDF>. Fecha de consulta: 01-05-09 a 31-01-11

VARGAS –HERNANDEZ, J y **ADAMS, W.T.** 1992. Age-Age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-Fir. *Forest Science*. 38(2): 467-478.

VIVEROS-VIVEROS, H.; **SÁENZ-ROMERO, C.,** y **GUZMÁN-REYNA, R.R.** 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero y plántulas de *Pinus oocarpa*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28(4):333-338.

ZOBEL, B.J. y **TALBERT, J.T.** 1992. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. LIMUSA, S. A. de C. V. México. 545 p.

**III.2. PARÁMETROS GENÉTICOS DE FAMILIAS CRECIDAS EN CAMPO
PROCEDENTES DE ÁRBOLES SUPERIORES DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.
DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

Floriberta Sánchez-Suárez¹, Nahum M. Sánchez-Vargas^{1*}, Cuauhtémoc Sáenz-Romero¹, Armando Aparicio-Rentería³, Alejandro Martínez-Palacios¹ y Juan Carlos Montero-Castro²

¹Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH) nsanchezv@yahoo.com. Km 9.5 carr. Morelia-Zinapécuaro Tarímbaro, Michoacán 58880 México Tel (443)3 34 04 75 ext. 129, Fax ext. 200; ²Facultad de Biología-UMSNH, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México. ³Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana, Parque Ecológico “El Haya”, Xalapa Veracruz, México.

* Autor para correspondencia

III.2.1 RESUMEN.

Se estimó la variación de los parámetros genéticos de crecimiento de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* de plantas seleccionadas al azar, de 29 familias obtenidas en vivero, provenientes de árboles fenotípicamente superiores.

Las plantas seleccionadas se dispusieron a 3 m por 2.5 m en un ensayo de 9 bloques completos al azar, en un terreno de aproximadamente 0.85 ha ubicado en la localidad de Las Peras, Municipio de Indaparapeo, Michoacán. Las variables de respuesta; altura total hasta la yema principal (ALT) y diámetro a la base del tallo (DIAM) a 5 cm. del suelo fueron medidas bimensualmente por 17 meses.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre familias en las dos variables evaluadas ($p = 0.05$) hasta la altura (ALT) a la edad de 9 meses y el diámetro (DIAM) a la edad de 11 meses a partir de su plantación en campo revelando una mayor contribución del componente. La heredabilidad individual (h^2_i) en altura fue disminuyendo con la edad, ($h^2_{iALT1}=0.31$ a $h^2_{iALT17}= 0.02$), al igual que en diámetro ($h^2_{iDIAM1}=0.15$ a $h^2_{iDIAM17}= 0.09$). La heredabilidad de medias de familias (h^2_f) presentó valores de bajos a relativamente altos ($h^2_{fALT1}=0.66$ a $h^2_{fALT17}= 0.06$; $h^2_{fDIAM1}= 0.51$ a $h^2_{fDIAM17}= 0.37$). Las correlaciones genéticas aditivas se mostraron más altas en comparación con las fenotípicas al correlacionar las edades en altura y diámetro ($r_{G\ ALT1-3} = 1.00$, $r_{G\ ALT1-7} = 1.00$; $r_{G\ DIAM1-3} = 0.98$, $r_{G\ DIAM1-11} = 0.51$) en que la familia tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$). Las correlaciones genéticas aditivas entre los caracteres evaluados fueron negativas y mostraron sus valores máximos a la edad de 9 y 11 meses en diámetro con las edades de 1 a 7 meses en altura. Lo que sugiere que es posible tomar en cuenta para hacer selección a edades tempranas sólo una de las variables, la altura en primer lugar y en segundo el diámetro.

Palabras clave: *Pinus pseudostrobus*, coeficiente de variación, heredabilidades, correlaciones genéticas.

III.2.2. SUMMARY.

We estimated the genetic variation of growth of *Pinus pseudostrobus* half-sib families from plants produced in nursery and randomly selected for its establishment in field conditions.

The seedlings were planted at 3.0 x 2.5 m in randomized complete block design, with 9 repetitions. The trial was established in an area of approximately 0.85 has in Las Peras community in Indaparapeo Municipality, Michoacán. The evaluated traits were total height to the main shoot and diameter at stem base and were measured for 17 months bimonthly.

The analysis of variance showed significant differences between families in the two traits ($p = 0.05$) until the 9 month of age in height and until the 11 month of age in diameter revealing a greater contribution of the component. The heritability at individual level showed moderate values that were diminishing constantly from 0.31 to 0.02 in one age to 17 age in height, while in the diameter of were low ($0.09 \geq h^2_i \leq 0.21$). The heritability at mean of families level had values from low to relatively high ($h^2_{fALT1} = 0.56 - h^2_{fALT17} = 0.06$; $h^2_{fDIAM} = 0.61 - h^2_{fDIAM} = 0.39$). The additive genetic correlations were higher compared with the phenotypic correlations by correlating the height and diameter ($r_{G\ ALT1-3} = 1.00$, $r_{G\ ALT1-7} = 1.00$; $r_{G\ DIAM1-3} = 0.98$, $r_{G\ DIAM1-11} = 0.51$) where the family had a significant effect ($P \leq 0.05$) effect. The additive genetic correlations between traits evaluated were negative and showed their negative peaks at 9 and 11 months of age in diameter with ages 1 to 7 in height. This suggests that is possible to take account only a variable for early selection, first the height and second the diameter.

Keywords: *Pinus pseudostrobus*, coefficient of variation, heritability, genetic correlations, field.

III.2.3. INTRODUCCIÓN.

México es reconocido como el cuarto país en el mundo en importancia por su gran biodiversidad, tanto de especies como de comunidades vegetales ampliamente apreciadas en el planeta, varias de ellas son los pinos que tienen gran importancia ecológica, económica y social (Sánchez-González, 2008). Esta riqueza constituye un patrimonio nacional que es prioritario conservar (Ordoñez *et al.*, 2001; García y González, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005; Sánchez-González, 2008).

Uno de los principales problemas que enfrentan los bosques es la deforestación a gran escala que lleva a la fragmentación del hábitat la cual afecta en gran medida a la estructura genética de las poblaciones, (Young *et al.*, 1996, FAO, 2010). Para revertir la destrucción de recursos forestales, se requiere, entre otras acciones; establecer programas masivos de reforestación o de plantaciones forestales comerciales, utilizando plántulas de calidad producidas en vivero (Reyes *et al.*, 2005).

El suministro insuficiente de semilla es el principal factor limitante para el desarrollo de los programas de plantación (Granhof, 1991). En este contexto, la importancia de las semillas utilizadas en el proceso productivo forestal es indiscutida, y se reconoce su rol fundamental como elemento básico de la cadena de valor.

Si bien las semillas de calidad no aseguran *per se* resultados óptimos, ya que también son necesarias prácticas silviculturales adecuadas, contribuyen en gran medida al éxito de una plantación forestal (Gauchat y Hernán 2004; Nienstaedt 1990; Zobel y Talbert 1988). La calidad genética de las semillas es respaldada a través de los programas de mejoramiento que les dan origen. Esto hace necesario establecer la práctica de mejoramiento genético forestal mediante plantaciones con este fin (Azamar *et al.*, 2000).

En Michoacán *Pinus pseudostrobus* está clasificado como una de las mejores especies del género por presentar rápido crecimiento y buena producción de resina, por esta razón es la especie a estudiar en un sitio representativo de las condiciones en las que tradicionalmente se establece.

Entre los estudios que se han realizado para evaluar la eficiencia de la selección a edades tempranas, está el de *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*, realizado por Farfán *et al.* (2002), ellos estimaron el control genético en el crecimiento en altura y diámetro de los árboles en edades de 3 a 13 años, así como las correlaciones genéticas edad-edad en un ensayo de polinización libre con 42 familias de dos grupos de poblaciones. Encontraron que el diámetro y la altura como criterio de selección es indistinto a la edad de 13 años, de esa manera podría utilizarse solo una de las dos variables para hacer la selección con un riesgo mínimo de eliminar individuos con un desempeño superior a los 13 años de edad. De acuerdo a los resultados obtenidos, la selección temprana (a los 3 años de edad) tendría una eficiencia cercana al 60% con respecto a la respuesta de la selección directa a los 13 años de edad.

Otra especie con la que se ha trabajado es con *Pinus elliottii*, cuyo objetivo fue estimar, para diferentes edades de crecimiento, los coeficientes de variación genética aditiva, heredabilidades, correlaciones genéticas y la eficiencia de la selección temprana a nivel individual y familiar, al 3°, 4°, 5°, 9° y 15° año de edad. Analizó el volumen medio individual de 72 familias de medio-hermanos de *P. elliottii*, encontrando que el 5° año se destacó como la edad óptima para realizar la selección temprana y capturar el máximo de ganancia genética del volumen al 15° año, tanto a nivel individual como familiar (López, 2006).

Buitrago-Esquinas *et al.* (2001), en un ensayo de progenies de polinización libre de pino piñonero (*Pinus pinea* L.) de siete años de edad estudiaron parámetros genéticos cuantitativos como heredabilidad, coeficiente de variación genética aditiva y correlaciones genéticas edad-edad y entre caracteres de la estructura del árbol

(crecimiento primario, secundario y ramificación), encontraron que la existencia de altas correlaciones genéticas positivas entre los caracteres de crecimiento a diferentes edades y las altas heredabilidades de las mediciones tempranas sugieren que la selección temprana sería efectiva, aunque este extremo deba comprobarse con un intervalo mayor de edades y las correlaciones genéticas positivas que se obtuvieron entre todos los caracteres de crecimiento, tanto primario como secundario, ellos sugieren que es factible aplicar la selección indirecta con una variable fácil de medir, tal como la sección del fuste.

En otro estudio realizado por Xie y Ying (1995) con *Pinus contorta* ssp. *latifolia*, encontraron que la ganancia genética esperada anual fue maximizado por la selección a edades tempranas de la evaluación (es decir, siete años para la altura y los 14 años de diámetro y volumen del tronco) para volumen a la edad de 24 años ellos concluyeron que la selección basada en el volumen fue siempre más eficiente que la basada en la altura o el diámetro. La alta heredabilidad, las correlaciones genéticas edad-edad altas y la madurez sexual temprana de *Pinus contorta* ssp. *Latifolia* sugieren un gran potencial de selección temprana de esta especie.

Por otro lado Gutiérrez (2007), evaluó dos ensayos de progenies de pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), de un año de edad, establecidos en un sitio representativo de las condiciones en que tradicionalmente se establece esta especie (Voipir, Villarrica, IX Región) y otro que representa condiciones más adversas, donde se podrían expandir sus plantaciones (Malalcahuello, Lonquimay, IX Región). De acuerdo a los resultados encontrados se llegó a la conclusión de que una evaluación temprana, es adecuada para correlacionar con evaluaciones futuras y, en función de esos resultados, poder determinar a partir de qué momento se pueden hacer selecciones que sean representativas del comportamiento familiar al momento de la rotación. En términos de supervivencia, una evaluación temprana permite discriminar las procedencias más apropiadas para ser establecidas en cada sitio.

En Argentina en un estudio realizado con *Pinus taeda* por Rodríguez y López (2006) para demostrar la capacidad que tiene esta especie de adaptarse en diversos medios implantación, y mejorar sus característica de crecimiento en volumen, encontrando que la variabilidad genética entre familias de progenies de polinización abierta de *Pinus taeda* es significativa y puede ser aprovechada para la mejora del crecimiento en volumen por selección de las mejores familias, la heredabilidad familiar en diámetro y altura fue moderadamente alta y coherente con las ganancias genéticas esperadas y la correlación genética entre el diámetro y altura es alta y positiva. Ésta especie en particular y en los sitios de estudio las familias no interactúan con el ambiente en su desempeño en diámetro y altura.

Si bien la menor edad sugerida para hacer una selección temprana es de tres años, esto depende de la especie con la que se trabaja. La plantación se estableció con el objetivo de estimar los parámetros genéticos de familias procedentes de árboles superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de Michoacán, México, en condiciones naturales, para evaluar la probabilidad de hacer una selección a edad temprana tomando en cuenta el comportamiento de cada familia en aspectos de crecimiento, para ese sitio en particular, y llegado el momento, convertirlo en un huerto semillero que apoye las plantaciones de la región.

III.2.4. MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó con semillas provenientes de árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* seleccionados y colectados por la COFOM (Comisión Forestal de Michoacán), parte de la semilla fue donada al Instituto de Investigaciones agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH).

Las semillas fueron puestas a germinar en laboratorio a temperatura ambiente y posteriormente transplantadas a contenedores de plástico rígido de 380 cm³. Se mantuvieron en vivero por 9 meses y posteriormente se llevaron a campo.

Con las plantas provenientes de 37 árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* obtenidas en vivero, se seleccionaron al azar 29 familias. Las plantas seleccionadas se dispusieron en un ensayo de 9 bloques completos al azar, en un terreno de aproximadamente 0.85 ha ubicado en la localidad de Las Peras, en el Municipio de Indaparapeo, Michoacán (19°40'58.80" N 100°54'22.11" O) a una altitud de 2,523 msnm.

Las plantas se colocaron a una distancia de 3.0 m x 2.5 m evitando la sombra de los arboles adultos que crecen en dicho espacio para evitar un posible sesgo en los resultados obtenidos. Se colocaron dos filas de Cedro Blanco (*Cupressus lindleyi* Klotzsch ex Endl.) como franja de protección alrededor de la plantación. Las variables de respuesta (altura total hasta la yema principal (ALT), diámetro a la base del tallo (DIAM) y supervivencia) fueron medidas bimensualmente por 17 meses.

III.2.4.1. Análisis de datos.

Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2004), utilizando el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + e_{ijk},$$

donde Y_{ijk} es el valor observado del k -ésimo individuo de la j -ésima familia en el i -ésimo bloque, μ es el valor promedio de la población; B_i es el efecto del i -ésimo bloque, F_j es el efecto de la j -ésima familia; BF_{ij} es el efecto de la interacción del i -ésimo bloque con la j -ésima familia, y e_{ijk} es el error experimental. Con el mismo modelo se obtuvieron los componentes de la varianza estimados con el procedimiento VARCOMP (SAS, 2004).

La heredabilidad en sentido estricto se estimó a nivel de árboles individuales (h^2_i) y a nivel de medias de familias (h^2_f) con las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h^2_i = 4\sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_{bxf}^2 + \sigma_e^2)$$

$$h^2_f = \sigma_f^2 / [\sigma_f^2 + (\sigma_{bxf}^2 / b) + (\sigma_{e/nb}^2)]$$

donde σ_f^2 es la varianza de familias, σ_{bxf}^2 es la varianza de la interacción entre el bloque y la familia, σ_e^2 es la varianza del error, n es la media armónica del número de individuos por parcela y b es el número de bloques.

Se estimaron las correlaciones genéticas entre altura y diámetro utilizando la fórmula:

$$r_{G(XY)} = \text{Cov}_{G(X,Y)} / (\sigma_{G(X)}^2 \sigma_{G(Y)}^2)^{0.5}$$

donde $\text{Cov}_{G(X,Y)}$ es la covarianza entre los caracteres X e Y , y $\sigma_{G(X)}^2$ y $\sigma_{G(Y)}^2$ son las varianzas genéticas para esas mismas características.

$\text{Cov}_{G(X,Y)}$ se calculó a partir de los componentes de varianza obtenidos para la suma de caracteres X e Y , utilizando la siguiente ecuación (Rice, 1988):

$$\text{Cov}_{G(X,Y)} = [\sigma_{G(X+Y)}^2 - (\sigma_{G(X)}^2 + \sigma_{G(Y)}^2)] / 2$$

donde $\sigma_{G(X+Y)}^2$ es la varianza genética de la variable $X+Y$.

El error estándar de la correlación genética (σ_{rg}) se estimó con la fórmula de Falconer y Mackay (2001):

$$\sigma_{rg} = [(1 - r_{g(x,y)}^2) / 2^{0.5}] [(\sigma_{h^2x} \sigma_{h^2y}) / (h^2_x h^2_y)]^{0.5}$$

III.2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El análisis descriptivo de las variables evaluadas (Cuadro III.2.5.1), muestra un coeficiente de variación relativamente alto que va incrementando conforme pasa el tiempo en el caso del diámetro, y se mantiene relativamente estable, en el caso de altura ($CV_{DIAM1} = 22.78\%$ - $CV_{DIAM9} = 35.06\%$, $CV_{ALT1} = 38.31\%$ - $CV_{ALT9} = 39.47\%$) éstos resultados favorecen la selección de individuos para continuar los trabajos de mejoramiento genético, lo anterior con base en Álvarez (1999; 2001) quien plantea que coeficientes de variación con valores por encima del 25 o 30 % se puede considerar altos, indicando que hay variación en la muestra.

La altura y el diámetro de los pinos y en general de todos los árboles se ven influenciado mayormente por las características físicas y climáticas de los sitios en donde se desarrollan (Zobel y Talbert, 1988). Este pudo haber influido en la variación, sobre todo en el crecimiento en diámetro que suele ser más sensible a las variaciones en los factores ambientales que el crecimiento en altura (Iglesias y Tivo, 2006).

La desviación estándar (Cuadro III.2.5.1) observada para cada carácter evaluado va incrementando conforme pasa el tiempo ($Sx_{ALT1} = 4.79$; $Sx_{ALT9} = 17.96$; $Sx_{DIAM1} = 0.77$; $Sx_{DIAM9} = 3.77$) lo que muestra que existen árboles con tamaños muy diferentes.

Cuadro III.2.5.1. Estadísticas descriptivas de las variables evaluadas en *Pinus pseudostrobus* a diferentes edades (meses): Media general (μ), valor mínimo (Mín), máximo (Máx), desviación estándar (Sx) y coeficiente de variación (CV).

		μ	MÍN	MÁX	Sx	CV
ALT1	JUL	12.60	1.50	27.20	4.79	38.01
ALT3	SEP	13.75	2.00	29.10	5.14	37.42
ALT5	NOV	14.86	2.00	38.00	5.43	36.56
ALT7	ENE	15.78	2.60	38.00	5.72	36.22
ALT9	MAR	20.81	3.00	55.00	8.67	41.67
ALT11	MAY	30.13	3.50	81.00	13.53	44.92
ALT13	JUL	37.95	4.00	94.60	16.23	42.77
ALT15	SEP	43.41	5.50	117.80	17.81	41.03
ALT17	NOV	45.34	5.30	118.90	17.96	39.62
DIAM1	JUL	3.38	1.00	6.80	0.77	22.87
DIAM3	SEP	4.03	1.10	7.10	1.00	24.69
DIAM5	NOV	4.60	1.40	8.20	1.17	25.44
DIAM7	ENE	5.22	1.70	10.40	1.35	25.83
DIAM9	MAR	6.19	2.10	12.00	1.70	27.41
DIAM11	MAY	7.05	2.20	17.20	2.08	29.51
DIAM13	JUL	8.73	2.20	23.00	2.86	32.81
DIAM15	SEP	9.94	2.20	23.30	3.58	36.05
DIAM17	NOV	10.72	2.20	25.80	3.77	35.17

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre familias en las dos variables evaluadas ($P = 0.05$) hasta la altura a la edad 9 y el diámetro a la edad 11 revelando una mayor contribución del componente genético para las variables evaluadas los primeros 9 y 11 meses respectivamente (Cuadro III.2.5.2). Fue a partir del décimo primer mes en altura que la variable bloque empezó a presentar un efecto significativo sobre el ensayo, mientras que en la variable diámetro mostró un efecto significativo a partir del tercer mes.

En cuanto al coeficiente de variación genética aditiva (Cuadro III.2.5.2) se observa que fue disminuyendo conforme pasó el tiempo para la variable altura ($CV_{GALT1} = 10.64$; $CV_{GALT17} = 2.5$) mientras que para la variable diámetro fue de ($4.44 \geq CV_{GDIAM17} \geq 6.71$), Kageyama (1983) indica que el análisis de la evolución de los

diferentes tipos de coeficientes de variación en función a, o con el transcurso de la edad, permite discutir más fundamentalmente la disminución de la heredabilidad

Los coeficientes de variación genética de este ensayo son más bajos que los estimados para *Pinus pinea* L. donde los coeficientes de variación genética aditiva para los caracteres de crecimiento primario varían de 14.5% a 24.5% (Buitrago *et al.*, 2001) y los estimados para *Pinus sylvestris* que van de 38.48% a la edad 1 a 11.11% a la edad de 9 años (Climent *et al.*, 1997)

La heredabilidad individual (Cuadro III.2.5.2) presentó valores moderados que fueron disminuyendo constantemente, desde 0.31 a la edad 1 a 0.02 a la edad 17 en altura, comportamiento similar al observado en el coeficiente de variación genética aditiva, mientras que la heredabilidad individual en diámetro va de $0.09 \geq h^2_i \leq 0.21$. Los resultados obtenidos en los coeficientes de heredabilidad y la tendencia de disminución de su valor con la edad, son parecidos a los encontrados por Burdon *et al.*, (1992), que estimó la heredabilidad en sentido restringido en un ensayo de *Pinus radiata* de 8 años de edad, obteniendo valores moderados en diámetro y altura ($h^2_{DIAM} = 0.1$ y entre $h^2_{ALT} = 0.1-0.2$).

La heredabilidad de medias de familias (Cuadro III.2.5.2) presentó valores moderadamente altos en altura y diámetro ($h^2_{f_{ALT1}} = 0.56 - h^2_{f_{ALT17}} = 0.06$; $h^2_{f_{DIAM}} = 0.61 - h^2_{f_{DIAM}} = 0.39$) que tendieron a disminuir con la edad (Cuadro III.2.6.2), los valores de heredabilidad de medias de familias, fueron más altos comparado con la heredabilidad individual, esto concuerda con lo obtenido por Farfán *et al.* (2002) que estimaron una heredabilidad media de familias de entre un 60 y 120% mayor que el de la heredabilidad individual estimada para un ensayo de selección temprana de *Pinus ayacahuite* Ehren var *ayacahuite*.

Este fenómeno de disminución de la heredabilidad ocurre en otras especies, tanto coníferas como latifoliadas y está asociado, principalmente, a características y propiedades de las semillas (Carles *et al.*, 2009), que disminuyen con el aumento de la edad. Al respecto, Franklin (1979) da una explicación indicando que la disminución

es debida a los efectos de la competencia entre las plantas, indicando que conforme aumenta la competencia entre ellas, el coeficiente de heredabilidad disminuye; aunque ese valor puede crecer nuevamente tras superarse la fase de adaptación a medida que los árboles llegan a la madurez la heredabilidad individual empezará a aumentar (Climent 1997).

Los valores de heredabilidad obtenidos en este estudio fueron relativamente un poco más bajos a los obtenidos con respecto a otra conífera, *Picea sitchensis*, en el primer año de establecida en campo, en ambos tipos de heredabilidad ($h^2_i = 0.32 \pm 0.07$; $h^2_f = 0.61 \pm 0.06$) (Lee *et al.*, 2002) y como las obtenidas en *Abies sachalinensis*, en el primer año de establecido el ensayo en campo, en cuatro sitios diferentes ($0.39 \pm 0.08 \leq h^2_i \leq 1.05 \pm 0.14$) (Sato, 1994).

Cuadro III.2.5.2. Resultados de los análisis de varianza. Fuente de variación (FV), cuadrados medios de bloques (BLOQ), familia (FAM), interacción entre bloque y familia (B x F) y error (E), con sus respectivos valores de probabilidad (P); coeficiente de variación genética aditiva (CV_G), heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), con sus respectivos errores estándar (σ_{h^2}).

		BLOQ	P	FAM	P	B x F	P	E	P	CV_G	h^2_i	σ_{h^2}	h^2_f	σ_{h^2}
ALT1	JUL	27.46	ns	72.27	**	24.02	*	19.72	**	10.64	0.31	±0.06	0.66	±0.06
ALT3	SEP	21.43	ns	94.45	**	27.50	*	22.35	**	11.52	0.38	±0.07	0.71	±0.06
ALT5	NOV	30.66	ns	97.62	**	31.32	*	24.82	**	10.75	0.34	±0.07	0.67	±0.06
ALT7	ENE	42.03	ns	98.39	**	36.43	**	26.85	**	10.02	0.31	±0.06	0.63	±0.07
ALT9	MAR	134.70	ns	137.43	*	91.23	**	62.80	**	6.45	0.10	±0.03	0.32	±0.06
ALT11	MAY	510.08	*	282.56	ns	215.89	**	150.93	**	5.38	0.06	±0.03	0.21	±0.05
ALT13	JUL	603.17	*	334.60	ns	303.50	**	225.17	**	4.06	0.04	±0.02	0.14	±0.04
ALT15	SEP	759.33	*	453.58	ns	398.99	**	245.65	**	4.26	0.04	±0.02	0.15	±0.04
ALT17	NOV	981.89	*	457.10	ns	425.45	**	233.35	**	2.51	0.02	±0.02	0.06	±0.03
DIAM1	JUL	0.91	ns	1.17	**	0.57	ns	0.57	ns	4.44	0.15	±0.04	0.51	±0.07
DIAM3	SEP	3.59	**	2.29	**	1.05	*	0.85	**	5.57	0.21	±0.05	0.56	±0.07
DIAM5	NOV	6.83	**	3.24	**	1.50	**	1.12	**	5.75	0.21	±0.05	0.54	±0.07
DIAM7	ENE	5.91	**	3.80	**	1.95	*	1.57	**	5.36	0.18	±0.05	0.50	±0.07
DIAM9	MAR	10.88	**	5.08	*	3.06	*	2.49	**	4.89	0.13	±0.04	0.41	±0.07
DIAM11	MAY	14.26	**	8.42	**	4.38	ns	3.82	**	5.89	0.16	±0.05	0.45	±0.07
DIAM13	JUL	37.52	**	11.21	ns	8.62	*	6.95	**	4.67	0.09	±0.03	0.28	±0.06
DIAM15	SEP	36.34	**	22.85	*	14.50	**	10.37	**	6.71	0.14	±0.04	0.38	±0.07
DIAM17	NOV	35.86	*	25.16	*	16.48	**	11.05	**	6.58	0.14	±0.04	0.37	±0.07

^{ns} No significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, * Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, ** Altamente significativo al nivel de 0.01 de probabilidad.

Para evaluar las correlaciones se tomó en cuenta en altura (ALT) hasta la edad 9 y en diámetro (DIAM) hasta la edad 11, debido a que a partir de esa edad la familia dejó de tener un efecto significativo sobre el ensayo.

Las correlaciones fenotípicas (r_f) de la variable altura (ALT) fueron altas y muy cercanas a 1 cuando se correlacionan edades cercanas ($r_{f\text{ ALT}1-3}=0.92$ - $r_{f\text{ ALT}5-7}=0.97$), conforme se hace una correlación a edades lejanas, esta correlación disminuye,

manteniéndose relativamente alta ($r_{f\text{ ALT1-5}}=0.88$ - $r_{f\text{ ALT1-7}}=0.84$) (Cuadro III.2.5.3), este mismo comportamiento tiene el diámetro (DIAM) al compararse a edades cercanas, la correlación fenotípica es alta ($r_{f\text{ DIAM1-3}}=0.71$ - $r_{f\text{ DIAM9-11}}=0.89$) conforme se hace una correlación a edades lejanas, esta correlación disminuye van de $r_{f\text{ DIAM1-5}}=0.61$ a $r_{f\text{ DIAM1-11}}=0.47$ (Cuadro III.2.5.3).

Las correlaciones encontradas entre los caracteres de crecimiento a diferentes edades unido a que las heredabilidades de estos caracteres a edades tempranas son también relativamente, altas permiten esperar que el carácter crecimiento primario responda satisfactoriamente a la selección temprana. Este resultado está en consonancia con los encontrados en otras especies forestales: *Picea glauca* (Moench) Voss. (Li *et al.*, 1993) y *Abies sachalinensis* (Fr.) Mast. (Sato, 1994).

Al correlacionar los dos caracteres de crecimiento altura (ALT) y diámetro (DIAM) se encontró que están moderadamente correlacionados de ($0.30 \geq r_{f\text{ ALT DIAM}} \leq 0.47$), el valor máximo se obtiene al correlacionar el diámetro a cualquier edad con altura a la edad 4. Aunque estas correlaciones son moderadamente bajas permite esperar una ganancia genética (Buitrago-Esquinas *et al.*, 2001).

De acuerdo a la literatura las correlaciones fenotípicas son mayores a las genotípicas debido a la correlación entre los efectos ambientales (Vencovsky y Barriga, 1992) lo cual no coincide con lo encontrado en el presente ensayo donde las correlaciones genéticas aditivas se mostraron más altas en comparación con las fenotípicas al correlacionar las edades los primeros 7 meses en altura ($r_{G\text{ ALT1-3}}=1.00$, $r_{G\text{ ALT1-7}}=1.00$) y al correlacionar las edades los primeros 11 meses en diámetro ($r_{G\text{ DIAM1-3}}=0.98$, $r_{G\text{ DIAM1-11}}=0.51$) en los que la familia tiene un efecto altamente significativo y por lo mismo una heredabilidad relativamente más alta.

Las correlaciones genéticas aditivas entre caracteres evaluados mostraron valores negativos, los valores máximos negativos se encontraron al hacer las correlaciones a la edad 5 y 6 en diámetro con la edad a los 3 meses en altura. La

correlación genética negativa sugiere un patrón de crecimiento contrario a lo comúnmente reportado para las especies de coníferas y latifoliadas, en las que normalmente existe una asociación positiva entre altura y diámetro (Doede y Adams, 1998, Farfán *et al.*, 2002).

Con las correlaciones negativas es posible diseñar criterios de selección para obtener respuestas positivas a en ambas o por lo menos en alguna de ellas (Valencia y Vargas-Hernández; (2001). Vencovsky (1978) señala que el grado de correlación, tanto genotípica como fenotípica, es de gran importancia en la selección de un carácter, ya que puede causar un cambio simultáneo en otro carácter.

Cuadro III.2.5.3. Correlaciones fenotípicas con su respectiva significancia (arriba de la diagonal) y genéticas aditivas con su error estándar (debajo de la diagonal), entre altura y diámetro a diferentes edades.

	ALT1	ALT3	ALT5	ALT7	DIAM1	DIAM3	DIAM5	DIAM7	DIAM9	DIAM11
ALT1		0.92 **	0.88 **	0.84 **	0.32 **	0.38 **	0.35 **	0.35 **	0.33 **	0.32 **
ALT3	1.00 (0.00)		0.96 **	0.93 **	0.30 **	0.40 **	0.36 **	0.39 **	0.38 **	0.36 **
ALT5	1.00 -(0.01)	1.00 (0.00)		0.97 **	0.33 **	0.44 **	0.41 **	0.44 **	0.43 **	0.40 **
ALT7	1.00 -(0.03)	1.00 -(0.01)	1.00 (0.00)		0.34 **	0.46 **	0.44 **	0.47 **	0.46 **	0.44 **
DIAM1	0.05 (0.17)	-0.09 (0.15)	-0.07 (0.16)	-0.11 (0.17)		0.71 **	0.61 **	0.57 **	0.50 **	0.47 **
DIAM3	-0.08 (0.16)	-0.14 (0.15)	-0.01 (0.16)	-0.10 (0.17)	0.98 (0.01)		0.84 **	0.73 **	0.66 **	0.61 **
DIAM5	-0.11 (0.17)	-0.14 (0.16)	0.02 (0.17)	-0.01 (0.18)	0.92 (0.03)	1.00 (0.00)		0.84 **	0.72 **	0.67 **
DIAM7	-0.13 (0.17)	-0.20 (0.16)	-0.06 (0.17)	-0.09 (0.18)	0.80 (0.06)	1.00 -(0.02)	1.00 -(0.03)		0.81 **	0.74 **
DIAM9	-0.48 (0.15)	-0.50 (0.14)	-0.37 (0.17)	-0.45 (0.16)	0.79 (0.07)	1.00 (0.00)	1.00 -(0.03)	1.00 (0.00)		0.89 **
DIAM11	-0.49 (0.15)	-0.52 (0.13)	-0.36 (0.16)	-0.44 (0.16)	0.51 (0.13)	0.78 (0.07)	0.86 (0.05)	0.86 (0.05)	1.00 (0.00)	

^{ns} No significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, * Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad, ** Altamente significativo al nivel de 0.01 de probabilidad.

III.2.6. CONCLUSIONES.

El análisis descriptivo de las variables evaluadas, muestra un coeficiente de variación relativamente alto indicando que hay variación en la muestra, lo cual favorece la selección de individuos para continuar los trabajos de mejoramiento genético.

Las heredabilidades fueron diferentes de cero con una tendencia a disminuir con la edad en altura y diámetro.

Las correlaciones genéticas aditivas fueron altas y positivas al correlacionar la altura a diferentes edades los primeros 7 meses y diámetro a diferentes edades los primeros 11 meses.

Al correlacionar los dos caracteres de crecimiento, el valor máximo negativo se obtuvo al correlacionar la altura a las edades de 1 a 7 meses con el diámetro a las edades 9 y 11 meses.

Con las correlaciones encontradas es posible hacer una selección para obtener respuestas positivas tomando en cuenta la altura y el diámetro de la planta.

También es posible, pero poco recomendable, hacer una selección de altura tomando en cuenta inversamente el diámetro o una selección de diámetro tomando en cuenta inversamente la altura, por los valores relativamente altos y negativos, pero solo a partir de los meses 1 a 7 de edad en altura con la edad 9 y 11 meses de diámetro.

AGRADECIMIENTOS.

Al financiamiento otorgado por CONACYT

Al financiamiento de PROMEP de la SES para el desarrollo del proyecto. Proyecto PROMEP/103.5/08/1538.

III.2.7. LITERATURA CITADA.

ÁLVAREZ, A. 1999. Forest genetics in Cuba. Progress in the 20th Century and challenges in the 21st Century. FAO-Roma. Forest Genetic Resources . 27: 16-25.

ÁLVAREZ, A. 2001. Comunicación personal. Cuba. En: García-Quintana, Y.; Álvarez-Brito, A. y Guízar-Nolazco, E. 2007. Ensayo de procedencias de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en alturas de pizarras, Viñales, Pinar Del Río, Cuba. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13(2): 125-129.

AZAMAR, O. M.; LÓPEZ-UPTON, J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J. y PLANCARTE, A. 2000. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. En Memorias del Primer Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAP- Colegio de Postgraduados Montecillo, Edo. de México. 9 p.

BUITRAGO-ESQUINAS, M.; ABELLANAS-OAR, B. y MARTÍN-MARTÍN, L. M. 2001. Caracterización de la variabilidad genética, para caracteres métricos en *Pinus pinea* L. 5 p. <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE02-098.pdf>. Fecha de consulta: 09-11-10 a 28-12-2010.

BURDON, R.D.; BANNISTER, M.H. y LOW, C.B. 1992. Variance structures and narrow-sense heritabilities for growth variables and morphological traits in seedlings. New Zealand Journal of forestry Science. 22: 160-181.

CARLES, S.; LAMHAMEDI, M. S.; BEAULIEU, J.; STOWE, D. C.; COLAS F. y MARGOLIS H. A. 2009. Genetic Variation in Seed Size and Germination Patterns and their effect on White Spruce Seedling Characteristics. *Silvae Genética*. 58(4):152-161.

CLIMENT, J.; GARCÍA J. y PARDOS, J.A. 1997. Evaluación de un ensayo de progenies de *Pinus sylvestris*, procedencia Sierra de Guadarrama.
http://www.secforestales.org/buscador/index.php?busc=Climent&busc_tipo=&Submit=Buscar. Fecha de consulta: 20-12-2010.

DOEDE, D.L. y ADAMS, W.T. 1998. The genetic of stem volumen, stem form, and brach characteristics in sapling Noble Fir. *Silvae Genética*. 47(4): 177-183.

FALCONER, D.S y MACKAY, T.F.C. 2001. Introducción a la genética cuantitativa. Acribia, S.A. Zaragoza, España. 469 p.

FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales del 2010. 11 p.
<http://foris.fao.org/static/data/fra2010/KeyFindings-es.pdf>. Fecha de consulta 04-11-10

FARFÁN, V. E. G.; JASSO, M. J.; LÓPEZ, U. J.; VARGAS, H. J. y RAMÍREZ, H. C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Erhen var. *ayacahuite*. *Fitotecnia Mexicana*. 25(3):239-246.

FRANKLIN, E.C. 1979. Model relating levels of genetic variance to stand development of North American Conifers. *Silvae Genética*. 28(5/6): 207-12.

GARCÍA, A. A. y GONZÁLEZ, M. S. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. México. 187 p.

GAUCHATE M. E., y HERNÁN RODRÍGUEZ G. 2004. *Pinus taeda* y *P. elliotii*. Producción de Semillas de Alta Calidad . INTA Montecarlo, Misiones. 9 p.
<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/forest/genetica04.pdf>. Fecha de consulta: 15-12-2010

GRANHOF, J. 1991. Mass production of improved material. Seed orchards. Lecture note N° D-8. Danida Forest Seed Centre. Denmark. 26 p.

GUTIÉRREZ, C. B. 2007. Supervivencia, crecimiento inicial e interacción con el sitio de progenies de árboles plus de pino Oregón *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Ciencia e investigación Forestal. Instituto forestal de Chile. 13(2):273-285

IGLESIAS, A. L. G. y TIVO, F. Y. 2006. Caracterización morfométrica de la población de *Pinus hartwegii* Lindl. del cofre de Perote, Veracruz, México. Ra Ximhai, Universidad Autónoma Indígena de México Mochichahui, El Fuerte, Sinaloa. 2(2): 449-468.

KAGEYAMA, P.Y. 1983. Seleção precoce a diferentes idades em progenies de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. Piracicaba. 147 p.

LEE, S. J.; WOOLLIAMS, J.; SAMUEL, C. J. A. y MALCOM, D. C. 2002. A study of population variation and inheritance in sitka spruce. II. Age trends in genetic parameters for vigour traits and optimum selection ages. *Silvae Genetica*. 51(2/3):55-65.

LI, L. y WU, H. X. 2005. Efficiency of early selection for rotation-aged growth and wood density traits in *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research*. 35(8): 2019–2029

LÓPEZ, J. A. 2006. Control genético del Volumen y eficiencia de la selección temprana en *Pinus elliottii* engelm var *elliotti*. 13 p. http://www.inta.gov.ar/bellavista/info/documentos/forestales/pinus_elliottii.pdf. Fecha de consulta: 02-11-10.

NIENSTAEDT, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria del mejoramiento genético y plantaciones forestales. Centro de San Juan Chapingo. México. 16-18 pp.

ORDOÑEZ, J.A.; DE JONG, B.H.J. y MASERA, O. 2001. Almacenamiento de Carbono en un bosque de *Pinus Pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y Bosques*. 7(002): 27-47

RAMÍREZ-HERRERA, C.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J. y LÓPEZ-UPTON, J. 2005 Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72:1-16.

REYES-REYES, J.; ALDRETE, A.; CETINA-ALCALÁ, V.M. y LÓPEZ-UPTON, J. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. 11(002):105-110.

RICE, J. A. 1988. Mathematical Statistics and Data Analysis. Wadsworth and Brooks/Cole Statistics/Probability Series. Pennsylvania, U. S.A. 595 p.

RODRÍGUEZ, G. H. y LÓPEZ, C. R. 2006. Variación genética en altura y diámetro juveniles de familias de polinización abierta de *Pinus taeda* L. http://www.inta.gov.ar/montecarlo/INFO/indices/tematica/dir_recursosgeneticos.htm. fecha de consulta: enero 2010.

SÁNCHEZ-GÓNZALEZ, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques. 14(1): 107-120.

SAS, Institute 2004. SAS/STATS. Users Guide; <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugwhatsnew/63792/PDF>. Fecha de consulta: mayo 2009-enero 2011

SATO, T. 1994. Stand structure and dynamics of wave-type *Abies sachalinensis* coastal forests. Ecology. Research 9. 77-84.

VALENCIA-MANZO, S. y J.J. VARGAS-HERNÁNDEZ. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y densidad de la madera en *Pinus patula*. Agrociencia 35 (1): 109-120.

VENCOVSKY, R. 1978. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (coord.). Melhoramento de milho no Brasil. Piracicaba, Fundação Cargil. 122-99.

VENCOVSKY, R. y BARRIGA, P. 1992. Genética Biométrica no fitomelhoramento, Ribeirao Preto, Revista Brasileira de Genética. 496 p.

XIE, Y. y YING, C. C. 1995. Heritabilities, Age-Age Correlations, and Early Selection in Lodgepole Pine (*Pinus contorta* ssp. Latifolia). Silvae genética. 45:2-3.

YOUNG, A. G.; BOYLE, T. y BROWN, A. H. D. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. Trends in ecology and evolution. 11:413-418.

ZOBEL, B. J. y J. T. TALBERT. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles Forestales. Limusa. México. 545 p.

ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1992: Técnicas de Mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa.545 p.

IV. DISCUSIÓN GENERAL.

Al realizar el análisis descriptivo de las variables evaluadas tanto en vivero y campo se muestra que el Coeficiente de Variación genética tienen una tendencia a disminuir, esto puede deberse a que la familia va dejando de tener un efecto significativo sobre el ensayo, y se pierde este efecto a partir del mes 11 en la fase de campo. Estos resultados son más altos que los estimados en otras coníferas como *Pinus elliottii* a los 3 años de edad (CVGA = 17.79%) (López, 2006), y para *Pinus pinea* L. donde los coeficientes de variación genética aditiva para los caracteres de crecimiento primario varían de 14.5% a 24.5% (Buitrago *et al*, 2001) y que el obtenido en otras especies forestales como *Populus deltoides* a un año de edad (CVGA = 2.87% –valor estimado por los autores-) (Farmer, 1969).

La desviación estándar incrementa en las dos fases en la fase de vivero y campo donde la fase de campo se comporta como la continuación de la fase vivero en la fase de campo, el comportamiento de ambas fases puede deberse al incremento de la dispersión de los datos.

En el análisis de varianza el efecto familia fue altamente significativo en la fase de vivero y en la fase de campo hasta la edad de 9 meses en campo en altura y hasta la edad 11 meses en campo de diámetro, lo cual nos puede dar la pauta a poder seleccionar las familias más adaptadas al tipo de terreno que se está estudiando para una futura reforestación a estas edades. El efecto bloque en la fase de vivero sólo tuvo efecto significativo a partir de que la familia dejó de ser significativa probablemente porque tuvieron una influencia de tipo ambiental que llevó a la pérdida de varios individuos. El efecto de bloque en la fase de campo tuvo una influencia significativa partir del décimo primer mes después del trasplante, este efecto refleja la variación existente en cuanto a fertilidad de la parcela.

Las heredabilidades fueron significativamente diferentes de cero. Tanto la heredabilidad individual en la fase de vivero como la heredabilidad de la fase de campo presentan una tendencia a disminuir con la edad.

La disminución mostrada en la fase de vivero se puede explicar porque según algunos autores; éste es un fenómeno que ocurre en otras especies, tanto coníferas como latifoliadas y está asociado, principalmente, a características y propiedades de las semillas (Carles *et al.*, 2009) que conforme pasa el tiempo se van perdiendo, enfrentándose a una competencia entre las plantas que provoca que el coeficiente de heredabilidad disminuya; aunque ese valor puede crecer nuevamente cuando los individuos logran superar la fase de adaptación, es decir se espera que a medida que llegan a la madurez la heredabilidad individual empezará a aumentar (Climent, 1997).

Las heredabilidades de medias de familia presentó valores altos en altura y moderadamente altos en diámetro en la fase de vivero, y en la fase de campo, sólo son moderadamente altos en ambas variables, aun así los valores son mayores a los encontrados en la heredabilidad individual. Esto concuerda con lo obtenido por Farfán *et al.*, (2002) que estimaron una heredabilidad media de familias de entre un 60 y 120% mayor que el de la heredabilidad individual estimada para un ensayo de selección temprana de *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*.

En la fase de vivero las correlaciones fenotípicas (r_f) de la variable altura (ALT) fueron altas cuando se correlacionan edades cercanas, y conforme se hacía la correlación a edades más lejanas, la correlación iba disminuyendo.

En general, las correlaciones genéticas aditivas entre las variables evaluadas mostraron sus valores máximos positivos entre los 1 a 5 meses y los 6 a 9 meses de edad en la fase de vivero. Las correlaciones genéticas aditivas edad-edad de diámetro fueron de altas a relativamente altas en la fase de vivero.

Las correlaciones genéticas en la fase de vivero fueron bajas entre las variables evaluadas y mostraron sus valores máximos entre las edades de 4, 5 y 6 meses del diámetro con los 4 y 5 meses de edad de altura, y tendieron a disminuir conforme se alejaron de esas edades, e incluso se hicieron negativas. En los diámetros de 7, 8 y 9 meses de edad, los valores máximos se encontraron en la edad 6 de altura. Los valores de correlación estimados para diámetro a la edad cinco con la altura a las edades 1 a la 6 fueron mayores que los reportados para *Pinus oocarpa* a las mismas edades en vivero ($r_{G(DIAM5, ALT2)} = -0.222$; $r_{G(DIAM5, ALT6)} = 0.264$) (Viveros-Viveros *et al.*, 2005).

En la fase de campo las correlaciones fenotípicas (r_f) de la variable altura (ALT) fueron altas y muy cercanas a uno cuando se correlacionaron edades cercanas, conforme se fueron alejando las edades, la correlación fue disminuyendo.

En general, las correlaciones genéticas aditivas de la fase de campo edad-edad de altura fueron altas a las edades de 1 a 7 meses en campo, mientras que las correlaciones genéticas aditivas de diámetro fueron de altas a relativamente altas al correlacionarlas de 1 a 11 meses de edad.

En la fase de campo, al correlacionar la altura a las edades de 1 al 7 meses con el diámetro a la edad de 9 y 11 meses, se obtuvieron los valores máximos de correlación genética negativa que tendieron a disminuir conforme se alejaron de esa edad. Vencovsky (1978) señala que el grado de correlación, tanto genotípica como fenotípica, es de gran importancia en la selección de un carácter, ya que puede causar un cambio simultáneo en otro carácter, La correlación genética aditiva entre altura y diámetro puede permitir seleccionar planta de calidad a edades tempranas de desarrollo, a través de una selección indirecta, ahorrando tiempo, espacio y recursos.

V. LITERATURA COMPLEMENTARIA.

ALBA-LANDA, J.; MENDIZÁBAL-HERNÁNDEZ, L.C.; y MÁRQUEZ, J. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana*. 10(1): 25-29.

AZAMAR, O. M.; LÓPEZ-UPTON, J.; VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J. y PLANCARTE, A. 2000. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. *In* Memorias del Primer Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAP- Colegio de Postgraduados Montecillo, Edo. de México. 9 p.

BARNES, R.D. 1988. Tropical forest genetics at the Oxford Forestry Institute. *Common wealth Forestry Review*. 67(3):231-341.

BUITRAGO-ESQUINAS, M.; ABELLANAS-OAR, B. y MARTÍN-MARTÍN, L. M. 2001. Caracterización de la variabilidad genética, para caracteres métricos en *Pinus pinea* L. 5 p. <http://www.secforestales.org/buscador/pdf/3CFE02-098.pdf>. Fecha de consulta 09-11-10 a 28-12-2010.

CABALLERO, D. M. y BERMEJO, V.B. 1994. An overview of the diversity and richness of México's pine species. *Ecodecision: Montreal, Canadá*. 82-23.

CABI 2002. Pines of Silvicultural Importance. *The Forestry Compendium*. CABI. 608 p.

CAMCORE. 2008. El futuro del *Pinus leiophylla* como una especie para plantación. *Boletín de Noticias Camcore para México y Centroamérica* 2(1): 5.

CARLES, S.; LAMHAMEDI, M. S.; BEAULIEU, J.; STOWE, D. C.; COLAS F. y MARGOLIS H. A. 2009. Genetic Variation in Seed Size and Germination Patterns and their effect on White Spruce Seedling Characteristics. *Silvae Genética*. 58(4):152-161.

CLIMENT, J.; **GARCÍA**, J. y **PARDOS**, J.A. 1997. Evaluación de un ensayo de progenies de *Pinus sylvestris*, procedencia Sierra de Guadarrama. http://www.secforestales.org/buscador/index.php?busc=Climent&busc_tipo=&Submit=Buscar. Fecha de consulta 20-12-10.

DVORAK, W.S. 1987. The genus *Pinus* in México and Central America: Distribution and gene conservation. Journal series of the North Carolina Agricultural Research Service, Raleigh, North Carolina. 13 p.

EGUILUZ, P. T., 1988. *Distribución natural de los pinos en México*, Nota Tec. No. 1, Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México, 6 p.

EGUILUZ, T. 1978. Ensayo de Integración de Conocimientos sobre el Género *Pinus* en México. Tesis Profesional. Departamento de enseñanza Investigación y Servicios en bosques. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 155-157 p.

ESPINOZA-HERNÁNDEZ, M.; **MÁRQUEZ-RAMÍREZ**, J.; **ALEJANDRE-ROSAS**, J. y **CRUZ-JIMÉNEZ**, H. 2009. Estudio de conos de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en un relicto de la Localidad el paso, Municipio de la Perla, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 11(1) 33-38.

FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales del 2010. 11 p. <http://foris.fao.org/static/data/fra2010/KeyFindings-es.pdf>. Fecha de consulta 04-11-10.

FARFÁN, V. E. G.; **JASSO**, M. J.; **LÓPEZ**, U. J.; **VARGAS**, H. J. y **RAMÍREZ**, H. C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Erhen var. *ayacahuite*. *Fitotecnia Mexicana*. 25(3):239-246.

FARMER , R. E. 1969. Genetic variation among open –pollinated progeny of Eastern cottonwood. *Silvae Genética*. 19(5/6):149-151.

GARCÍA, A. A. y **GONZÁLEZ**, M. S. 2003 *Pináceas de Durango*. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. México. 187 p.

GIBSON. G.I. 1987. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. En: Proc. Simp. Sobre Silv y Mejoramiento Genético de especies forestales. Buenos Aires, Argentina. 1:29-66.

GUTIÉRREZ, C. B. 2007. Supervivencia, crecimiento inicial e interacción con el sitio de progenies de árboles plus de pino Oregón *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Ciencia e Investigación Forestal 13(2):273-285.

LÓPEZ-UPTON, J. 2003. *Pinus pseudostrobus*. Species description in the Tropical Tree Seed Manual. <http://www.rngr.net/authors/javier-lopez-upton/?searchterm=lopez%20upton>. Fecha de consulta: 13 -02- 10.

LÓPEZ, J.A. y STAFFIERI, G.M. 2003. Interacción genotipo-ambiente y heredabilidad de la densidad de la madera de *Pinus elliotii* var. *Elliottii* en el noreste de Argentina. <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/Forestales/contenido/pdf/2003/posters03/211%20Lopez%20interacci%C3%B3n%20pinos.pdf>. Fecha de consulta: 03-12-10.

MARTÍNEZ, M. 1948. Los pinos de México. Ed. Botas. México D.F. 361 p.

ORDOÑEZ J.A., DE JONG, B.H.J. y MASERA, O. 2001. Almacenamiento de Carbono en un bosque de *Pinus Pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. Madera y Bosques. 7(002): 27-47

PATIÑO-VALERA, F. 1973. Floración, fructificación y recolección de conos y aspectos sobre semillas de pinos mexicanos. Bosques y Fauna (Méx.). SAG-INIF. Julio-Agosto. 10 (4):20-30.

PERRY, J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregón, E.U.A. 137-140 p.

PRONARE. 2000. Evaluación de la reforestación 1999 del programa nacional de reforestación. SEMARNAP. México, D.F. s/p,

RAMÍREZ-HERRERA, C., VARGAS-HERNÁNDEZ, J. J. y LÓPEZ-UPTON J. 2005 Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72:1-16.

RODRÍGUEZ, G. H. y LÓPEZ, C. R. 2006. Variación genética en altura y diámetro juveniles de familias de polinización abierta de *Pinus taeda* L. http://www.inta.gov.ar/montecarlo/INFO/indices/tematica/dir_recursosgeneticos.htm. fecha de consulta: enero 2010.

SÁNCHEZ-GÓNZALEZ, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques. 14(1): 107-120.

SERRANO, G. E. 2002. Contribución al conocimiento del México forestal. Revista de Información y análisis de INEGI. 22 <http://www.inegi.gob.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/Articulos/ambientales/forestal.pdf>

STEAD, J. W. y STYLES, B. T. 1984. Studies of Central American pines: a revision of the "*Pseudostrobus*" group. Botanical Journal Linnean Soc. 89:249-275.

TORRES, J. 2000. Evaluación genética y económica de dos ensayos de progenie de *Pinus radiata* D. Don a base de un índice de selección multicriterio. Ciencias Forestales 14(1-2): 1-7.

VIVEROS-VIVEROS, H., SAENZ-ROMERO, C., VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J., LÓPEZ-UPTON, J. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. Fitotecnia Mexicana. Sociedad Mexicana de Fitogenética. 29(002):121-126

VENCOVSKY, R. 1978. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E. (coord.). Melhoramento de milho no Brasil. Piracicaba, Fundação Cargil. 122-99.

WRIGHT, J. A. y WESSELS, A. 1992. Laboratory scale pulping of *Pinus pseudostrobus*, *P. maximinoi* and *P. patula*.. IPEF Internacional (2):39-44.

WRIGHT, J. A. y **MALAN**, F. S. 1991. Variation in wood and tracheid properties of *Pinus maximinoi*, *Pinus pseudostrobus* and *Pinus patula* .~En: *JAWA Bulletin n.s.* V. 12, N° 4. 467-475.

XIE, Y. y **YING**, C. C. 1995. Heritabilities, Age-Age Correlations, and Early Selection in Lodgepole Pine (*Pinus contorta* ssp. *Latifolia*). *Silvae genética*. 45:2-3.

YOUNG, A. G.; **BOYLE**, T. y **BROWN**, A. H. D. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in ecology and evolution*. 11:413-418.

ZOBEL, B. J. 1965. Variation in specific gravity and tracheid length for several species of mexicans-pine. *Silvae genetica*. 14 (1): 1-12.