



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERIA
EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA**

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS RETROSPECTIVO DE DOS ENSAYOS DE
PROGENIES DE *Pinus greggii* ENGELM. DE PRIMERA Y SEGUNDA
GENERACIÓN EN MORELIA, MICHOACÁN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

PRESENTA

JULIO LÓPEZ NAVA

DIRECTOR: DR. NAHUM M. SÁNCHEZ VARGAS

Morelia, Mich. Diciembre de 2010

DEDICATORIAS

Con amor y respeto a mi esposa **Rosita**:

Por tu comprensión, tu paciencia, tu apoyo y todo tu amor. Muchas gracias por darme lo más hermoso de la vida tu amor y mi hija, las amo y vivo feliz de tenerlas a mi lado. Gracias

Con respeto, admiración y cariño a mis padres:

Imelda Nava Téllez y Fidelmar López Arteaga

Por todo su apoyo, sus consejos, su esfuerzo, su sacrificio y todo su amor incondicional para sacarme adelante y darme estudio. No existen palabras para expresarles todo mi cariño y agradecimiento, Muchas gracias por darme la vida y los hermanos que tengo, los amo y me siento orgulloso de tenerlos como padres. Gracias

Con cariño a mis hermanos:

Roció, Celerino, Silvia, Pedro, Angelita, Gabriel y Raúl

Por su compañía, sus enseñanzas y todo su cariño. Gracias por ser ángeles de la guarda para mí en este mundo y por todos los momentos felices que he vivido con todos y cada uno de ustedes, los amo más de lo que soy capaz de decir. Muchas gracias.

Gracias por todo

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por darme vida para concluir mis estudios, por darme la familia que tengo y por enseñarme a vivir la vida con alegría y humildad.

Gracias

A la Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo y a la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Al Dr. Nahum Modesto Sánchez Vargas por su apoyo, paciencia y dirección para la realización de este proyecto. Muchas gracias

Al Dr. Cuahutemoc Sáenz Romero y Dr. José Cruz de León por sus observaciones y correcciones

Al MC. Marco Antonio Herrera Ferreira por su apreciable amistad y apoyo. Gracias.

A todos y cada uno de los profesores que de alguna manera participaron en mi formación durante la maestría.

Al personal administrativo del posgrado y de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera por el apoyo otorgado

Al Ing. José Alonso Ramos Novelo, así como al Ing. Carlos Torres Barrera y al Lic. David Bautista Gutiérrez, director, coordinador y encargado del área forestal del Centro de Desarrollo Tecnológico de FIRA Morelia.

Al CONACYT por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

A todas las personas que directa o indirectamente participaron para llevar a cabo este trabajo.

Muchas Gracias a todos.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
I.1. Hipótesis.....	4
II. Evaluación y análisis retrospectivo de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm. en Morelia, Michoacán.....	5
Resumen.....	5
Abstract.....	6
II.1. Introducción.....	7
II.2. Materiales y métodos.....	8
II.2.1. Establecimiento del ensayo.....	8
II.2.2. Variables evaluadas y análisis de datos.....	9
II.3. Resultados y discusión.....	12
II.3.1. Variación fenotípica y genética.....	12
II.3.2. Heredabilidad y ganancia genética.....	15
II.4. Conclusiones y recomendaciones.....	21
III. Evaluación de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm de segunda generación en Morelia, Michoacán.....	23
Resumen.....	23
Abstract.....	24
III.1. Introducción.....	25
III.2. Materiales y métodos.....	26
III.2.1. Variables evaluadas y análisis estadístico.....	28
III.2.2. Análisis de datos.....	29
III.2.3. Parámetros genéticos.....	29
III.3. Resultados y discusión.....	31

III.3.1. Estadísticas descriptivas y análisis de varianza.....	31
III.3.2. Parámetros genéticos y desempeño de los genotipos...	32
III.3.3. Propuesta de manejo del ensayo.....	38
III.4. Conclusiones y recomendaciones.....	39
IV. DISCUSIÓN GENERAL.....	40
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	43
VI. LITERATURA CITADA.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
II.3.1 Estadísticas descriptivas de las variables de crecimiento para los años de 1994, 1996, 1997, 1998 y 2009 de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.....	12
II.3.2 Cuadrados medios (CM) y significancia (P) de bloques, familias y la interacción bloque×familia (BF) en altura, diámetro y volumen de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> , a los 2, 4, 5, 6 y 17 años de edad.....	13
II.3.3 Heredabilidades estimadas a nivel individual y de medias de familias para las variables altura, diámetro y volumen a las edades de 2, 4, 5, 6 y 17 años en un ensayo de progenies <i>Pinus greggii</i>	16
II.3.4 Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en altura de ensayos reportados en la literatura.....	16
II.3.5 Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en diámetro de ensayos reportados en la literatura.....	17
II.3.6 Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en volumen de ensayos reportados en la literatura.....	18
II.3.7 Ganancia genéticas esperadas (ΔG), reales y porcentuales, establecidas en un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> para las variables altura, diámetro y volumen a intensidades de selección de 20, 40, 60 y 80%, a los 2, 4, 5, 6 y 17 años de edad.....	19

III.2.1	Número de individuos (Ind) por familia (Fam) plantados en un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> de segunda generación, establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.....	28
III.3.2	Estadísticas descriptivas de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> de segunda generación establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.....	31
III.3.3	Análisis de varianza de altura, diámetro y volumen de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> de segunda generación establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.....	31
III.3.4.	Heredabilidad a nivel individual, de medias de familias y de individuos dentro de familia en un ensayo de progenies de segunda generación de <i>Pinus greggii</i> , establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.....	33
III.3.5.	Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en la altura total de diferentes especies de pino.....	34
III.3.6.	Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en el diámetro a la altura del pecho de diferentes especies de pino.....	34
III.3.7.	Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en el volumen del tronco de diferentes especies de pino..	35
III.3.8.	Ganancia genéticas esperadas netas (ΔG) y porcentuales ($\Delta G\%$), a intensidades de selección de 20, 35, 40, 60, 80, y	

	87% de los mejores individuos, en altura, diámetro y volumen de <i>Pinus greggii</i> establecido en un ensayo de progenies de segunda generación.....	35
III.3.9.	Arreglo jerárquico de las familias que conformaron el ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> de segunda generación con base en altura, diámetro y volumen.....	37
III.3.10.	Prueba de medias de Tukey para las familias que integran el ensayo de segunda generación de <i>Pinus greggii</i> Engelm en el CDT de FIRA.....	38

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
II.2.1.	Representación del diseño del ensayo de primera generación de <i>Pinus greggii</i> Engelm establecido en el CDT de FIRA en Morelia.....	9
III.2.2.	Fracción del Diseño utilizado para establecimiento del ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm de Segunda generación establecido en CDT de FIRA.....	27
IV.1.3.	Heredabilidad en altura de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de dos, cuatro, cinco, seis y diecisiete años.....	40
IV. 1.4.	Heredabilidad en diámetro de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de, cuatro, cinco, seis y diecisiete años.....	41
IV. 1.5.	Heredabilidad en diámetro de un ensayo de progenies de <i>Pinus greggii</i> Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de, cuatro, cinco, seis y diecisiete años.....	41

RESUMEN

En el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) “Salvador Lira López” de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA), de Morelia Michoacán, fue establecido un ensayo de progenies de medios hermanos de *Pinus greggii* Engelm de primera generación en septiembre de 1992, con semilla procedente de rodales naturales de la localidad de El Madroño, Querétaro. Posteriormente, en 2005, se estableció un segundo ensayo en el mismo CDT-FIRA, con semilla procedente de 17 árboles seleccionados del ensayo establecido en 1992, por lo que este ensayo se consideró de segunda generación. El personal de FIRA midió los árboles del primer ensayo los años 1994, 1996, 1997 y 1998 a los 2, 4, 5 y 6 años de establecido el ensayo, respectivamente.

Con el objetivo de hacer una evaluación genética de los dos ensayos y proponer una estrategia de manejo, se realizó una primera medición del segundo ensayo en julio y una quinta medición del primer ensayo en septiembre de 2009. Las variables evaluadas fueron altura total (ALT), diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen del tronco (VOL).

El análisis del ensayo de primera generación mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre familias para todas las variables y años, excepto en la edad de 17 años (2009) en donde no hubo diferencias para ninguna de las variables ($P \geq 0.807$). Las heredabilidades a nivel individual fueron bajas ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.18$), y a nivel de medias de familias fueron de bajas a relativamente altas ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.43$). Las ganancias genéticas esperadas usando una intensidad de selección de 20% fueron de bajas ($\Delta G = 0.00\%$) a moderadamente bajas ($\Delta G = 13.02\%$), presentándose los mayores valores a la edad de 4 años.

Se propone hacer una selección retrospectiva del arbolado tomando la evaluación a los 6 años de edad como referencia para la selección, dado que a esa edad se obtuvo la mayor variación genética en el ensayo, y hacer un aclareo genético con base en esa selección, independientemente del fenotipo actual del arbolado.

En el ensayo de segunda generación; las variables evaluadas presentaron diferencias significativas entre progenies ($P < 0.001$) en el análisis de varianza. La heredabilidad a nivel individual fue baja para las tres variables ($h^2_i \leq 0.17$) y relativamente baja a nivel de medias de familias ($h^2_f \leq 0.31$). Las mayores ganancias genéticas se obtuvieron con una intensidad de selección del 20% (ALT = 0.21 m <3.33%>, DAP = 0.34 cm <4.02%>, VOL = 0.30 cm³ <11.3%>).

Se hizo una propuesta de aclareo para el ensayo de segunda generación en dos etapas, la primera con una intensidad de selección de 87% de los mejores individuos dentro de cada familia con ganancias genéticas relativamente bajas (ALT = 0.04 m <0.64%>, DAP = 0.06 cm <0.71%>, VOL = 0.05 cm³ <1.88%>), la segunda con una intensidad de selección de 35% de esta manera se esperará mantener la diversidad genética y obtener una mayor ganancia genética (ALT = 0.16 m <2.56%>, DAP = 0.27 cm <3.19%>, VOL = 0.21 cm³ <7.92%>).

SUMMARY

In center of Desarrollo Tecnológico (CDT) “Rescuing Lira Lopez” of Trusts Instituted in relation to Agricultura (CDT-FIRA), of Morelia Michoacán, was established a test of lineages of average brothers of *Pinus greggii* Engelm of first generation in September of 1992, with seed coming from rodales natural of the locality of the Madroño, Querétaro. Later, in 2005, test in the same CDT-FIRA settled down a second, with seed coming from 17 selected trees of the test established in 1992, reason why this test was considered of second generation. The FIRA personnel measured the trees of the first test years 1994, 1996, 1997 and 1998 (to 2, 4, 5 and 6 years of established the test, respectively).

With the aim of making an evaluation genetic of both tests and proposing a handling strategy, one first measurement of the second was realised test in July and a fifth measurement of the first test in September of 2009. The evaluated variables were overall height (ALT), diameter around the chest (DAP) and volume of the trunk (BOWL).

The evaluated variables presented/displayed the majors coefficient of variation to the 4 (1996) and 5 (1997) years of age ($20.60 \leq CB \leq 62.94$). The analysis of the test of first generation showed to significant differences ($P \leq 0.05$) between families for all the variables and years, except in the age of 17 years (2009) where were no differences for no of the variables ($P \geq 0,807$). The heredabilidades at individual level were low ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.18$), and concerning averages of families they went of losses to relatively high ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.43$). The genetic gain was of losses ($\Delta G = 0.00\%$) to moderately low ($\Delta G = 13.02\%$), appearing the majors values at the age of 4 years.

One sets out to do a retrospective selection of the hoisted one taking the 1996 like year from reference for the selection, since in that year the greater genetic variation in the test were obtained, and to make a genetic aclareo with base in that selection, independent of the present phenotype of the hoisted one.

The test of second generation showed relatively low coefficient of variation in ALT (CB = 13.65) and DAP (CB = 18.58), and stop in BOWL (CB = 42.55). The

evaluated variables presented/displayed significant differences ($P < 0.001$) in the variance analysis. The heredabilidad at individual level was low for the three variables ($h^2_i \leq 0.17$) and relatively low concerning averages of families ($h^2_f \leq 0.31$). The majors genetic gains were obtained with an intensity of selection of 20% (ALT = 0.21 m, DAP = 0.34 cm, BOWL = 0.30 cm³).

A proposal became of aclareo for the test of second generation in two stages, first with an intensity of selection of 87% with relatively low genetic gains (ALT = 0.04 m, DAP = 0.06 cm, BOWL = 0.05 cm³), second with an intensity of selection of 35%; this way it will be hoped to maintain the diversity genetic and to obtain a greater genetic gain (ALT = 0.16 m, DAP = 0.27 cm, BOWL = 0.21 cm³).

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Históricamente en muchas partes del mundo, el germoplasma empleado para el establecimiento de plantaciones forestales se recolectó en rodales naturales; en muchos casos con poca o ninguna integridad en términos de procedencia o nivel de mejoramiento genético. Razón por la cual, en la mayoría de los países tropicales como en el caso específico de México existe la necesidad de contar con el desarrollo y establecimiento de fuentes propias de abastecimiento de germoplasma de especies y procedencias (Alba-Landa *et al.*, 2005).

En México, el establecimiento de plantaciones se ha basado en la homologación de características físicas y ambientales idóneas para las diferentes especies forestales, pero esto a sido difícil de adecuar por la gran diversidad de ambientes propiciados por las diferentes condiciones físicas, topográficas y climáticas que prevalecen en nuestro país. Una forma de poder conocer y determinar los mejores individuos para cada sitio es a través de la evaluación de la progenie de las mismas familias pero en diferentes ambientes (Rebolledo Camacho *et al.*, 1999).

La información genética es necesaria y estratégica para operar programas de mejoramiento genético forestal. Se requiere una estimación precisa y confiable de los parámetros genéticos de interés, como la partición de la variación fenotípica en sus componentes genético y ambiental, la heredabilidad de las características y su evolución con la edad de los árboles, así como las correlaciones genéticas entre ellas (Jonson *et al.*, 1997). La estimación de parámetros genéticos a diferentes edades permite observar su comportamiento durante las primeras etapas de crecimiento de los árboles; los cambios en la heredabilidad y en las correlaciones genéticas con la edad ayudan a definir la edad óptima de selección para cada especie de interés (Dean *et al.*, 1986).

Actualmente, México esta transitando hacia el establecimiento de plantaciones forestales con objetivos comerciales, donde se intensifica el uso de los suelos forestales optimizando su productividad; para lograrlo, se hace énfasis en la selección de la especie adecuada y en el mejor de los casos de la mejor

procedencia (SEMARNAT, 2001), pero pocas veces se menciona la necesidad de utilizar la mejor progenie e incluso el mejor individuo, como lo están haciendo en los países forestalmente desarrollados (Márquez-Ramírez *et al.*, 2006).

Tomando en cuenta criterios importantes en cuanto a su productividad, que pueden ser no solo en crecimiento rápido si no también en supervivencia mediante la resistencia a factores ambientales desfavorables o plagas, así como también en relación a la calidad de la madera y producción de semilla y así poder establecer rodales o plantaciones locales como fuentes parentales de diferentes especies forestales para el establecimiento de plantaciones a nivel estatal, ya que muchos años de estudios de investigación en ensayos de especies y procedencias han demostrado que la fuente de germoplasma tiene un fuerte efecto en la sobrevivencia y en el subsecuente desarrollo de las especies cuando se basan en la aplicación correcta del mejoramiento genético (Alba-Landa *et al.*, 2005).

En general, las prácticas de mejoramiento forestal en nuestro país se han orientado al cultivo en bosques naturales con arbolado que presenta las mejores características fenotípicas. Se han aplicado diferentes sistemas y tratamientos silvícolas que, en los mejores casos, han asegurado únicamente la regeneración de los bosques, sin la certeza de que el renuevo presente una ganancia genética efectiva (Azamar *et al.*, 2000).

El estado de Michoacán tiene una gran extensión de bosques de clima templado frío y selvas tropicales bajas y medianas, con una superficie arbolada de 2.2 millones de ha, no obstante que en los últimos 20 años se han perdido más de 700 mil ha. (García-Magaña *et al.*, 2006). Una alternativa de reforestación es la implementación de los ensayos de progenie para contar con semilla seleccionada genéticamente y mejorar la supervivencia de las plántulas.

Por lo anterior este trabajo consistió en la evaluación de dos ensayos de progenies de *Pinus greggii* Engelm., uno de primera generación y otro de segunda, ambos ensayos se encuentran ubicados en el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) "Salvador Lira López" en Morelia, Michoacán. La evaluación de los dos ensayos se realizó mediante la medición de variables de crecimiento.

En el Capítulo I se muestran los resultados obtenidos en las evaluaciones del ensayo de primera generación, en el que se realizaron cinco mediciones, que corresponden a las edades de 2 años (1994), 4 años (1996), 5 años (1997), 6 años (1998) y 17 años (2009) de establecido. De los datos obtenidos de cada medición se obtuvieron estadísticas descriptivas como media, coeficiente de variación, valores máximo y mínimo y desviación estándar, para todas las variables; también se obtuvieron la heredabilidad individual y de medias de familias, y la respuesta a la selección a distintas intensidades de selección para observar su comportamiento y tomar la decisión de manejo más conveniente.

Se analizó la relación de los valores obtenidos de todas las variables para identificar a las mejores familias e individuos dentro de familias, en cada fecha de medición; con este análisis se hace una propuesta de aclareo de los mejores individuos y de las mejores familias con base en un año en el pasado en el que la variación genética fue mayor.

En el Capítulo II, se analiza el ensayo de segunda generación, del que se realizó solo una medición a la edad de 4 años (2009), las variables evaluadas fueron las mismas que para el ensayo de primera generación (ALT, DAP y VOL).

El tratamiento de los datos se realizó de la misma manera que para el ensayo de primera generación. La información de los datos se analizó en relación con los valores obtenidos de todas las variables identificando las mejores familias e individuos dentro de familias; con base en esta información y la distribución de los individuos en el ensayo se dio una propuesta de aclareo con fines de mejoramiento genético.

I.1. Hipótesis

1. Existe variación genética en ambos ensayos de progenies, de primera y segunda generación.
2. La variación genética es suficiente para obtener mejoramiento genético a través del método de selección artificial.
3. Es posible una selección para, simultáneamente, maximizar la ganancia genética y mantener la máxima variación genética en los ensayos.

II. Evaluación y análisis retrospectivo de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm de primera generación en Morelia, Michoacán

RESUMEN

En el Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT) “Salvador Lira López” de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA), de Morelia Michoacán, se estableció un ensayo de progenies de medios hermanos de *Pinus greggii* Engelm. en septiembre de 1992, con semilla procedente de rodales naturales de la localidad de El Madroño, Querétaro. Con el objetivo de determinar el estado pasado y actual del ensayo, se hizo un análisis genético retrospectivo con datos tomados por el personal del FIRA y en este estudio. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre familias para todas las variables y años, excepto a la edad de 17 años (2009) ($P \geq 0.807$). Las heredabilidades a nivel individual fueron bajas ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.18$), y a nivel de medias de familias fueron de bajas a relativamente altas ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.43$). Las ganancias genéticas esperadas usando una intensidad de selección de 20% fueron de bajas ($\Delta G = 0.00\%$) a moderadamente bajas ($\Delta G = 13.02\%$), presentándose los mayores valores a la edad de 4 años. Se propone hacer una selección retrospectiva del arbolado tomando la edad de 6 años, en 1996 como año de referencia para la selección, dado que en ese año se obtuvo la mayor variación genética en el ensayo, y hacer el aclareo genético con base en esa selección, independientemente del fenotipo actual del arbolado.

Palabras clave: *Pinus greggii*, ensayo de progenies, heredabilidad, ganancia genética.

ABSTRACT

In center of Desarrollo Tecnológico (CDT) "Rescuing Lira Lopez" of Trusts Instituted in relation to Agricultura (CDT-FIRA), of Morelia Michoacán, settled down a test of lineages of average brothers of *Pinus greggii* Engelm. in September of 1992, with seed coming from rodales natural of the locality of the Madroño, Querétaro. With the aim of determining the past and present state of the test, a retrospective genetic analysis with data taken by the personnel of the FIRA became and in this study. The results showed to the majors coefficient of variation the 4 (1996) and 5 (1997) years of age ($20.60 \leq CB \leq 62.94$). The variance analysis showed to significant differences ($P \leq 0.05$) between families for all the variables and years, except at the age of 17 years (2009) ($P \geq 0.807$). The heredabilidades at individual level were low ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.18$), and concerning averages of families they went of losses to relatively high ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.43$). The genetic gains were of losses ($\Delta G = 0.00\%$) to moderately low ($\Delta G = 13.02\%$), appearing the majors values at the age of 4 years. One sets out to do a retrospective selection of the hoisted one taking the 1996 like year from reference for the selection, since in that year the greater genetic variation in the test were obtained, and to make the genetic aclareo with base in that selection, independent of the present phenotype of the hoisted one.

Key words: *Pinus greggii*, progeny test, heritability, genetic gain

II.1. Introducción

El *Pinus greggii* Engelm es endémico del oriente de México, con destacada importancia ecológica y económica. El área de distribución natural se encuentra entre los 20°13' y 25°29' de latitud N, donde se aprovecha en la obtención de madera para la industria del aserrío y localmente en la obtención de postes para cerca y leña combustible (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

Las altas tasas de crecimiento en altura y diámetro, así como el gran potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad, favorecen el uso de *P. greggii* en programas de reforestación, para la recuperación de suelos degradados en diferentes partes de México y en programas de plantaciones comerciales en sitios marginales, donde no se adaptan otras especies de *Pinus*. En México, es la cuarta especie de pino en términos de importancia en plantaciones del Programa Nacional de Reforestación (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

Con el fin de evitar los resultados negativos de las reforestaciones, es necesario utilizar especies tolerantes a las condiciones edáficas y climáticas regionales. Además, las especies elegidas deberán tener buena producción de residuos vegetales, ser buenas retenedoras de suelo y preferentemente mejoradoras del mismo; estos atributos se han observado en algunas plantaciones de *Pinus greggii* establecidas en la Mixteca alta Oaxaqueña (Valencia-Manzano *et al.*, 2006). *P. greggii* es una especie de conífera de reciente y amplio uso debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a ambientes diferentes. (López-Upton *et al.*, 2000)

Las pruebas de progenies son plantaciones experimentales diseñadas con el objetivo de establecer el valor genotípico de un individuo, a partir del desempeño de su descendencia o progenie (Martínez-Meier *et al.*, 2009). Sin embargo uno de los problemas asociados al mejoramiento genético de los árboles forestales es el tiempo requerido para su evaluación, debido a la longevidad de estas especies. Una alternativa para disminuir o aminorar este aspecto es la selección temprana. La eficiencia de la selección temprana depende de los

parámetros genéticos de las características involucradas (Farfán-Vázquez *et al.*, 2002).

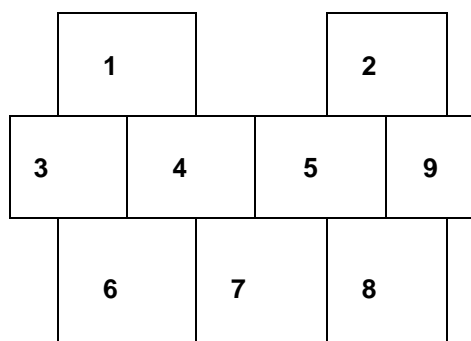
En este trabajo se analizan los datos obtenidos en un ensayo de progenies de *P. greggii* a los 2, 4, 5, 6 y 17 de edad con los objetivos de 1) evaluar la variación genética, 2) estimar el control genético (h^2), 3) determinar cuales son las mejores familias y 4) estimar la ganancia genética.

II.2. Materiales y métodos

II.2.1. Establecimiento del ensayo

En el Centro de Desarrollo Tecnológico “Salvador Lira López” de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA) de Morelia, Michoacán, se estableció un ensayo de progenies por personal de esta dependencia. El ensayo fue establecido con semilla de polinización abierta colectada de 53 árboles de un rodal natural de la localidad de El Madroño, Querétaro, que fue puesta a germinar y se produjo la planta en condiciones de vivero. En dicha colecta no se manejaron intensidades de selección para la elección de los 53 individuos y en septiembre de 1992 se estableció el ensayo en las propias instalaciones.

El ensayo se ubica en los 19°39'00” de latitud norte y 101°14'00” de longitud oeste, presenta una altura media sobre el nivel del mar de 1940 m (FIRA, 1991). El sitio presenta una temperatura media anual de 17.6 °C y una precipitación promedio anual de 697.4 mm; el suelo es el denominado Vertisol pèlico de origen calcáreo, delgado y degradado, con pendiente descendente, ondulada, definida hacia el norte con escasa orientación hacia el este, del orden del 15% (FIRA, 1995). Se estableció bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con 9 bloques (Figura II.2.1), 53 familias y 3 individuos por familia como unidad experimental, plantados a un espaciamiento de 2.5 m x 2.5 m.



Bloque - Familia - Árbol

Figura II.2.1. Representación del diseño del ensayo de primera generación de *Pinus greggii* Engelm establecido en el CDT de FIRA en Morelia

II.2.2. Variables evaluadas y análisis de datos

En 1994, 1996, 1997 y 1998, a los 2, 4, 5 y 6 años, respectivamente, de establecido el ensayo, personal del CDT-FIRA, midió la altura total de los árboles (ALT) con una pértiga graduada en cm, y posteriormente se utilizó una pistola Haga. El diámetro a 1.30 cm sobre el nivel del suelo (DAP) se evaluó también con una cinta diamétrica. En 2009, a los 17 años de edad, se midió la ALT y el DAP, y se estimó el volumen con la siguiente fórmula (Rivas, 2006):

$$V = 0.7854 \cdot d^2 \cdot h \cdot 0.61$$

Donde V es el volumen calculado, d es el diámetro, h es la altura, 0.7854 es una constante y 0.61 es un coeficiente de forma. El coeficiente de forma se obtuvo con la fórmula (Rivas, 2006):

$$C = (dh)^2 / DAP$$

Donde C es el coeficiente de forma, DAP es el diámetro a 1.30 cm sobre el nivel del suelo, $(dh)^2$ es el diámetro a mitad de la altura total del árbol. Para el cálculo del coeficiente de forma se realizó una medición posterior de 10 individuos con los valores promedio de diámetro y altura, con una cinta métrica y una escalera metálica.

Con el procedimiento UNIVARIATE de SAS (2004), se hizo el análisis estadístico de los resultados obtenidos de las mediciones por variable, de cada

variable de crecimiento se obtuvo el valor medio, mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación.

Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS para cada una de las variables analizadas, en cada edad de medición, utilizando el siguiente modelo, en donde los bloques se consideraron con efectos fijos:

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

Donde Y_{ijk} es el k -ésimo valor observado de la j -ésima familia en el i -ésimo bloque, μ es la media general 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 entre el i -ésimo bloque y la j -ésima familia, e_{ijk} es el error experimental.

Con el modelo de arriba, también se obtuvieron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP de SAS (2004), para estimar la heredabilidad en sentido estricto, a nivel individual, de medias de familias y de individuos dentro de familias se utilizaron las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h^2_i = 4\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{bf} + \sigma^2_e)$$

$$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_{bf} / b) + (\sigma^2_e / bn)]$$

$$h^2_{i(f)} = 3(\sigma^2_f) / \sigma^2_e$$

Donde: h^2_i es la heredabilidad a nivel individual, h^2_f es la heredabilidad a nivel de medias de familias, **$h^2_{i(f)}$ es la heredabilidad de individuos dentro de familias** σ^2_f , σ^2_{bf} y σ^2_e son los componentes de la varianza de familia, de la interacción entre bloque y familia y el error, respectivamente, b es el número de bloques y n es la media armónica del número de individuos por familia por bloque.

La respuesta esperada a la selección o ganancia genética (ΔG), se obtuvo con las fórmulas de Falconer y Mackay (1996).

$$R = i h^2_i \sigma_p$$

Y con (Zobel y Talbert, 1992).

$$\Delta G = (h^2_f) (S_1) + (h^2_{i(f)}) (S_2)$$

$$S_1 = \bar{x}_{fam\ sel} - \bar{x}_{general}$$

$$S_2 = \bar{x}_{Inds\ sel} - \bar{x}_{fam\ sel}$$

Donde R es la respuesta a la selección o ganancia genética (ΔG), i es la intensidad de selección, h^2_i es la heredabilidad a nivel individual y σ_p es la desviación estándar fenotípica.

ΔG = Ganancias genéticas, h^2_f = Heredabilidad de familia, $h^2_{i(f)}$ = Heredabilidad de individuo dentro de familia, S_1 = Diferencial de selección 1 (Diferencia entre la media de la familia seleccionada y la media general), S_2 = Diferencial de selección 2 (Diferencia entre la media del individuo seleccionado y la media de la familia seleccionada), $\bar{x}_{general}$ = Media general, $\bar{x}_{Fam\ sel}$ = Media de la familia seleccionada, $\bar{x}_{Inds\ sel}$ = Media de los individuos seleccionados.

Las ganancias genéticas esperadas se estimaron como valores porcentuales como:

$$\Delta G\% = (\Delta G / \mu) (100)$$

Donde $\Delta G\%$ es la ganancia genética en valor porcentual, ΔG es la ganancia genética y μ es la media general de la población.

Se estimó la ganancia genética a diferentes intensidades de selección (20, 40, 60 y 80%) con la finalidad de observar su comportamiento bajo diferentes criterios de selección: a), obtener la mayor ganancia genética o b), mantener la mayor variación genética posible dentro del ensayo.

II.3. Resultados y discusión

II.3.1. Variación fenotípica y genética

Los valores de las variables evaluadas (ALT, DAP, VOL) fueron aumentando con la edad (Tabla II.3.1) y también la amplitud, es decir, la diferencia entre el valor máximo y el mínimo a una determinada edad; sin embargo, esa diferencia fue relativamente constante en términos del número de desviaciones estándar. Por ejemplo, el tamaño de la amplitud de la altura fue de entre 5.6 y 6.3 veces la desviación estándar. Así mismo, la amplitud del diámetro fue de entre 5.6 y 8.0 veces la desviación estándar y la del volumen, de entre 5.5 y 7.2 veces.

El coeficiente de variación presentó una tendencia a disminuir con la edad en las tres variables de crecimiento, lo que probablemente se deba a que muchos individuos desaparecieron con el tiempo por aclareos y otras causas. Actualmente las existencias son de uno a dos individuos por familia, y algunas familias ya no están representadas.

Tabla II.3.1. Estadísticas descriptivas de las variables de crecimiento para los años de 1994, 1996, 1997, 1998 y 2009 de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.

Año	Edad	μ^{\dagger}	σ	Min	Max	CV
Altura (m)						
1994	2	1.98	0.46	0.70	3.90	23.55
1996	4	5.52	1.75	0.80	11.70	31.68
1997	5	7.50	2.08	2.30	14.10	27.78
1998	6	9.87	2.13	4.50	16.50	21.61
2009	17	15.75	3.35	4.87	25.77	21.31
Diámetro (cm)						
1996	4	4.42	0.91	1.30	7.80	20.60
1997	5	5.58	1.25	1.83	10.04	22.51
1998	6	7.03	1.36	3.75	11.30	19.45
2009	17	26.28	4.00	8.91	41.06	15.24

		Volumen (cm ³)				
1996	4	0.59	0.37	0.01	2.65	62.92
1997	5	1.29	0.81	0.07	5.89	62.94
1998	6	2.59	1.44	0.32	8.89	55.55
2009	17	53.52	19.31	5.03	110.76	36.09

† μ = media, σ = desviación estándar, Min = mínimo, Max = máximo, CV = coeficiente de variación.

Se encontraron diferencias significativas entre familias a las edades de dos, cuatro, cinco y seis años ($P \leq 0.004$), a la edad 17 años ninguna de las variables mostró diferencias significativas ($P \geq 0.807$) (Tabla II.3.2). Un comportamiento similar se presentó en la interacción entre bloques y familias. Entre bloques si hubo diferencias significativas en todos los años ($P \leq 0.03$) (Tabla II.3.2). La falta de diferencias entre familias en la edad 17 años puede ser debida a la competencia y consecuente mortalidad en edades avanzadas del ensayo. Las diferencias encontradas entre bloques y la interacción entre bloques y familias, puede ser un indicador de la heterogeneidad del suelo en el que el ensayo fue establecido.

Tabla II.3.2. Cuadrados medios (CM) y significancia (P) de bloques, familias y la interacción bloque×familia (BF) en altura, diámetro y volumen de un ensayo de progenies de *Pinus greggii*, a los 2, 4, 5, 6 y 17 años de edad.

Edad (años)	Año	Bloque		Familia		BF	
		CM	P	CM	P	CM	P
Altura							
2	1994	2.8	<0.001	0.40	<0.001	0.2	<0.001
4	1996	73.9	<0.001	3.61	<0.001	2.7	<0.001
5	1997	63.1	<0.001	5.69	<0.001	4.4	<0.001
6	1998	48.1	<0.001	5.47	0.003	4.2	<0.001
17	2009	38.9	0.030	9.22	0.860	9.7	0.860
Diámetro							

4	1996	14.4	<0.001	1.17	<0.001	0.8	<0.001
5	1997	31.2	<0.001	1.77	<0.001	1.6	<0.001
6	1998	40.9	<0.001	1.91	<0.001	1.4	<0.001
17	2009	17.4	0.703	13.31	0.965	15.5	0.943
Volumen							
4	1996	1.9	<0.001	0.18	<0.001	0.1	<0.001
5	1997	9.1	<0.001	0.76	<0.001	0.6	<0.001
6	1998	29.0	<0.001	2.24	<0.004	1.8	0.002
17	2009	273.5	0.779	345.61	0.807	366.8	0.791

Las diferencias significativas entre familias encontradas en este estudio para la variable altura total ($P \leq 0.003$), coinciden con las encontradas por otros autores en la misma especie, en edades similares, como las reportadas por Valencia-Manzano *et al.* (2006), en un ensayo de procedencias de *P. greggii* Engelm., en dos localidades de la mixteca alta de Oaxaca a la edad de 2.5 años ($P < 0.01$), por Rodríguez-Laguna *et al.* (2009) en un ensayo similar establecido en Galeana, Nuevo León ($P < 0.05$) para altura a la primera rama y altura al punto amplio de la copa, y por López Upton *et al.* (2000) a la edad de 8 y 16 meses entre procedencias ($P \leq 0.05$).

También se han reportado resultados similares de diferencias significativas entre familias para la altura, a diferentes edades, en otras especies de coníferas, como lo encontrado por Viveros-Viveros *et al.* (2006) a la edad de 15, 20 y 24 meses, entre procedencias de *Pinus pseudostrubus* ($P = 0.01$) y entre sitios de plantación ($P < 0.05$) a la edad de quince meses (Viveros-Viveros *et al.*, 2005), por Arregui *et al.* (1999) para *Pinus radiata* D. Don, en el País Vasco, en un ensayo de progenies a la edad de seis años ($P = 0.01$), y por Shermann *et al.* (1997) en un ensayo de progenies de *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (MIRB.) de nueve años de edad ($P < 0.01$), establecido en Washington.

Los resultados obtenidos por Cambrón *et al.* (2007), quienes encontraron diferencias significativas en el diámetro a la edad de seis años ($P = 0.048$) para *P. occarpa*, establecido en un ensayo de progenies de medios hermanos en Ario de

Rosales, Mich., coinciden con los resultados obtenidos en este estudio a la edad de 5 y 6 años ($P < 0.05$) (Tabla II.3.2). De igual forma, para progenies de de *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (MIRB.) establecidas en un ensayo de progenies en Washington, a la edad de nueve años ($P < 0.01$) (Shermann *et al.*, 1997), y para *P. greggii*, a los dos años y seis meses de edad ($P \leq 0.05$) en un ensayo de procedencias establecido en dos localidades de la mixteca alta de Oaxaca (Valencia-Manzano *et al.*, 2006).

Las diferencias significativas encontradas en este estudio para el volumen, a los cinco años de edad (Tabla II.3.2), concuerdan con las reportadas por Márquez-Ramírez *et al.* (2006) en un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf., a la misma edad ($P < 0.003$).

II.3.2. Heredabilidad y ganancia genética

Todas las variables presentaron valores bajos de heredabilidad a nivel individual ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.18$) (Tabla II.3.3), y de bajos a relativamente altos a nivel de medias de familias ($0.00 \leq h^2_f \leq 0.43$) (Tabla II.3.3). Así mismo, las tres variables presentaron valores similares de heredabilidad en cada edad. Los valores más altos se obtuvieron para la altura a los dos años de edad (Tabla II.3.3), seguidos por los de la altura a los seis años. Los valores más bajos de heredabilidad se obtuvieron a los 17 años de edad y no son estadísticamente diferentes de cero.

Con la falta de aclareos genéticos a lo largo del ensayo se sometió a los individuos a un crecimiento competitivo por luz y nutrimentos, que, aunado a la poca profundidad del suelo en el lugar, provocó que varios árboles fueran derribados por el viento. La escasa variación genética en la última evaluación (17 años) pudo deberse al reducido número de individuos representando cada familia en cada bloque del ensayo y a la falta de representación de algunas familias en algunos bloques, lo que ocasionó la pérdida de diversidad genética.

Tabla II.3.3. Heredabilidades estimadas a nivel individual y de medias de familias para las variables altura, diámetro y volumen a las edades de 2, 4, 5, 6 y 17 años en un ensayo de progenies *Pinus greggii*.

Edad (años)	Año	Altura			Diámetro			Volumen		
		h^2_i	$h^2_{i(f)}$	h^2_f	h^2_i	$h^2_{i(f)}$	h^2_f	h^2_i	$h^2_{i(f)}$	h^2_f
2	1994	0.18	0.17	0.43	–	–	–	–	–	–
*2	1994	0.31	0.30	0.63	–	–	–	–	–	–
4	1996	0.13	0.14	0.31	0.15	0.20	0.33	0.15	0.17	0.33
*4	1996	0.05	0.07	0.15	0.33	0.45	0.52	0.23	0.25	0.44
5	1997	0.10	0.10	0.25	0.04	0.04	0.10	0.07	0.08	0.20
6	1998	0.17	0.15	0.35	0.16	0.16	0.33	0.15	0.15	0.33
17	2009	0.00	0.0	0.00	0.003	0.002	0.01	0.07	0.057	0.15

*Este cálculo corresponde a los individuos que permanecen actualmente en el ensayo y de los cuales se tomaron los valores que presentaban a la edad de 6 años, en comparación con la heredabilidad a la edad de 6 años de los individuos que existían en ese año muestra que solo la altura presenta diferencias significativas.

Los resultados de heredabilidad en altura total de la planta, obtenidos en este trabajo, fueron, en general, valores relativamente bajos comparados con otros resultados reportados en la bibliografía (Tabla II.3.4). Sólo fueron similares, en heredabilidad a nivel individual, a los obtenidos en *Pinus radiata* a los 6 y 7 años y en *Pinus caribaea* a los 7 años (Tabla II.3.4), así como a los de heredabilidad a nivel de medias de familias obtenidos en *P. oocarpa* a los 6 años de edad (Tabla II.3.3).

Tabla II.3.4. Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en altura de ensayos reportados en la literatura.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>ayacahuite</i>	3	0.31	0.71	Farfán <i>et al.</i> 2002
	4	0.38	0.76	
	5	0.40		

	13	0.52	0.77	
<i>Pinus radiata</i>	6	0.15	0.81	Arregui <i>et al.</i> , 1999
<i>Pinus greggii</i>	0.7 y 1.3	0.55	0.78	López <i>et al.</i> , 2000
	2	0.18	0.43	
	4	0.13	0.31	
<i>Pinus greggii</i>	5	0.10	0.25	Este estudio
	6	0.17	0.35	
	17	0.00	0.00	
<i>Pinus caribaea</i>	7	0.10	0.44	Ledig <i>et al.</i> , 1981
<i>Pinus halepensis</i>	10	0.42	0.45	Matziris <i>et al.</i> , 2000
<i>Pinus oocarpa</i>	6	0.24	0.31	Cambrón, 2007
<i>Pinus radiata</i>	7	0.13	0.09	Mora y Zamudio, 2006

Los resultados obtenidos en heredabilidad en diámetro a la altura del pecho fueron relativamente bajos en relación con los reportados en la literatura para otras especies coníferas (Tabla II.3.5). Sin embargo, fueron similares en heredabilidad a nivel individual a los de *P. radiata* a los 6 años, y a los de *P. caribaea* a los 7 años (Tabla II.3.5); así como a los de *P. radiata* a los 7 años en heredabilidad de media de familias (Tabla II.3.5).

Tabla II.3.5. Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en diámetro de ensayos reportados en la literatura.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_{fam}	Fuente
<i>Pinus radiata</i>	7	0.00	0.30	Mora y Zamudio, 2006
	3	0.32	0.71	
<i>Pinus ayacahuite</i>	4	0.36	0.74	Farfán <i>et al.</i> , 2002
	5	0.39	0.76	
	13	0.55	0.83	

<i>Pinus radiata</i>	6	0.17		Arregui <i>et al.</i> , 1999
<i>Pinus caribaea</i>	7	0.19	0.65	Ledig <i>et al.</i> , 1981
<i>P. oocarpa</i>	6	0.29	0.39	Cambrón, 2007
	4	0.15	0.33	
<i>Pinus greggii</i>	5	0.04	0.10	Este estudio
	6	0.16	0.33	
	17	0.003	0.01	
<i>Pinus radiata</i>	6	0.13	-	Jayawickrama, 2001
<i>Pinus halepensis</i>	10	0.26	0.48	Matziris, 2000

Los valores de heredabilidad a nivel individual en volumen obtenidos en este estudio, son similares a los obtenidos en *P. oocarpa* a los 6 años y en *P. caribaea* a los 7 años, pero más altos que los obtenidos en *P. radiata* a los 7 años y más bajos que los de *P. halepensis* a los 10 años de edad (Tabla II.3.6). Los valores de heredabilidad a nivel de media de familias para el volumen son relativamente altos, comparados con los de *P. oocarpa* a los 6 años y los de *P. radiata* a los 7 años, pero más bajos que los de *P. caribaea* a los 7 años y los de *P. halepensis* a los 10 años de edad (Tabla II.3.6).

Tabla II.3.6. Valores comparativos de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en volumen de ensayos reportados en la literatura.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus halepensis</i>	10	0.33	0.58	Matziris, 2000
<i>Pinus caribaea</i>	7	0.11	0.49	Ledig <i>et al.</i> , 1981
	4	0.15	0.33	
<i>Pinus greggii</i>	5	0.07	0.20	Este estudio
	6	0.15	0.33	
	17	0.07	0.15	

<i>P. oocarpa</i>	6	0.11	0.19	Cambrón, 2007
<i>P. radiata</i>	7	0.09	0.12	Mora y Zamudio, 2006

Con las intensidades de selección aplicadas (20, 40, 60 y 80% de los individuos dentro de las familias) y con un análisis retrospectivo, fue posible estimar la respuesta a la selección temprana en los años de 1994, 1996, 1997 y 1998, para poder determinar el efecto esperado de esta selección en la población remanente, el cual se expresará en las variables evaluadas.

Las ganancias genéticas esperadas, fueron de bajas ($\Delta G = 0.00\%$) a moderadamente bajas ($\Delta G = 13.02\%$). Las mayores ganancias esperadas se obtuvieron, en las tres variables evaluadas, con una intensidad de selección del mejor 20% de los individuos y fue disminuyendo conforme disminuyó la intensidad de selección (Tabla II.3.7). Para las tres variables evaluadas las mayores ganancias genéticas se obtuvieron a los 4 años de edad, en todos los años evaluados ($\Delta G_{ALT} = 5.81\%$; $\Delta G_{DAP} = 4.45\%$; $\Delta G_{VOL} = 13.02\%$).

Tabla II.3.7. Ganancia genéticas esperadas (ΔG), reales y porcentuales, establecidas en un ensayo de progenies de *Pinus greggii* para las variables altura, diámetro y volumen a intensidades de selección de 20, 40, 60 y 80%, a los 2, 4, 5, 6 y 17 años de edad.

Edad (años)	Año	Ganancia genética							
		i20		i40		i60		i80	
Altura									
		m	%	m	%	m	%	m	%
2	1994	0.12	5.8	0.08	4.0	0.05	2.6	0.03	1.4
*2	1994	0.72	36.3	—	—	—	—	—	—
4	1996	0.32	5.8	0.22	4.0	0.15	2.6	0.08	1.4
*4	1996	0.13	2.3	—	—	—	—	—	—
5	1997	0.29	3.8	0.20	2.6	0.13	1.7	0.07	0.9

6	1998	0.50	5.0	0.34	3.4	0.23	2.3	0.12	1.2
17	2009	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Diámetro									
		cm	%	cm	%	cm	%	cm	%
4	1996	0.20	4.4	0.14	3.0	0.09	2.0	0.05	1.1
*4	1996	0.40	9.0	—	—	—	—	—	—
5	1997	0.06	1.1	0.04	0.7	0.03	0.5	0.02	0.2
6	1998	0.31	4.3	0.21	3.0	0.14	2.0	0.08	1.1
17	2009	0.02	0.0	0.01	0.0	0.01	0.0	0.00	0.0
Volumen									
		cm ³	%	cm ³	%	cm ³	%	cm ³	%
4	1996	0.08	13.0	0.05	8.9	0.04	5.9	0.02	3.2
*4	1996	0.13	22.0	—	—	—	—	—	—
5	1997	0.08	6.5	0.06	4.5	0.04	3.0	0.02	1.6
6	1998	0.31	12.0	0.22	8.3	0.14	5.5	0.08	3.0
17	2009	2.02	3.7	1.39	2.6	0.93	1.7	0.50	0.9

El porcentaje de ganancias genéticas esperadas en altura en este estudio, a los 2 años de edad, fue bajo, en comparación con lo que obtuvo Farfán *et al.* (2002), quienes reportaron ganancias genéticas del 14.0% para la altura en *P. ayacahuite var. ayacahuite* a los 3 años de edad; pero son similares respecto a los reportados por Cambrón (2007) en *Pinus oocarpa* a los 6 años de edad, del 5.9%. Así mismo Arregui *et al.* (1999) reportaron ganancias para *Pinus radiata*, a los 6 años de edad, de 11.8%, las cuales son altas con respecto a las estimadas en este estudio.

La ganancia genética estimada en este estudio para el diámetro, a los 6 años de edad fue menor que la reportada para *Pinus oocarpa*, de 13.5%, a la edad de 6 años (Cambrón, 2007), de la misma manera, fue baja respecto a lo reportado para *Pinus radiata* ($\Delta G = 17.55\%$) a la edad de 6 años (Arregui *et al.*, 1999). También es un resultado relativamente bajo respecto a lo reportado para *Pinus ayacahuite* 11.7 % a la edad de 4 años (Farfán *et al.* 2002).

El porcentaje de ganancias genéticas para el volumen en este estudio a los 6 años de edad fue más alto en comparación con lo reportado para *Pinus oocarpa* ($\Delta G = 10.3\%$) a la edad de 6 años (Cambrón, 2007), esto puede deberse a que tanto la altura como el diámetro estimados en este estudio fueron bajos comparados con otros estudios, y por consecuencia el volumen también estuvo por debajo de otros resultados estimados para esta variable.

En general, las ganancias genéticas esperadas fueron bajas, en comparación con las obtenidas en otros estudios, lo cual puede deberse a la falta de calidad del suelo en el que fue establecido el ensayo, la pérdida de individuos dentro de las familias e incluso de familias, es decir, la pérdida de diversidad genética dentro del ensayo, pero también a la variación genética de la procedencia.

II.4. Conclusiones y recomendaciones

Se obtuvieron diferencias significativas entre familias de medios hermanos de *Pinus greggii* ($P = <0.05$) para altura (ALT), diámetro a altura de pecho (DAP) y volumen (VOL) a las edades de dos, cuatro, cinco y seis años.

Los mayores valores de heredabilidad en *P. greggii* los presentaron la variable altura a los 2 y 6 años de edad, mientras que para diámetro fueron a los 4 y 6 años, lo mismo que para el volumen. Los valores más bajos se obtuvieron, para las tres variables a los 17 años de edad.

Las mayores ganancias genéticas esperadas a partir de las intensidades de selección aplicadas (20, 40, 60 y 80% de los mejores individuos por familia), se obtuvieron a la edad de 4 años para las tres variables evaluadas; y los valores más bajos fueron obtenidos a los 17 años de edad.

La mayor ganancia genética en altura y diámetro se obtuvieron a los 4 años de edad con una intensidad de selección de 20% ($\Delta G_{ALT} = 5.81\%$; $\Delta G_{DAP} = 4.45\%$; $\Delta G_{VOL} = 13.02\%$).

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda hacer un aclareo genético retrospectivo basado en los datos obtenidos a la edad de 4 años, aplicado al arbolado actual, de tal manera que se pueda obtener la mayor ganancia genética en la siguiente generación, al permitir que el arbolado remanente, cuando el ensayo tenía 4 años, se entrecruce libremente.

III. Evaluación de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm. de segunda generación en Morelia, Michoacán

RESUMEN

En las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA) fue establecido, en el año de 2004, un ensayo de progenies de progenies de medios hermanos de *Pinus greggii* Engelm., con semilla procedente de un primer ensayo de progenies. Con el objetivo de hacer una propuesta de manejo, se hizo un análisis genético del ensayo a la edad de cuatro años. Los resultados mostraron diferencias significativas entre familias ($P \leq 0.0007$) para altura (ALT), diámetro a la altura de 1.30 m del suelo (DAP) y volumen del tronco (VOL). La ALT y el VOL mostraron un control genético más elevado ($h^2_i = 0.17$; $h^2_f = 0.31$) que el DAP ($h^2_i = 0.15$; $h^2_f = 0.29$). Las mayores ganancias genéticas esperadas, con una intensidad de selección del 35%, fueron para el VOL y DAP (11.32% y 4.02%, respectivamente), y el valor más bajo fue para la ALT (3.36%). Se propone un aclareo genético que asegure la permanencia de todas las familias representadas en el ensayo.

Palabras clave: *Pinus greggii*, ensayo de progenies, heredabilidad, ganancia genética.

ABSTRACT

In lands of the Center of Technological Development of Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA) it was established, in 2004, a *Pinus greggii* Engelm half sib progeny test of second generation. With the aim of making a management proposal, a genetic analysis became of the test. The results showed significant differences between families ($P \leq 0.0007$) for height (ALT), diameter around the breast (DAP; 1,30 m) and volume of the trunk (VOL). The ALT and the VOL showed a higher genetic control ($h^2_i = 0.17$; $h^2_f = 0.31$) that the DAP ($h^2_i = 0.15$; $h^2_f = 0.29$). The majors expected genetic gains, with an intensity of selection of 35%, were for VOL and DAP (11.32% and 4.02%, respectively), and the lowest value was for the ALT (3.36%). A genetic thinned that assures the permanence of all the families represented in the test is proposed.

Key words: *Pinus greggii*, progeny test, heritability, genetic gain

III.1. Introducción

Una especie de conífera de reciente y amplio uso ha sido *Pinus greggii* Engelm debido a su rápido crecimiento y buena adaptación a ambientes diferentes (López-Upton *et al.*, 2000).

Pinus greggii es una especie endémica de Coahuila, Hidalgo, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Veracruz y es uno de los principales recursos forestales que por su gran variación, presenta crecimiento rápido fuera de su ambiente natural (Alba-Landa *et al.*, 2007).

Los huertos semilleros sexuales pueden desarrollarse a partir de ensayos de progenie por polinización abierta (medios hermanos). El aclareo genético de los ensayos de progenie para convertirlos en huertos semilleros requiere de conocer el control genético de los caracteres de interés económico, a fin de estimar las ganancias genéticas esperadas a partir de una intensidad de selección determinada (Viveros Viveros *et al.*, 2005).

Michoacán ha padecido una gran deforestación de los recursos silvícolas y es una de las entidades del país que está obligada a realizar plantaciones forestales (FIRA, 1995). De acuerdo a la situación actual forestal de México y particularmente de Michoacán, se hace evidente la planeación y ejecución de nuevas estrategias de reforestación, como son los ensayos de progenie para contar con semilla seleccionada genéticamente y mejorar la supervivencia de las plántulas.

Alba Landa *et al.* (2005), sugieren realizar ensayos de progenie con especies del género *Pinus* en diferentes localidades, para determinar su capacidad de adaptación en cuanto a los caracteres de supervivencia, crecimiento, desarrollo, resistencia a plagas, enfermedades y potencial productivo, para determinar las mejores fuentes productoras de germoplasma en particular, e integrar las primeras pautas para el movimiento de las especies.

Por lo anterior los objetivos del presente estudio fueron 1) Evaluar la variación genética, 2) Estimar el control genético, 3) Evaluar el desempeño de las familias con fines de selección y 4) Estimar las ganancias genéticas esperadas bajo distintas intensidades de selección, para brindar las bases que sirvan de criterio para hacer una propuesta de manejo del ensayo.

III.2. Materiales y métodos

El ensayo se estableció con semilla colectada de 17 árboles de un ensayo de primera generación ubicado en las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico “Salvador Lira López” de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (CDT-FIRA) en Morelia Michoacán.

El establecimiento del ensayo se realizó por el personal del CDT-FIRA, a un espaciamiento de 3.0 m × 3.0 m, con un arreglo en líneas, en donde cada línea contenía un individuo de cada familia (Figura III.2.1). Se cuidó que dos individuos de la misma familia no se plantaran juntos en la línea contigua. El ensayo contó con 16 familias y un número de individuos por familia que varió de 10 a 72 (Tabla III.2.1).

FILAS																				
Líneas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16				3-106-1-3	3-135-2-4		3-106-1-5	3-135-2-7	3-165-2-6	3-106-1-7	3-300-5-11	2-11-2-12	3-14-2-5	4-10-6-16	3-165-2-16	3-300-5-18	2-11-2-21	3-14-2-12	4-10-6-24	3-165-2-23
15				3-165-2-2	3-300-5-4	9-137-2-6	3-165-2-4	3-300-5-7		3-165-2-7	8-22-3-12	5-200-4-13	3-110-2-16	8-20-1-16	9-137-2-18	8-22-3-19	5-200-4-22		8-20-1-23	9-137-2-25
14	4-129-1(1)		3-25-3-4	9-11-1-2	3-25-3-7	3-25-3-8	9-11-1-4		3-25-3-14	9-11-1-7	4-10-6-12		3-300-5-14	2-11-2-15	3-14-2-8	4-10-6-18	3-165-2-19	3-300-5-21	2-11-2-23	3-165-2-15
13	3-165-6(1)	8-20-1(2)	11-2-3	200-4-4	129-1-5	2-6	4-7	5-1-8	2-9	4-10	8-20-1-12	9-137-2-12	3-22-3-15	5-200-4-16	3-110-2-19		137-2-21	22-3-22	200-4-25	110-2-26
12	3-106-1(1)	5-200-4(2)		8-20-1-4	3-106-1-4	4-10-6-6	8-20-1-7	3-106-1-6	4-10-6-9		2-11-2-11	3-14-2-2	4-10-6-15	3-165-2-13	9-137-5-17	2-11-2-18	3-14-2-11	8-20-6-21	4-10-2-22	3-165-5-24
11	9-137-2(1)	3-25-3-2	22-3-3	115-1-5	137-2-5	22-3-6	115-1-9	9-137-2-9		3-110-2-11	5-200-4-12	3-110-2-13	8-20-1-15	9-137-2-15	8-22-3-18	5-200-4-19	3-110-2-22	8-20-1-20	9-137-2-24	8-22-3-25
10			4-129-1-3	3-135-2-3	3-110-2-5	4-129-1-6	3-135-2-6	4-110-2-9	3-129-1-9	4-135-2-10	3-165-2-9	8-300-5-12	3-11-2-14	4-14-2-6		165-2-17	300-5-20	11-2-21	14-2-14	10-6-24
9	3-300-5(1)	4-10-6-2	3-115-1-4	3-300-5-3	8-22-3-5	3-115-1-7		3-165-6-5		9-137-2-11	8-22-3-13	5-200-4-15	3-2-17	3-11-1-8	9-137-2-19	8-22-3-21	5-200-4-23	3-110-2-25	8-22-1-24	3-110-2-24
8	3-135-2(1)			4-10-6-5	8-20-1-6	3-110-2-8	4-10-6-8	8-20-1-9	9-11-1-8	3-14-2-1	4-10-6-13	3-165-2-12	4-16-15	3-300-5-15	2-11-2-17	3-14-2-9	4-10-6-20	3-165-2-20	5-200-5-23	2-11-2-24
7	3-115-1(1)	3-110-2-2	3-25-3-3	9-137-2-4	2-11-2-5		9-137-2-8	2-11-2-8	3-25-3-13	3-165-6-6	3-110-2-12	8-20-1-13	9-137-2-14		110-2-20	3-20-1-19	2-11-2-22	8-22-3-24	9-137-4-26	
6				3-165-6-3	5-200-4-6	3-165-6-4	3-25-3-12	5-200-4-9	3-165-2-8	3-300-5-10	2-11-2-13	3-14-2-4	4-10-6-16	3-165-2-15	5-200-5-19	3-11-2-20	2-11-2-13	4-10-6-23	3-165-2-24	
5	5-200-4(1)	3-106-1-2	3-115-1-3	4-129-1-4	5-200-4-5	3-115-1-8	4-129-1-7	5-200-4-8		4-129-1-10	8-22-3-11	5-200-4-14	3-110-2-15	8-20-1-17	9-137-2-17	8-22-3-22	5-200-4-21	3-110-2-24	8-20-1-22	9-137-2-26
4	3-25-3-1	3-165-6-2	9-137-2-3	3-25-3-5	8-20-1-5	9-137-2-7	3-25-3-10	8-20-1-8	9-137-2-10	3-25-3-14	4-10-6-11	3-165-2-11	3-300-5-13	2-11-2-16	3-14-2-7	4-10-6-19		3-300-5-22	2-11-2-22	3-165-2-16
3	2-11-2-1	4-129-1-2	3-110-2-3	2-11-2-4		3-110-2-7	2-11-2-7	3-115-1-10			8-20-1-11	9-137-2-13	3-165-3-14	5-200-4-17	3-110-2-18	8-20-1-18	2-11-2-20	3-165-3-23	4-10-6-24	3-110-2-27
2	4-10-6-1	3-165-2-1	3-300-5-2	4-10-6-4	3-165-2-3	3-300-5-5	4-10-6-7		3-300-5-8	4-10-6-10	2-11-2-10	3-14-2-3	4-10-6-14	3-165-2-14	5-200-5-16	2-11-2-19	3-14-2-10	6-22-3-21	10-6-22	300-5-25
1	8-22-3-1	9-137-1-1	3-135-2-2		9-11-1-3	3-135-2-5	8-22-3-7	9-11-1-5	3-135-2-8	8-22-3-10	5-200-4-11	3-165-2-14	8-20-1-14	9-137-2-16	8-22-3-17	5-200-4-20	3-110-2-21	8-20-1-21	9-137-2-23	

Figura III.2.2. Fracción del Diseño utilizado para establecimiento del ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm de segunda generación establecido en CDT de FIRA.

Tabla III.2.1. Número de individuos (Ind) por familia (Fam) plantados en un ensayo de progenies de *Pinus greggii* de segunda generación, establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.

Fam	10	11	14	20	22	25	106	110	115
Ind	65	72	37	65	64	15	24	48	10
Fam	122	129	135	137	165	200	300	-	-
Ind	17	10	11	64	67	65	63	-	-

La planta se produjo en condiciones de vivero y en julio de 2005 se estableció el ensayo en un terreno de las instalaciones del CDT-FIRA de Morelia Michoacán, ubicado en los 19°39'00" de latitud Norte y 101°14'00" de longitud Oeste, con altura promedio sobre el nivel del mar de 1940 m (FIRA, 1991). La temperatura media anual es de 17.6 °C y la precipitación promedio anual de 697.4 mm. El suelo es Vertisol pélico de origen calcáreo, delgado y degradado, con pendiente descendente, ondulada, definida hacia el norte con escasa orientación hacia el este, del orden de 15% al 20% (FIRA, 1995).

III.2.1. Variables evaluadas y análisis estadístico

En julio de 2009 (a los 4 años de edad), se midió la altura total (ALT) de los árboles con una pértiga graduada en centímetros. La medición del diámetro a altura de pecho (DAP) se realizó con una cinta diamétrica y el volumen se estimó con base en la ALT y el DAP con la siguiente fórmula (Rivas, 2006):

$$V = 0.7854 \cdot d^2 \cdot h \cdot 0.71$$

Donde V es el volumen calculado, d es el diámetro, h es la altura, 0.7854 es una constante y 0.71 es un coeficiente de forma. El coeficiente de forma se obtuvo con la fórmula (Rivas, 2006):

$$C = (dh)^2 / DAP$$

Donde C es el coeficiente de forma, DAP es el diámetro a 1.30 cm sobre el nivel del suelo, $(dh)^2$ es el diámetro a mitad de la altura total del árbol. Para el cálculo del coeficiente de forma se realizó una medición adicional de 10 individuos con

los valores promedio de diámetro y altura, con una cinta métrica y una escalera metálica.

III.2.2. Análisis de datos

Se obtuvo de cada variable de crecimiento el valor medio, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y el coeficiente de variación, con el procedimiento UNIVARIATE de SAS (2004).

Debido a que las familias presentaron diferente número de individuos, se realizó un análisis de varianza considerando el ensayo con un diseño experimental completamente al azar, con el procedimiento GLM de SAS (2004) para cada variable de crecimiento, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + F_i + e_{ij}$$

Donde Y_{ij} es la j -ésima observación de la i -ésima familia, μ es la media general de la población, F_i es el efecto de la i -ésima familia y e es el error experimental. Se obtuvieron los componentes de la varianza para cada variable de crecimiento utilizando el modelo anterior, con el procedimiento VARCOMP y el método RELM de SAS (2004).

III.2.3. Parámetros genéticos

Se estimó la heredabilidad en sentido estricto, a nivel individual, de medias de familias y de individuos dentro de familias con las siguientes fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h_i^2 = 4\sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_e^2)$$
$$h_f^2 = \sigma_f^2 / [\sigma_f^2 + (\sigma_e^2 / n)]$$
$$h_{i(f)}^2 = 3(\sigma_f^2) / \sigma_e^2$$

Donde h_i^2 es la heredabilidad a nivel individual, h_f^2 es la heredabilidad a nivel de medias de familias, $h_{i(f)}^2$ es la heredabilidad de individuos dentro de familias, σ_f^2 es la varianza de familias, σ_e^2 es la varianza del error, n es la media armónica del número de individuos por familia. Finalmente, se estimó la respuesta a la

selección (ó ganancia genética) para diferentes intensidades de selección (Falconer y Makay, 2001):

$$R = h^2_i i \sigma_p$$

Y con (Zobel y Talbert, 1992).

$$\Delta G = (h^2_f) (S_1) + (h^2_{i(f)}) (S_2)$$

$$S_1 = \mu_{fam\ sel} - \mu_{general}$$

$$S_2 = \mu_{Inds\ sel} - \mu_{fam\ sel}$$

Donde R es la respuesta a la selección o ganancia genética (ΔG), i es la intensidad de selección, h^2_i es la heredabilidad a nivel individual y σ_p es la desviación estándar fenotípica.

ΔG = Ganancias genéticas, h^2_f = Heredabilidad de familia, $h^2_{i(f)}$ = Heredabilidad de individuo dentro de familia, S_1 = Diferencial de selección 1 (Diferencia entre la media de la familia seleccionada y la media general), S_2 = Diferencial de selección 2 (Diferencia entre la media del individuo seleccionado y la media de la familia seleccionada), $\mu_{general}$ = Media general, $\mu_{fam\ sel}$ = Media de la familia seleccionada, $\mu_{Inds\ sel}$ = Media de los individuos seleccionados.

La ganancia genética se estimó a distintos porcentajes de intensidad de selección para conocer su comportamiento relacionándolo con la diversidad de familias e individuos del ensayo; las intensidades de selección a las que se estimó fueron: 20, 35, 40, 60, 80 y 87%

III.3. Resultados y discusión

III.3.1. Estadísticas descriptivas y análisis de varianza

Tabla III.3.2. Estadísticas descriptivas de las variables de crecimiento de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* de segunda generación establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.

Estimador	Altura (m)	Diámetro (cm)	Volumen (cm ³)
μ	6.25	8.45	2.65
σ	0.85	1.57	1.13
Min	1.92	3.06	0.16
Max	8.32	12.76	7.12
CV %	13.65	18.58	42.55

Se encontraron diferencias altamente significativas entre familias ($P < 0.001$) en las tres variables evaluadas (Tabla III.3.3), lo cual es un indicador de la existencia de variación genética en el ensayo.

Tabla III.3.3. Análisis de varianza de altura, diámetro y volumen de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* de segunda generación establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.

F. V.	G.L.	C.M.	F	P
Altura				
Familia	15	2.010	2.88	0.0001
Error	620	0.699		

Diámetro				
Familia	15	6.035	2.54	0.0008
Error	620	2.377		

Volumen				
Familia	15	2.482	2.74	0.0003

Las diferencias significativas entre familias observadas en el presente estudio para la altura ($P = 0.0001$), coinciden con las encontradas en otros trabajos para la misma variable y especie, como el de López-Upton *et al.* (2000) a las edades de 8 y 16 meses; Valencia-Manzano *et al.* (2006) en dos localidades de la mixteca alta de Oaxaca a la edad de 2.5 años ($P < 0.01$); Rodríguez-Laguna *et al.* (2009) en Galeana, Nuevo León, para altura a la primera rama y altura al punto amplio de la copa. Resultados similares fueron reportados por Arregui *et al.* (1999) para *Pinus radiata* D. Don, en el País Vasco, a los seis años de edad; y Viveros-Viveros *et al.* (2005) en un estudio de *Pinus pseudostrobus* Lindl., a la edad de 15 meses, entre sitios de plantación ($P < 0.05$).

De manera similar a este estudio, fueron encontradas diferencias significativas entre familias para el DAP, en esta misma especie, a los 2.5 años de edad, por Valencia-Manzano *et al.* (2006) en un ensayo de procedencias establecido en dos localidades de la mixteca alta de Oaxaca. También para *Pinus oocarpa*, en un ensayo de progenies de medios hermanos, en Ario de Rosales, Mich., a la edad de seis años ($P = 0.0480$) por Cambrón *et al.* (2007); y para progenies de *Pseudotsuga menziesii* establecidas en Washington, a la edad de nueve años ($P < 0.01$) (Shermann *et al.*, 1997).

Las diferencias entre familias para volumen ($P = 0.0003$) concuerdan con las diferencias encontradas por Márquez-Ramírez *et al.* (2006) en un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf., a los cinco años de edad.

III.3.2. Parámetros genéticos y desempeño de los genotipos

Las tres variables presentaron valores bajos de heredabilidad, teniendo el valor más bajo el diámetro, tanto a nivel individual ($h^2_i = 0.15$) como de medias de familias ($h^2_f = 0.29$) (Tabla III.3.4), y los más altos los presentaron la altura y el volumen ($h^2_i = 0.17$; $h^2_f = 0.31$) (Tabla III.3.4).

Tabla III.3.4. Heredabilidad a nivel individual, de medias de familias y de individuos dentro de familia en un ensayo de progenies de segunda generación de *Pinus greggii*, establecido en el CDT-FIRA de Morelia, Michoacán.

Heredabilidad	Altura	Diámetro	Volumen
h^2_i	0.17	0.15	0.17
h^2_f	0.31	0.29	0.31
$h^2_i(f)$	0.13	0.12	0.13

Los valores de heredabilidad en altura total de la planta obtenidos en este trabajo fueron bajos, comparados con otros resultados reportados, tanto para la misma especie, como para otras especies del mismo género (Tabla III.3.4). Estos resultados probablemente se deban a que el suelo poco profundo actuó como un factor limitante del crecimiento de los árboles, el cual es evidente cuando se observa la altura promedio de las familias ensayadas. En general, el comportamiento del fenotipo se puede expresar con la fórmula: Fenotipo = Genotipo + Ambiente + Interacción Genotipo×Ambiente (Zobel y Talbert, 1992), de tal manera que, cuando el efecto ambiental es muy fuerte, como en el caso del suelo en este estudio, el efecto genético se ve limitado en su expresión.

Los valores de heredabilidad individual obtenidos en este estudio para DAP, fueron similares a los estimados para *P. radiata* a los 6 años de edad (Arregui *et al.*, 1999; Jayawickrama *et al.*, 2001), mientras que, comparados con los obtenidos en *P. oocarpa* y *P. ayacahuite*, fueron bajos (Tabla III.3.5).

Los valores de heredabilidad a nivel individual en volumen fueron ligeramente más altos que los de *P. oocarpa* y *P. radiata*, pero a nivel de medias de familias fueron casi dos veces más altos que para las especies antes mencionadas (Tabla III.3.5).

Tabla III.3.5. Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en la altura total de diferentes especies de pino.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>ayacahuite</i>	4	0.38	0.76	Farfán <i>et al.</i> , 2002
<i>Pinus radiata</i>	6	0.15		Arregui <i>et al.</i> , 1999
<i>Pinus greggii</i>	0.7 y 1.3	0.55	0.78	López Upton <i>et al.</i> , 2000
<i>Pinus greggii</i>	4	0.17	0.31	Este estudio
<i>Pinus oocarpa</i>	6	0.24	0.31	Cambrón <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinus radiata</i>	7	0.13	0.09	Mora <i>et al.</i> , 2006

Tabla III.3.6. Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en el diámetro a la altura del pecho de diferentes especies de pino.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus radiata</i> D. Don	7	0.00	0.30	Mora <i>et al.</i> 2006
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren	4	0.36	0.74	Farfán-Vázquez <i>et al.</i> 2002
<i>Pinus radiata</i> D. Don	6	0.17	-	Arregui <i>et al.</i> , 1999
<i>P. oocarpa</i>	6	0.29	0.39	Cambrón <i>et al.</i> , 2007
<i>Pinus greggii</i>	4	0.15	0.29	Este estudio
<i>Pinus radiata</i>	6	0.13	-	Jayawickrama <i>et al.</i> , 2001

Tabla III.3.7. Resultados comparativos obtenidos de valores de heredabilidad a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) en el volumen del tronco de diferentes especies de pino.

Especie	Edad (años)	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus greggii</i>	4	0.17	0.31	Este estudio
<i>P. oocarpa</i>	6	0.11	0.19	Cambrón <i>et al.</i> , 2007
<i>P. radiata</i>	7	0.09	0.12	Mora <i>et al.</i> , 2006

Las ganancias genéticas esperadas, fueron de moderadas a bajas para las tres variables evaluadas, las mayores ganancias genéticas se obtuvieron con una intensidad de selección del 20%. Las mayores ganancias netas se presentaron en el diámetro para todas las intensidades de selección, sin embargo, en términos porcentuales, las mayores ganancias genéticas se obtuvieron en el volumen (Tabla III.3.8).

Tabla III.3.8. Ganancia genéticas esperadas netas (ΔG) y porcentuales ($\Delta G\%$), a intensidades de selección de 20, 35, 40, 60, 80, y 87% de los mejores individuos, en altura, diámetro y volumen de *Pinus greggii* establecido en un ensayo de progenies de segunda generación.

Intensidad de selección (<i>i</i>)	Altura		Diámetro		Volumen	
	(m)	%	(cm)	%	(cm ³)	%
20	0.21	3.3	0.34	4.0	0.30	11.3
35	0.16	2.5	0.27	3.1	0.21	7.9
40	0.14	2.2	0.23	2.7	0.18	6.7
60	0.10	1.6	0.15	1.7	0.12	4.5
80	0.05	0.8	0.09	1.0	0.07	2.6
87	0.04	0.6	0.06	0.7	0.05	1.8

Los porcentajes de ganancias genéticas esperadas en altura, estimadas en este estudio, fueron bajos en comparación con lo obtenido por Farfán *et al.* (2002), quien reportó ganancias genéticas de 14.4% en altura para *P. ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite* a los 4 años de edad, de la misma manera que para las reportadas por Arregui *et al.* (1999) para *Pinus radiata* D. Don a los 6 años de edad de 11.8%, y similar (con $i = 20\%$) con respecto a lo reportado por Cambrón (2007) en *Pinus oocarpa*, del 5.9%, a los 6 años de edad.

La ganancia genética estimada en este estudio para el diámetro, fue menor que la reportada para otras especies como *Pinus oocarpa* ($\Delta G = 13.5\%$) a la edad de 6 años (Cambrón, 2007), *Pinus radiata* ($\Delta G = 17.55\%$) a la edad de 6 años (Arregui *et al.*, 1999) y *Pinus ayacahuite* ($\Delta G = 11.7\%$) a la edad de 4 años (Farfán *et al.*, 2002). Las ganancias genéticas esperadas en el diámetro estuvieron por debajo de las estimadas en otras especies debido a los límites impuestos por las variables ambientales, en este caso el suelo.

Las ganancias genéticas porcentuales esperadas para el volumen en este estudio, a los 4 años de edad, es similar con lo reportado para *Pinus oocarpa* ($\Delta G = 10.3\%$) a la edad de 6 años (Cambrón, 2007), esto puede deberse a que el volumen es una variable compuesta por la altura y el diámetro, y si los valores de ganancia genética estimados para estas variables fueron bajos, se esperaría, por consecuencia, que el volumen también estuviera por debajo de lo esperado, en función de otros resultados estimados para esta variable.

Las familias que mostraron el mejor desempeño en las tres variables evaluadas, fueron la 22 y la 300 (Tabla III.3.9) y las del peor desempeño fueron la 162 y la 165.

Tabla III.3.9. Arreglo jerárquico de las familias que conformaron el ensayo de progenies de *Pinus greggii* de segunda generación con base en altura, diámetro y volumen.

Posición	Familia	ALT (m)	Familia	DAP (cm)	Familia	VOL (cm³)
1	22	6.66	300	9.19	300	3.26
2	300	6.57	22	8.69	22	2.92
3	25	6.47	137	8.65	122	2.78
4	129	6.40	122	8.63	20	2.74
5	106	6.37	20	8.63	110	2.71
6	10	6.35	11	8.60	11	2.69
7	135	6.34	110	8.45	10	2.67
8	110	6.29	10	8.41	137	2.64
9	122	6.22	106	8.40	106	2.64
10	11	6.22	14	8.27	25	2.51
11	115	6.21	25	8.20	14	2.47
12	20	6.15	129	8.03	135	2.44
13	137	6.05	200	7.97	129	2.37
14	165	6.02	135	7.93	200	2.28
15	200	6.01	165	7.83	165	2.24
16	14	6.00	115	7.47	115	2.00
17	162	4.88	162	6.88	162	0.33

Tabla III.3.10. Prueba de medias de Tukey para las familias que integran el ensayo de segunda generacion de *Pinus greggii* Engelm en el CDT de FIRA

Tukey	μ	# obs.	FAM
A	6.6630	64	22
A			
A	6.5703	59	300
A			
A	6.4769	13	25
A			
A	6.4090	10	129
A			
A	6.3761	23	106
A			
A	6.3585	54	10
A			
A	6.3470	10	135
A			
A	6.2998	40	110
A			
A	6.2255	64	11
A			
A	6.2200	17	122
A			
A	6.2150	8	115
A			
A	6.1552	62	20
A			
A	6.0508	59	137
A			
A	6.0246	61	165
A			
A	6.0174	61	200
A			
A	6.0039	31	14

III.3.3. Propuesta de manejo del ensayo

Se propone una propuesta de aclareo para el ensayo de segunda generación en dos etapas. En la primera etapa se realizará un aclareo genético con una intensidad de selección de 87% de los mejores individuos dentro de familia, en el que se eliminarán los peores individuos.

En la segunda etapa se realizará un segundo aclareo con una intensidad de selección de 35%. Si bien las mejores ganancias genéticas esperadas se obtuvieron con una intensidad del 20%, a la intensidad propuesta (35%) las ganancias genéticas esperadas no son demasiado inferiores (Tabla III.3.8). De esta manera, se mantendrán representadas todas las familias, se obtendrá una buena ganancia genética esperada y, al mismo tiempo, se mantendrá la mayor diversidad genética dentro del ensayo.

III.4. Conclusiones y recomendaciones

Se obtuvieron diferencias significativas entre familias de medios hermanos de *Pinus greggii* ($P = <0.001$) para altura (ALT), diámetro a altura de pecho (DAP) y volumen (VOL), a los 4 años de edad.

Los mayores valores de heredabilidad en *P. greggii* a la edad de 4 años, los presentaron la altura y el volumen, obteniendo el valor más bajo la variable diámetro.

Las mayores ganancias genéticas esperadas, a partir de las intensidades de selección aplicadas (20, 35, 40, 60, 80 y

87% de los mejores individuos por familia), se obtuvieron en el volumen ($\Delta G \leq 11.32\%$), posiblemente por ser una variable compuesta por la altura y el diámetro, las cuales fueron menores que el volumen ($\Delta G \leq 4.02\%$).

La mayor ganancia genética se obtuvo con una intensidad de selección de 20% ($\Delta G = 0.21$ m, 0.34 cm y 0.3 cm³), sin embargo, se recomienda usar una intensidad de selección cercana al 35%.

Las familias que mostraron el mejor desempeño fueron la 22 y la 300 y las del peor desempeño fueron la 162 y la 165.

Dado el bajo número de familias, se recomienda realizar la selección por árbol dentro de familia, tratando de mantener en el ensayo el mayor número de familias, de tal manera que se conserve la mayor variación genética posible.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados del estudio mostraron un control genético (h^2) de moderado a bajo en comparación con otros estudios similares, tanto de la misma especie, como de especies diferentes del mismo género, en las variables evaluadas (altura, diámetro y volumen) para ambos ensayos. La ganancia genética se comportó de manera semejante al control genético. Para la última medición (2009) en el caso del ensayo de primera generación ambos parámetros genéticos disminuyeron de manera significativa (Tablas II.3.3 y II.3.7).

La mayor heredabilidad en altura fue de $h^2_i = 0.18$ y $h^2_f = 0.46$ para el ensayo de primera generación a los dos años de edad y la menor fue a los 17 años.

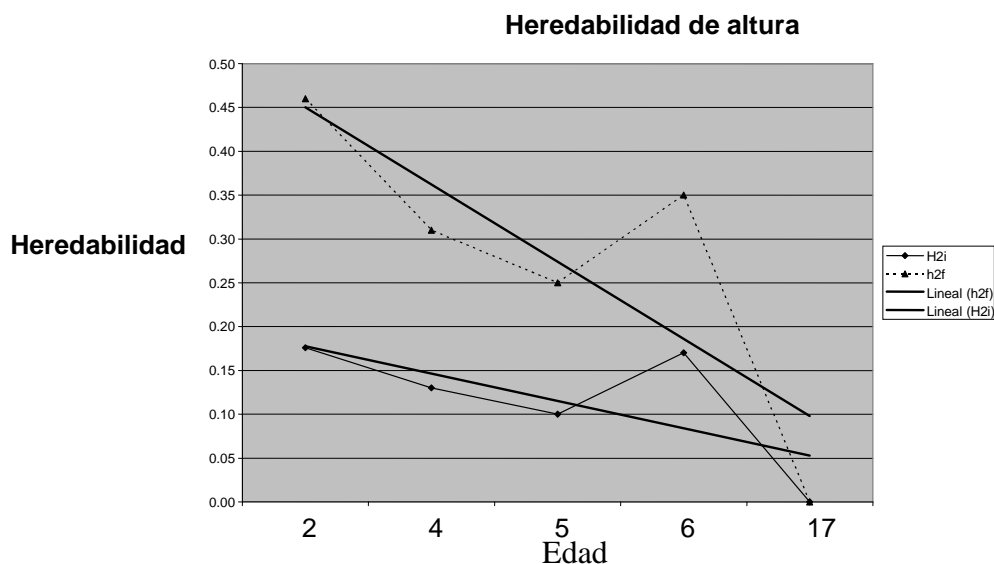


Figura IV.1.3. Heredabilidad en altura de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de dos, cuatro, cinco, seis y diecisiete años

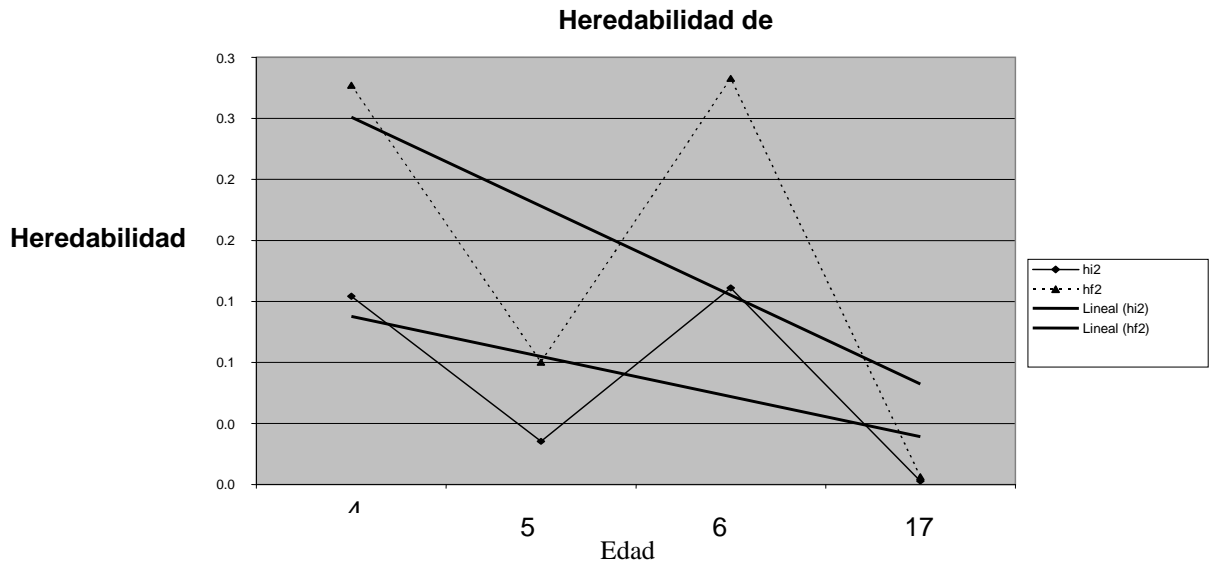


Figura IV. 1.4. Heredabilidad en diámetro de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de, cuatro, cinco, seis y diecisiete años.

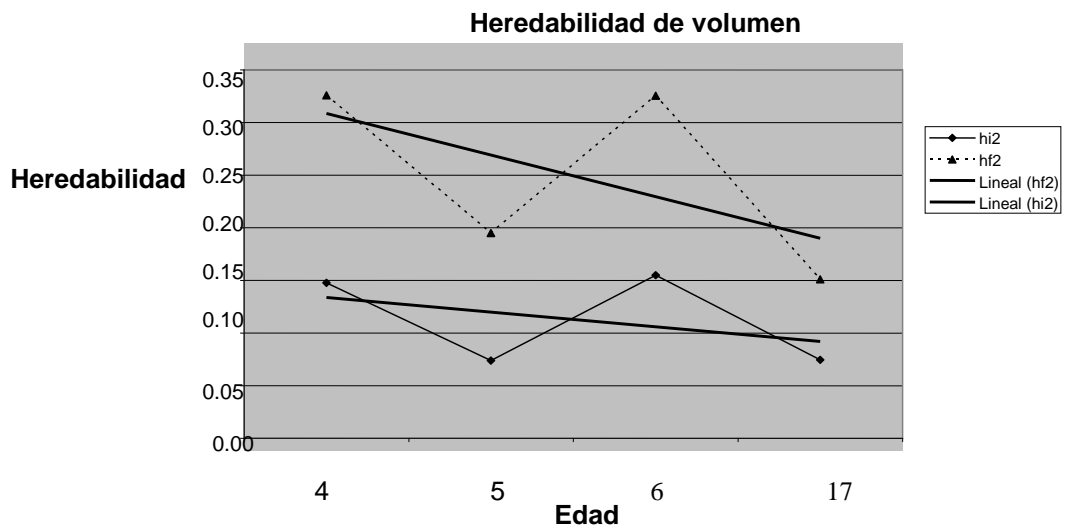


Figura IV. 1.5. Heredabilidad en diámetro de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* Engelm ubicado en el CDT de FIRA a las edades de, cuatro, cinco, seis y diecisiete años

A los cuatro años de edad el ensayo de segunda generación tuvo valores de heredabilidad similares a los del ensayo de primera generación a la edad de 4 años. La altura presentó valores de $h^2_i = 0.13$ y $h^2_f = 0.3$ (Figura VI.1.1), que fueron similares a los obtenidos en el ensayo de segunda generación a la misma edad ($h^2_i = 0.17$ y $h^2_f = 0.31$) (Figura III.3.5). Así mismo, el diámetro tuvo valores de $h^2_i = 0.15$ y $h^2_f = 0.29$ (Figura III.3.5)), mientras que el ensayo de primera generación presentó valores de $h^2_i = 0.15$ y $h^2_f = 0.33$ (Figura VI.1.2). El volumen presentó valores de $h^2_i = 0.17$ y $h^2_f = 0.31$, mientras que para el primer ensayo los valores para esta variable fueron de $h^2_i = 0.15$ y $h^2_f = 0.33$ (Figura VI.1.3) .

Aquí es importante señalar que la mayoría de los árboles del ensayo de primera generación, de los cuales se colectó semilla para establecer el ensayo de segunda generación, desaparecieron por muertes ocasionadas por agentes naturales; de los tres individuos originales de cada familia por bloque, actualmente quedan de 1 a 2; y mientras que el número de familias por bloque representadas en el ensayo era de 53, solo permanecen un número reducido de familias que oscila entre 19 y 26 por bloque

De los 156 individuos que originalmente había por bloque, quedan de 20 a 29 individuos por bloque, lo que, en general, equivale al 15% de la población original, y que los individuos que permanecen por familia no son, en todos los casos, los que representan los mejores valores de las variables evaluadas.

En el ensayo de primera generación la mayor ganancia genética en altura, diámetro y volumen se obtuvieron a los 4 años de edad con una intensidad de selección de 20% ($\Delta G_{ALT} = 5.81\%$; $\Delta G_{DAP} = 4.45\%$; $\Delta G_{VOL} = 13.02\%$) (Tabla II.3.8). En el ensayo de segunda generación, los mayores valores corresponden a una intensidad de selección de 20%, sin embargo, se recomienda usar una intensidad de selección cercana al 35% para asegurar que todas las familias estén representadas en el ensayo (Tabla III.3.8).

V. CONCLUSIONES GENERALES

Se encontraron diferencias significativas a nivel de familias en ambos ensayos para las variables altura, diámetro y volumen, excepto para el ensayo de primera generación a la edad de 17 años en la cual no se tienen diferencias.

El valor mayor de heredabilidad lo presentó la variable altura en ambos ensayos.

Para el caso del ensayo de primera generación la mayor ganancia genética en altura y diámetro se obtuvo a los 4 años de edad con una intensidad de selección de 20% y para volumen el valor más alto se tuvo a la edad de 17 años.

En el ensayo de segunda generación los mayores valores de ganancia genética se obtuvieron con una intensidad de selección del 20%, sin embargo, se recomienda usar una intensidad de selección cercana al 35% para asegurar que todas las familias estén representadas y mantener la mayor variación genética.

VI. LITERATURA CITADA

- Alba Landa, J., Aparicio Rentería, A., Zitácuaro Contreras, F.H., Ramírez García, E.O. 2005. Establecimiento de un ensayo de progenie de *Pinus oaxacana* Mirov en Los Molinos México, municipio de Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 7(2): 33-36.
- Alba Landa, J., Mendizábal Hernández, L. del C., Méndez Méndez, C. 2007. Potencialidad diferencial de captura de Carbono de una plantación de *Pinus greggii* Engelm. en Naolinco, Veracruz, Mexico. *Foresta Veracruzana* 9(2): 57-60.
- Arregui A., Espinel S., Aragonés A., Sierra R. 1999. Estimación de parámetros genéticos en un ensayo de progenie de *Pinus radiata* D. Don. en el País Vasco. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 8(1): 123-126.
- Azamar O., M., López Upton, J., Vargas Hernández, J., Plancarte, A. B. 2000. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus greggii* y su conversión a un huerto semillero. *In: Memorias del primer Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAPColegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, 8-10 de Noviembre de 2000.*
- Cambrón Sandoval V. H. 2007. Variación genética entre familias de medios hermanos de *Pinus oocarpa* Schiede, caracteres de crecimiento temprano y características anatómicas en un ensayo de progenies en Cuarayo, Municipio de Ario de Rosales, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. División de Estudios de Posgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. pp. 29-36.
- CONAFOR. 2006. Paquetes tecnológicos.
- Dean, C. A., Cotterill, P. P., Eisemann, R. L. 1986. Genetic parameters and gains expected from selection in *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in Northern Queensland, Australia. *Silvae Genetica* 35(5-6): 229-326.
- Falconer, D. S., Mackay, T. F. C. 1996. Introducción a la genética cuantitativa. Ed. Acribia. 469 p.

- Farfán Vázquez E. de G., Jasso Mata, J., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., Ramírez Herrera, C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehren. var. *ayacahuite*. Fitotecnia Mexicana. 25 (3): 239-246.
- FIRA 1991. Proyecto demostrativo forestal del Centro Demostrativo y de Capacitación Campesina Morelia (Resumen). Pp. 22.34.
- FIRA 1995. Programa General de Trabajo 1995 – 2000 (Resumen). Centro De Desarrollo Tecnológico “Morelia”. Morelia, Mich. Mexico. Pp. 36.63.
- García Magaña, J. J.; Muñoz Flores, H. J.; Sáenz Reyes, T.; García Sánchez, J. J. 2006. Plantaciones forestales en la Sierra Purhépecha de Michoacán. Ciencia Forestal 31(99): 7-26.
- Hernández Martínez, J., López Upton, J., Vargaz Hernández, J. J., Jaso Mata, J. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. *australis* en Hidalgo, México Revista Fitotecnia Mexicana 30(3): 241-246.
- Ignacio Sánchez, E., Vargaz Hernández, J. J., López Upton, J., Borja de la Rosa A. 2005. Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Agrociencia 39: 469-479.
- INEGI. 2005. Resultados del conteo. Informe final. Pp. 125-172.
- Ingeniería en Sistemas Agrosilvicolas S. A.1994. Proyecto Descriptivo y de Factibilidad Técnica y Económica para el Establecimiento de un Jardín Botánico en el Centro de Desarrollo Tecnológico “Morelia”.
- Jaquish, B. 1995. En: Vargas Hernández J., Bermejo Velásquez B[†]., Ledig F.T. (eds.) 2004. Manejo de Recursos Genéticos Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Segunda edición. México. pp. 91-98.
- Jayawickrama, K. J. S. 2001. Genetic parameter estimates for radiata pine in New Zealand and New South Wales: A synthesis of results. Silvae Genetica 50(2): 45-53.
- Johnson, G. R., Sniezko, R. A., Mandel, N. L. 1997. Age trends in *Douglas-fir* genetic parameters and implications for optimum selection age. Silvae Genetica 46(6): 349-358.

- Juárez Agis, A., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., Sáenz Romero, C. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziessi* de México. *Agrociencia*, 40(6): 783-792.
- Ledig, F. Th., Whitmore, J. L. 1981. Heritability and genetic correlations for volume, foxtails, and other characteristics of Caribbean pine in Puerto Rico. *Silvae Genetica* 30(2-3): 88-92.
- López Locia, M., Valencia Manzo, S. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques* 7(1): 37-46.
- López Upton, J., Mendoza Herrera, A. J., Jasso Mata, J., Vargas Hernández, J.J., Gómez Guerrero, A. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. *Madera y Bosques* 6(2): 81-94.
- Marín Quintero, M., Vargas Hernández, J. J., Jasso Mata, J., López Upton, J. 1999. Estimación de parámetros genéticos en dos ciclos de crecimiento de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. *Ciencia Forestal* 24(86): 21-22.
- Márquez Ramírez, J., Mendizábal Hernández L. del C. 2006. Producción de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y Golf. a los cinco años. *Foresta Veracruzana* 8(2): 13-18.
- Martínez Meier, A., Gallo, L., Mondito, V. 2009. Estrategia de mejoramiento genético de pino ponderosa y pino Oregon, para la región patagónica. INTA. <http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/forest/genetica11.pdf>. Agosto, 2009.
- Matziris, D. I. 2000. Genetic variation and realized genetic gain from aleppo pine tree improvement. *Silvae Genetica* 49(1): 5-10.
- Mendoza Briceño, M. A., Del Angel Perez, A. 1999. Perspectivas del manejo forestal en México. *Ciencia Forestal* 24(6): 5-6.
- Mexal, J., López Upton, J., Aldrete, A. 2005. Variación entre procedencias y respuesta a la poda química en plántulas de *Pinus greggii*. *Agrociencia*, 39(5): 563-574.

- Mora F., Zamudio F. 2006. Variabilidad genética del crecimiento en progenies selectas de *Pinus radiata*. *Ciencia Forestal* 16(4): 399-405.
- Observatorio Meteorológico de Morelia, 2006. Comunicación personal.
- Ramírez Herrera, C., J. Vargas Hernández, J., J. López-Upton, 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. *Acta Botánica Mexicana* 72: 1-16.
- Rebolledo Camacho, V., Mendizábal Hernández, L. del C., Alba Landa, J. 1999. Evaluación de familias comunes de *Pinus patula* Schl. Et Cham. Establecidas en dos ensayos de progenie. *Foresta veracruzana*. 1(02): 19-24.
- Rivas Torres, D. 2006. Evaluación de los recursos forestales. Unidad II. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 12-19.
- Rodríguez Laguna, R., Meza Rangel, J., Vargaz Hernandez, J., Jiménez Perez, J. 2009. Variación en la cobertura de suelo en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León. *Madera y Bosques* 15(1): 47-59.
- SAS Institute. 1996. SAS/STAT Computer Software. Release 6.12. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. U.S.A. 1094 p.
- Schermann, N., Adams, W. T., Aitken, S. N., Bastien, J. CH. Genetic parameters of stem form traits in a 9-year-old coastal Douglas-fir progeny test in Washington. *Silvae Genetica* 46(2-3): 166-170.
- SEMARNAT.
http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/Documents/pnf_2001_2006.pdf
f. Agosto, 2009.
- 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. Universidad de Chile. Nota técnica 14: 1-2.
- Valencia Manzano, S., Velasco García, M. V., Gómez Cárdenas, M., Ruiz Muñoz, M., Capo Arteaga, M. A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. *Fitotecnia Mexicana* 29(1): 27-32.

- Viveros Viveros, H., Sáenz Romero, C., López Upton, J., Vargaz Hernández, J. J. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia*. Vol. 39(05). 575-587.
- Viveros Viveros, H., Sáenz 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* 29(2): 121-126.
- Viveros-Viveros H., Sáenz-Romero C. y Guzmán-Reyna R. 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (4): 333 – 338.
- Zobel, B, and J. Talbert, 1992. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.