



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**IINSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**“VARIACIÓN GENÉTICA EN UN ENSAYO DE PROGENIES
DE *Pinus pringlei* SHAW EX SARGENT PROCEDENTES DE
ÁRBOLES SUPERIORES EN PRODUCCIÓN DE RESINA”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
(OPCIÓN FORESTAL)**

PRESENTA:

IRENKA FABIÁN PLESNÍKOVÁ

DIRECTOR DE TESIS:

**Doctor en genética forestal
NAHUM MODESTO SÁNCHEZ VARGAS**

MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO DE 2014

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Nahum M. Sánchez Vargas

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Alejandro Martínez Palacios

Dr. Cuauhtémoc Saenz Romero

Dr. José Cruz de León

Dr. María Luisa España Boquera

ALUMNA:

Irenka Fabián Plesníková

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores; quienes han tenido la generosidad invaluable y la paciencia necesaria para indicarme el atajo más corto para ignorar menos.

A mis amigos; cuyo entusiasmo se apareció en los momentos más críticos y cuando realmente lo ocupaba, siempre estaré en deuda con ustedes.

A mi familia; su apoyo y su cariño me acompañaron siempre, este logro también es suyo vaya como abono por el tiempo y la horas no compartidas.

Con la mayor gratitud, respeto y cariño.

DEDICATORIA

A todos mis profesores y amigos, con quienes algún día espero saldaré mis deudas, valga este modesto trabajo como un sincero homenaje, a todos Ustedes, quienes además de su apoyo supieron brindarme amistad y cariño. A quienes con su atinado consejo me guiaron por el camino del Método científico facilitándome la comprensión y el estudio de las ciencias forestales hasta hace poco para mi desconocida.

Con especial dedicatoria al Sr. Fredo Arias de la Canal, Fredo Arias King , al Ing. Alejandro Reyes Ramos y al Dr. Nahum M. Sánchez Vargas, por su infinita paciencia, su apoyo incondicional y su confianza.

Una dedicatoria a mis amigos resineros y a los que me han guiado en este camino, el Sr. Julio Rodríguez Fernández y el C.P. Federico Hernández Aten.

Nota al Lector

El Programa de Maestría en Producción Agropecuaria, sancionado por el H. Consejo Universitario con fecha 15 de Marzo de 2013; establece los lineamientos para su operación en su plan de estudios. Determinando en el artículo 28 de las reglas complementarias los requisitos para la obtención del grado que a la letra dice:

Artículo 28. Requisitos para la obtención del grado. Se otorgará el grado de “Maestría en Producción Agropecuaria”, con cualquiera de las siguientes opciones: “Agrícola”, “Pecuaria”, “Forestal”, “Acuícola” o “Agronegocios” al alumno que cumpla con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento General de Estudios de Posgrado y con los siguientes requisitos:

- a) Haber cubierto la totalidad de los créditos.*
- b) Haber entregado y defendido el proyecto de Tesis el cual se define de la siguiente manera:*

PROYECTO TERMINAL (TESIS). Es un informe académico que se deriva de los estudios realizados y, de acuerdo con el CONACYT (2006), es de carácter profesional, docente o empresarial, en el que el estudiante debe demostrar el dominio de las competencias adquiridas. Es un informe producto del trabajo que puede ser de carácter profesional, experimental o empresarial, según la modalidad escogida por el estudiante (ver Anexo 2), donde tiene que demostrar el dominio de las competencias adquiridas en el programa de la maestría y deberá responder a una problemática relacionada con el área y relevante en nuestro contexto a la cual contribuya a solucionar.

A su vez el anexo 2 de dicho plan de estudios es más específico al explicar las alternativas para la realización del proyecto de tesis, como a continuación se describe:

ANEXO 2

Alternativas para la realización del proyecto de tesis del PMPA

Debido a la diversidad de opciones y a los requerimientos de flexibilización de los planes de estudios de esta maestría, se plantean diferentes modalidades para el desarrollo del Proyecto de Tesis, el cual busca dar respuesta a las demandas del campo productivo, así como a los intereses y aptitudes del estudiante.

El objetivo de este anexo es clarificar las características generales de cada modalidad que sirvan de guía para a los Comités Revisores, conformados ad-hoc, quienes delimitarán los requisitos, exigencias, aspectos a abordar y los estándares mínimos de calidad requeridos. El proyecto de tesis podrá realizarse a través de alguna de las siguientes opciones:

1. ESTUDIO DE CASOS

Es un análisis de una entidad, fenómeno o unidad social de naturaleza particularista, descriptiva y heurística, basada en el razonamiento inductivo. Es particularista porque se centra en una situación, evento o fenómeno específico, el cual en sí mismo es importante por lo que revela del fenómeno y lo que pueda representar. Es descriptivo, porque el producto final es una representación rica y densa del fenómeno a investigar y es heurística, porque ilumina la comprensión del lector del fenómeno objeto de estudio, lo que puede llevar a descubrir nuevos significados, ampliar la experiencia o confirmar lo que se sabe (Pérez, 2001). El estudio de casos puede ser de una empresa, de una actividad productiva, etc.

Los estudios de casos cualitativos son estudios que involucran la exploración detallada a lo largo de un período de tiempo, lo suficientemente extenso, que permita el entendimiento profundo del objeto de estudio y del contexto en que éste se ubica, por medio de métodos múltiples de recolección de datos y múltiples fuentes de información altamente contextualizadas (Cresswell, 1998). Es aplicable en innumerables campos donde se trate de combinar eficazmente la teoría y la práctica.

2. ESTUDIOS ECONÓMICOS

Los estudios de este tipo son componentes importantes de la investigación acerca de la efectividad y establecimiento de políticas en los niveles federal, estatal y local en diversos tipos de sistemas educativos. Su propósito es entender los efectos de reformas o políticas en relación con sus costos, contribuciones de la educación al crecimiento económico y al desarrollo, así como acerca del entorno no monetario en educación (Coombs, 1994).

3. PROYECTOS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

Estos proyectos involucran un proceso de cambio, por medio del cual se intenta alcanzar los objetivos de la actividad productiva con los más altos niveles de logro. Se caracterizan por realizar una descripción especializada de un caso, organizado de acuerdo con las líneas del posgrado. Los aspectos básicos que debe contener el análisis serán: describir el contexto situacional del caso, los principales factores involucrados, los conceptos que se aplican con base en las perspectivas disciplinares actuales, la explicación de los elementos que justifiquen el qué, cómo y cuándo de la problemática, la delimitación de la problemática analizada donde se deben definir sus fronteras e identificar los factores o variables que ocasionan obstáculos en el desarrollo de la institución; así como el análisis de las interrelaciones de los factores o variables seleccionadas.

4. DISEÑO, DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN Y MEDICIÓN PRODUCTIVA

Consiste en el diseño, desarrollo y/o validación de un instrumento, técnica o estrategia de evaluación y/o medición, con sus propiedades, limitaciones y fortalezas reportadas; así como sus indicadores de confiabilidad y validez.

5. PROGRAMAS DE PREVENCIÓN Y/O INTERVENCIÓN

Consisten en el proyecto de atención, solución y/o prevención de problemas productivos, documentados a través de acciones que evidencien la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes durante el programa de estudio. Será necesario implementar el proyecto (aún en fases piloto o preliminares) y evaluar sus resultados.

6. OTROS

Cualquier otro proyecto propuesto del estudiante por el visto bueno de su asesor, aprobado por el Comité tutorial.

Por tanto este documento podrá ser de la naturaleza descrita con antelación y con ello cumplir con el objetivo y el enfoque profesionalizante del programa.

La Coordinación Académica del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria con opción terminal en la Áreas: Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Agronegocios.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	4
Nota al Lector	5
ÍNDICE DE CUADROS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN GENERAL	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN GENERAL	14
CAPÍTULO 1	20
EVALUACIÓN DE PROGENIES DE <i>Pinus pringlei</i> Y SU RELACIÓN CON LAS MADRES PRODUCTORAS DE RESINA	20
RESUMEN	20
SUMMARY	21
INTRODUCCIÓN	22
MATERIALES Y MÉTODOS	25
Establecimiento del ensayo en vivero	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	36
LITERATURA	37
CAPÍTULO 2	40
RELACIÓN ENTRE PROGENIES DE <i>Pinus pringlei</i> EN CAMPO Y ÁRBOLES-MADRE PRODUCTORES DE RESINA	40
RESUMEN	40
SUMMARY	41
INTRODUCCIÓN	42
MATERIALES Y MÉTODOS	44
Establecimiento del ensayo en campo	45
Análisis de datos	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
Ensayo de progenies en campo	49
Caracteres de los árboles-madre	52
Correlaciones entre variables	53
CONCLUSIONES	57

LITERATURA	58
DISCUSIÓN GENERAL.....	61
CONCLUSIONES GENERALES	63
LITERATURA GENERAL	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Estadísticas descriptivas por edad .	30
Cuadro 1.2 Cuadro de análisis de varianza.	33
Cuadro 1.3 Componentes de la varianza de familia y heredabilidades	34
Cuadro 1.4 Parámetros de regresión obtenidos de la relación entre los componentes de varianza dentro de familia y los valores fenotípicos de las madres	35
Cuadro 2.1 Valores promedio de dos ensayos de progenies y de los árboles progenitores.	49
Cuadro 2.2 Aportación, en porcentaje, de los componentes de varianza de familia, de interacción bloque-familia y del residual, a la varianza total; heredabilidades individuales y de medias de familias y significancia estadística de los cuadrados medios de familia obtenidos a diferentes edades de un ensayo de progenies establecido en el Encinal, Michoacán (Sitio 1).	51
Cuadro 2.3 Aportación, en porcentaje, de los componentes de varianza de familia, de interacción bloque-familia y del residual, a la varianza total; heredabilidades individuales y de medias de familias y significancia estadística de los cuadrados medios de familia obtenidos a diferentes edades de un ensayo de progenies establecido en la Calera, Michoacán (Sitio 2).	52
Cuadro 2.4 Correlaciones entre los promedios de altura y diámetro.	53
Cuadro 2.5 Correlaciones entre los valores de producción de resina, diámetro a la altura de 1.30 m del suelo, altura total, número de caras vivas, número de caras muertas y edad	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representación del diseño en vivero.....	25
Figura 1.2 Tubete con fondo cónico y con fondo plano.....	28
Figura 2.1 Representación de diseño en campo - sitio 1 (el encinal).....	46
Figura 2.2 Representación del diseño experimental en campo - sitio 2 (la calera).....	46
Figura 2.3 Caras vivas y muertas	47
Figura 2.4 Producción de resina por árbol-madre.	53

RESUMEN GENERAL

RESUMEN GENERAL

Michoacán ocupa el primer lugar en producción de resina en México, sin embargo, no existen programas de mejoramiento genético enfocados a mejorar la producción. Para evaluar la variación y el control genético de 33 familias de medios hermanos procedentes de árboles de *Pinus pringlei* señalados como buenos productores de resina en Michoacán, México, la Unión Nacional de Resineros (UNR) estableció dos ensayos de progenies en campo.

La planta producida en vivero se estableció como un ensayo de progenies completamente al azar en el vivero Ferreira-Yunnan, se encontraron diferencias significativas entre las familias ($P=0.0001$) en las variables evaluadas: altura, a los dos y cuatro meses, y diámetro, a los cuatro meses de edad. La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura que en diámetro ($\sigma^2_{FAM}\% \leq 7.27$; $\sigma^2_{FAM}\% = 12.06$). El control genético fue bajo a nivel individual ($h^2_i \leq 0.29$) y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias ($h^2_f \leq 0.74$), pero más alto en el diámetro ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$). El análisis de regresión mostró relación entre la varianza aditiva de las progenies con caracteres fenotípicos de los padres ($0.20 \leq r^2 \leq 0.43$) y los parámetros de regresión fueron positivos y significativos.

En los ensayos establecidos en campo se evaluó la altura (ALT) y el diámetro (DIA) a las edades de 0, 2, 4 y 24 meses después de la plantación. El primer ensayo de campo se estableció a 2075 msnm en El Encinal, Tzitzio, Michoacán (Sitio 1) y el segundo a 2479 msnm en La Calera, Hidalgo, Michoacán (Sitio 2). En el Sitio 1 se encontraron diferencias significativas entre las familias ($P \leq 0.006$) y las heredabilidades fueron bajas ($h^2_i \leq 0.21$; $h^2_f \leq 0.37$). En el Sitio 2 las diferencias entre familias no fueron significativas ($P \geq 0.148$) y hubo heredabilidades bajas ($h^2_i \leq 0.03$; $h^2_f \leq 0.08$). Las progenies establecidas en el Sitio 1, no mostraron parámetros de correlación positivos con los caracteres de los árboles-madre ($-0.49 \geq r \geq -0.60$). Las correlaciones fueron relativamente bajas en el Sitio 2 y positivas en ALT0 y DIA2 ($r \leq 0.51$). La producción de resina sólo tuvo relación negativa con el número de caras vivas ($r = -0.59$) y las otras variables evaluadas entre las madres presentaron correlaciones de altas a relativamente bajas ($0.48 \leq r \leq 0.91$).

Palabras clave: *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, heredabilidad, selección temprana, mejoramiento genético, especies resineras, relación varianza aditiva-caracteres fenotípico

ABSTRACT

The state of Michoacán ranks first in resin production in Mexico, nevertheless, there are no breeding programs focused on increasing the volume of resin production. A first attempt to assess the genetic variation and the genetic control of 33 families of half-sib families from trees that were selected as good resin producers is being made by the National Union of Resin Tappers (NURT), in México. The Union has recently established three half-sib progeny trails of Pringle's Pine trees. These pine trees are endemic to Mexico and produce the highest volume of resin per tree on average.

The first trail was established in the plant nursery Ferreira-Yunnan and there were measured two variables: height and stem diameter at two and four months after sown. The results of the measurements indicate that there were significant differences among the families ($P=0.0001$) in all evaluated traits. The contribution of the variance of the families to the total variance was lower regarding height than regarding diameter ($\sigma^2_{\text{FAM}\%}\leq 7.27$; $\sigma^2_{\text{FAM}\%}=12.06$). The genetic control was low at individual level ($h^2_i\leq 0.29$) and from relatively low to relatively high among the mean of families ($h^2_f\leq 0.74$), but higher in diameter ($h^2_i=0.48$; $h^2_f=0.89$). The regression analysis showed a relationship between the additive variance of the offsprings and the phenotypic characters of the parents ($0.20\leq r^2\leq 0.43$). The regression parameters were positive and significant.

In the trails established in field there were assessed also two growth traits, height and diameter at 0, 2, 4, and 24 months after the plantation. The first trail, El Encinal, Tzitzio, Michoacán (Site 1) was established at an altitude of 2075 meters above sea level and the second one, La Calera, Hidalgo, Michoacán (Site 2) at 2479 meters. At Site 1 the results indicate that there are significant differences among families ($P\leq 0.006$) and the heritabilities were low ($h^2_i\leq 0.21$; $h^2_f\leq 0.37$). At Site 2 the differences among families were not significant ($P\geq 0.148$) and there were low heritability ranges ($h^2_i\leq 0.03$; $h^2_f\leq 0.08$). The progenies established in Site 1, did not show any positive correlation with the traits of the progenitors ($-0.49\geq r\geq -0.60$). At Site 2 the correlations were relatively low and positive in ALT0 and DIA2 ($r\leq 0.51$). Resin production had only a negative correlation with the number of fresh wounds and the other traits assessed among the parents showed from high to relatively low correlations ($0.48\leq r\leq 0.91$)

Keywords: *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, heritability, early selection, breeding, resin producers species, additive variance and phenotypic traits relationship.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La resina, un producto natural no maderable de gran importancia en México y en el mundo. En glosario de términos forestales definen a la resina como “un jugo casi líquido pegajoso, odorífero inflamable y de sabor caliente y picante, que fluye de los pinos abetos, alerces y terenbintus. La más usada es la procedente de pino” (Padilla, 1987).

Las plantas, además del metabolismo primario presente en todos los seres vivos, poseen un metabolismo secundario que les permite producir y acumular compuestos de diferente naturaleza química. Estos compuestos se denominan metabolitos secundarios y son aquellos compuestos orgánicos sintetizados por el organismo que no intervienen directamente en el crecimiento o reproducción del mismo, por lo tanto, su ausencia no es fatal para la planta, ya que no intervienen en el metabolismo primario de las plantas. Los metabolitos secundarios presentan propiedades biológicas, muchos desempeñan funciones biológicas, muchos desempeñan funciones ecológicas entre la planta y su ambiente y se caracterizan por sus diferentes usos y aplicaciones. La resina es precisamente uno de estos compuestos, es un metabolito secundario con actividad antimicrobiana o antioxidante el cual es sintetizado por las coníferas como una protección química a las heridas, a la depredación por insectos, herbívoros vertebrados y al ataque por microorganismos patógenos, es decir, es una respuesta de la planta al estrés abiótico y biótico, un mecanismo de defensa.

Esta sustancia se produce en las células epiteliales, células excretoras, parenquimatosas de membranas delgadas no lignificadas (Fahn, 1974). Permanece sometida a altas presiones y se secreta y moviliza hasta los sitios de herida o de infección a través de estructuras anatómicas especializadas, los canales resiníferos. Los canales resiníferos son espacios intercelulares y no elementos verdaderos del xilema (Fahn, 1974). De su constitución depende la productividad resinífera de las especies de pino y la resistencia al ataque de los insectos. La ruptura de estos canales provoca que la resina fluya al exterior apareciendo en forma de pequeñas gotas de color transparente.

Es una sustancia constituida por ácidos resinosos disueltos en una mezcla de compuestos terpénicos, creada aproximadamente por un 90% de ácidos resínicos y un 10% de sustancias no resinosas. La fracción volátil está constituida por diterpenos, los cuales se clasifican de acuerdo a su estructura en dos series, abietano y pimárico. La fracción volátil tiene un efecto tóxico contra insectos y microorganismos y funciona como solvente para transportar la resina al sitio del daño. Cuando los terpenoides volátiles se exponen al aire, se evaporan y forman una masa semicristalina que polimeriza por oxidación para dar lugar a una barrera dura que sella la herida y con frecuencia atrapa insectos y microorganismos patógenos invasores (Phillips y Croteau, 1999).

A la resina se le da uso industrial, ya que se separa mediante un proceso de destilación por arrastre con vapor a presión ambiente en dos componentes, el sólido denominado brea o colofonia (60%-75%) y el líquido llamado aguarrás o trementina (15-25%) y agua.

La brea y el aguarrás tienen diferentes usos como materias primas para productos de uso diario. En la actualidad, la mayor parte de la brea se emplea en la obtención de más de 50 tipos de breas modificadas. Entre los principales usos de la brea destaca la producción de papel y cartón, adhesivos y pegamentos para calzado, tintas de impresión y gráficas, hule y llantas, revestimientos superficiales, barnices, pinturas, esmaltes, soldaduras, fósforos, redes de pesca, confección de flores, refrescos, goma de mascar industrializada y confitados. Asimismo, ha sido ampliamente utilizada en la elaboración de insumos de limpieza, controles biológicos, construcciones, embarcaciones, detergentes y jabón, aromatizantes, insecticidas, ceras y pulimentas.

El aguarrás se ha utilizado como disolvente de pinturas o como materia prima para la fabricación de pinturas y barnices, no obstante en la actualidad la aplicación más importante es la producción de materia prima para la fabricación de fragancias, aromas, alimentarios, vitaminas y resinas politerpénicas.

En cuanto a las zonas productoras de resina hay que destacar a la República Popular de China, la cual es la mayor productora con 77% del total mundial, seguida a distancia por Brasil con 9%, Indonesia, India, Nepal y Sri Lanka, conjuntamente en cuarto lugar con el 8% y México ocupando el quinto lugar con el 2%.

Los principales pinos productores de resina en México son: *Pinus oocarpa*, *Pinus pringlei*, *Pinus leiophylla*, *Pinus lawsonii* y *Pinus teocote*. Los estados donde se produce resina son Michoacán (90%), Estado de México, Jalisco y Oaxaca.

La importancia de la resina se advierte ya desde los tiempos ancestrales. Hace 7,500 años las tribus neolíticas de Irán utilizaban la resina para conservar sus vinos, al igual que hacían en la Antigua Grecia hace 3,000 años. La utilización de la resina en México data desde los tiempos prehispánicos y los de la Nueva España. Durante la colonización esta savia de pino jugó un papel de peso en el comercio entre Europa, Asia y América.

Sin embargo, hasta en los tiempos de la Independencia la resina comenzó a desempeñar el papel central en el desarrollo del país, especialmente, en el de ciertas industrias. No fue, sino hasta principios del siglo XX, cuando la industria de brea y aguarrás, los derivados básicos de la resina, comenzó a experimentar un auge a la par con el crecimiento económico del país. En Michoacán la industria resinera da inicio en 1918, gozando en la década de los 30 de la época de su mejor prosperidad.

Actualmente, para Michoacán, la resina natural es uno de los recursos forestales no maderables más significantes. No obstante y a pesar de su importancia social, económica y ecológica, en los últimos años la producción de la resina ha sufrido una disminución importante a consecuencia de varios factores. Esta situación está afectando gravemente a las familias que por tradición se dedican a extraer y recolectar la resina en sus comunidades y lugares de origen.

Por lo anterior, en el año 2011 la Unión Nacional de Resineros, en colaboración con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) inició un programa de mejoramiento genético enfocado a incrementar la producción de resina de dos especies de importancia resinera en

Michoacán: *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Los primeros esfuerzos realizados con *Pinus pringlei* constituyen el presente trabajo

En el Capítulo 1, se aborda el establecimiento, en condiciones de vivero, de un ensayo con 33 progenies de *Pinus pringlei*, seleccionadas como buenas productoras de resina, y donde se aprovechó el ensayo para evaluar el efecto de los dos tipos de tubetes que operativamente se usan en el vivero Ferreira-Yunnan de la UNR sobre el crecimiento de las plantas. En este ensayo se hicieron evaluaciones tempranas para determinar la variación de las 33 familias de medios hermanos, estimar la aportación de la varianza genética a la varianza total y parámetros genéticos tales como la heredabilidad. Además, se relacionaron caracteres de crecimiento temprano (diámetro y altura) con caracteres de los árboles-madre, obteniéndose buenas relaciones entre las alturas tempranas y la altura, el número de caras vivas y el diámetro de copa de los progenitores. Adicionalmente, el ensayo permitió evaluar el efecto de los dos tipos de tubetes que operativamente se usan en el vivero Ferreira-Yunnan de la UNR sobre el crecimiento de las plantas.

En el Capítulo 2, se detalla el establecimiento en campo de las plantas producidas en vivero en dos sitios diferentes: El Encinal (Sitio 1) y La Calera (Sitio 2). Se proporcionan datos promedio sobre las variables evaluadas en las progenies y se proporcionan valores de los árboles-madre, así como estadísticas descriptivas y valores de control genético a temprana edad (dos, cuatro y 24 meses de establecida la plantación). Se analiza la relación entre los caracteres de crecimiento en campo y los caracteres medidos en los árboles-madre, como la producción de resina obtenida durante un mes.



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

CARTA DE RECEPCIÓN

30 Enero del 2014

DR. NAHUM M. SÁNCHEZ VARGAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO (IIAF-UMSNH)
KM 9.5 CARR. MORELIA-ZINAPÉCUARO TARÍMBARO
MICHOCÁN 58880 MÉXICO

Con la presente se hace constar que se ha recibido el manuscrito propuesto para su publicación en la "REVISTA FITOTECNIA MEXICANA" intitulado:

EVALUACIÓN DE PROGENIES DE PINO PRINGLEI Y SU RELACIÓN CON LAS MADRES PRODUCTORAS DE RESINA

Cuyos autores son: Irenka Fabián Plesníková, Nahum M. Sánchez Vargas*, Cuauhtémoc Sáenz Romero, José Cruz de León, María Luisa España Boquera y Alejandro Martínez Palacios.

Para su evaluación, el manuscrito con clave: R2014013 será enviado a dos revisores técnicos y a un editor, cuyo dictamen se hará de su conocimiento tan pronto como esté disponible.

Para que este Comité pueda iniciar dicho proceso es requisito indispensable que nos regrese la forma anexa, debidamente contestada.

Para facilitar la comunicación del caso, le agradeceré que en toda correspondencia relacionada con este manuscrito anote la clave asignada. En adición, es necesario que oportunamente nos avise de cualquier cambio de domicilio y que nos proporcione su número telefónico, y correo electrónico.

Sin otro particular por el momento, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE


Victor A. González Hernández
Director de la RFM

Anexo
VAGH*/gdr

CAPÍTULO 1

EVALUACIÓN DE PROGENIES DE *Pinus pringlei* Y SU RELACIÓN CON LAS MADRES PRODUCTORAS DE RESINA

RESUMEN

Como estrategia para incrementar la producción de resina, la Unión Nacional de Resineros seleccionó 33 familias de medios hermanos procedentes de árboles de *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, señalados como buenos productores, como base para iniciar un programa de mejoramiento genético. Semillas de estos árboles fueron colectadas y sembradas directamente en envases en un diseño completamente al azar. Con la altura y el diámetro a la base del tallo de la planta medidos a los dos y cuatro meses después de la siembra. Se realizó un análisis de varianza y se estimó la heredabilidad a nivel individual y de medias de familias, encontrándose diferencias significativas entre las familias ($P = 0.0001$) en las variables evaluadas. La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura que en diámetro ($\sigma^2_{FAM}\% \leq 7.27$; $\sigma^2_{FAM}\% = 12.06$). El control genético en altura fue bajo a nivel individual ($h^2_i \leq 0.29$) y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias ($0.43 \leq h^2_f \leq 0.74$), y en general, más bajo que en diámetro ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$). El análisis de regresión mostró relación entre la varianza aditiva de las progenies con caracteres fenotípicos de los padres ($0.20 \leq r^2 \leq 0.43$) y los parámetros de regresión fueron positivos y significativos. Estos resultados indican que es posible hacer una selección de árboles con características óptimas en la etapa de vivero.

Palabras clave: *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, heredabilidad, selección temprana, mejoramiento genético, especies resineras, relación varianza aditiva-caracteres fenotípico

SUMMARY

Michoacán ranks first in resin production in Mexico, however, there are not breeding programs aimed to improve resin production. The National Union of Resin Tappers (NURT) has initiated a breeding program, which has established a first test in the nursery Ferreira-Yunnan to evaluate variation and genetic control of 33 half-sib families from *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent trees, identified as good resin producers in Michoacan, Mexico. Seeds were collected per tree and planted directly into containers in a completely randomized design. With height and diameter (at the base of the stem) of the plant measured at two and four months after planting, an analysis of variance was performed and heritability was estimated at individual and means of family level. Significant differences between families ($P = 0.0001$) in the variables evaluated were found. The contribution of family variance to the total variance was lower in height than in diameter ($\sigma^2_{FAM} \leq 7.27$; $\sigma^2_{FAM} = 12.06$). Genetic control in height was low at the individual level ($h^2_i \leq 0.29$) and relatively low to relatively high at mean of family level ($0.43 \leq h^2_f \leq 0.74$), and overall, lower than in diameter ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$). Regression analysis revealed a relationship between the additive variance of the progeny with parent phenotypic traits ($0.20 \leq r^2 \leq 0.43$) and the regression parameters were positive and significant. That indicates that one could make a selection in the nursery step.

Keywords: *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, heritability, early selection, breeding, resin producers species, additive variance and phenotypic traits relationship.

INTRODUCCIÓN

La resina natural de pino es un producto forestal no maderable que se obtiene de la secreción de estas coníferas, de ella se extraen dos derivados principales: la brea y el aguarrás, estos productos han sido utilizados en la industria alimentaria, de pinturas y de productos cosméticos desde hace muchos años (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1973). La explotación comercial de la resina se viene realizando en México desde el siglo pasado en la década de los años 1920's, principalmente en los Estados de Michoacán, Jalisco, México y Oaxaca (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1973).

No obstante, a pesar de que Michoacán ocupa el primer lugar en producción de resina, no existe un programa de mejoramiento genético que tenga como objetivo mejorar el potencial de producción de los árboles de especies resineras. Por lo tanto, en el año 2011 la Unión Nacional de Resineros (UNR), en colaboración con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM), inició un Programa de Mejoramiento Genético enfocado a mejorar la producción de resina de dos especies de importancia resinera en Michoacán, *Pinus pringlei* Shaw *ex* Sargent y *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltdl.

Actualmente, para el Estado de Michoacán, la resina natural sigue siendo uno de los recursos forestales no maderables más importantes, en una comunidad forestal puede significar hasta el 18.56 % del ingreso familiar (Francisco-Arriaga *et al.*, 2011), ya que hasta ahora, el aprovechamiento de este recurso se realiza de los bosques naturales y, si bien se cuenta con especies identificadas como buenas productoras de resina (Gutiérrez-

Jarquín *et al.*, 1973), no existen huertos productivos que sirvan como fuente de germoplasma de calidad mejorada ni plantaciones comerciales con este propósito.

Existen experiencias positivas en diversos países en las cuales se ha logrado mejorar la calidad de las plantaciones a través del mejoramiento genético en diferentes escalas. En España, se evaluó la producción precoz de resina (minirresinación) con el objetivo de mejorar genéticamente su producción en *Pinus pinaster*; los resultados obtenidos de alta heredabilidad estimada ($h^2_i=0.5$) auguran éxito en la obtención de genotipos superiores que permitirán aumentar los rendimientos de producción de resina (Tadesse *et al.*, 2001, a).

Dar un panorama de la situación internacional y nacional

En un huerto semillero de una especie resinera: *Pinus oocarpa*, establecido en Michoacán, se estimaron ganancias genéticas en caracteres de crecimiento entre un 10 y 15 % mayores a su generación progenitora (Cambrón-Sandoval, 2007).

Sin embargo, uno de los problemas asociados al mejoramiento genético de árboles forestales es el tiempo requerido para su evaluación, debido a la longevidad de estas especies (Zobel, 1978). Una opción para acelerar este proceso es la selección temprana, que consiste en seleccionar los genotipos con base en una característica que se manifieste en edades jóvenes y que esté correlacionada con la característica de interés en la edad adulta (Vargas-Hernández y Adams, 1992).

Otros trabajos evidencian que la composición de la resina se hereda (Squillace y Fisher, 1966) y que existe una fuerte correlación juvenil-adulto al comparar los resultados en progenies de *Pinus elliottii* (Squillace y Gansel, 1974) y una correlaciones positiva encontradas entre la producción de resina con la altura total y con el diámetro de los árboles

(Squillace, 1965; Goddard y Peters, 1965; Peters, 1971; Sehgal *et al.*, 1994). Estos resultados alientan el desarrollo de evaluaciones muy tempranas, que después podrán ser relacionadas con la producción de resina en etapas adultas.

Por lo arriba expuesto, los objetivos de este estudio fueron a) determinar, en condiciones de vivero, la variación genética de familias de medios hermanos de *Pinus pringlei* Shaw *ex* Sargent, procedentes de árboles seleccionados como buenos productores de resina y b) relacionar los caracteres medidos de las progenies con los caracteres medidos de los padres.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del ensayo en vivero

El germoplasma utilizado para el ensayo de progenies fue colectado por la Unión Nacional de Resineros (UNR) de 33 árboles seleccionados en los bosques del Ejido Pino Real, municipio de Charo, Michoacán, una localidad conocida por su alta producción de resina. La colecta de semillas se llevó a cabo en el mes de febrero de 2011 y las semillas se mantuvieron separadas por árbol. Los árboles se seleccionaron con base en su alta producción de resina, siguiendo el criterio de los dueños de las parcelas. De cada árbol se tomaron datos de ubicación, altura (ALT) y diámetro a la altura de 1.30 m del nivel del suelo (DAP). Las semillas se analizaron en el Banco de Germoplasma de la Comisión Forestal del Estado (COFOM), considerando variables como peso, pureza y porcentaje de germinación. Se aplicó un tratamiento pre-germinativo a la semilla, mismo que consistió en remojo con solución de *Trichoderma* sp. a concentración de 1×10^{11} conidias g^{-1} .

**Charolas de 49
cavidades**



Figura 1.1 Representación del diseño en vivero

De cada uno de los 33 árboles se sembraron 400 semillas directamente en contenedores de plástico rígido de 170 cm^3 , una semilla por contenedor, los cuales

estuvieron dispuestos en rejillas de 49 cavidades. Se probaron dos tipos de contenedores: uno con fondo cónico (Tubete 1) y otro con fondo plano (Tubete 2) (Figura 1). Se usó como sustrato una mezcla de Peat Moss® (50%), Vermiculita (20%) y Agrolita® (30%). Las plantas se ordenaron bajo un diseño completamente al azar usando como unidad experimental cada rejilla. El ensayo se realizó en las instalaciones del vivero forestal Ferreira-Yunnan de la UNR.

Antes de la siembra, la semilla previamente humedecida se peletizó con *Trichoderma harzianum*, a una concentración de 1×10^{12} conidias por gramo, utilizando 60 g para peletizar aproximadamente 20,000 semillas. Posteriormente se aplicó *Trichoderma* cada 22 días, foliarmente, con una solución de 20 litros de agua y 60 g de *Trichoderma* durante los primeros tres meses. Un mes después de la germinación se aplicó fertilizante ‘iniciador’ (N-P-K: 12-61-00) durante un mes, posteriormente se aplicó ‘desarrollo’ (N-P-K: 20-07-19) durante tres meses y por último, se aplicó finalizador (N-P-K: 4-25-35) (Landis, 1989).

Las variables evaluadas en las progenies fueron altura total hasta la yema principal a los dos (Altura2) y cuatro meses de edad (Altura4) después de la siembra con la ayuda de una regla graduada en mm, diámetro del tallo a la altura de la boca del tubete a los cuatro meses de edad (Diámetro4) con un vernier digital marca Mitutoyo (Japón). Las variables evaluadas en los árboles madre fueron: altura total (alt) con un clinómetro marca Sunnto®, diámetro a la altura del pecho (dap) con una cinta diamétrica marca Sunnto®, diámetro de copa (diacop) con un flexómetro marca Truper®, número de caras vivas (carviv), que es la

herida hecha al árbol de la que se está extrayendo resina, y número de caras muertas (carmue), que son las heridas que se han dejado sanar.

Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2004). La variación del crecimiento se determinó mediante la significancia estadística obtenida de un análisis de varianza realizado con el procedimiento GLM utilizando el siguiente modelo estadístico en el que T_i fue considerado con efectos fijos:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + F_j + TF_{ij} + e_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es el valor observado de la k -ésima planta de la j -ésima familia en el i -ésimo tipo de contenedor, μ es el valor promedio de la población; T_i es el efecto fijo del i -ésimo tipo de contenedor; F_j es el efecto aleatorio de la j -ésima familia [$E(F_j)=0$; $\text{Var}(F_j)=\sigma^2_F$]; TF_{ij} es el efecto aleatorio de interacción entre el i -ésimo tipo de contenedor y la j -ésima familia [$E(TF_{ij})=0$; $\text{Var}(TF_{ij})=\sigma^2_{TF}$]; e_{ijk} es el error aleatorio experimental [$E(e_{ijk})=0$; $\text{Var}(e_{ijk})=\sigma^2_e$].



Figura 1.2 Tubete con fondo cónico (Tubete 1) (izquierda) y con fondo plano (Tubete 2) (derecha).

Para evaluar el control genético de los caracteres de crecimiento se estimó la heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), usando las fórmulas (Zobel y Talbert, 1992):

$$h^2_i = 3\sigma^2_F / (\sigma^2_F + \sigma^2_{TF} + \sigma^2_e)$$
$$h^2_f = \sigma^2_F / [\sigma^2_F + (\sigma^2_{TF}/t) + (\sigma^2_e/tn)],$$

donde σ_F^2 , σ_{TF}^2 y σ_e^2 son las varianzas de familia, de la interacción entre contenedor y familia, y del residual, t es el número de contenedores y n es la media armónica del número de individuos en cada unidad experimental. Los componentes de la varianza fueron estimados con el procedimiento VARCOMP y el método de máxima verosimilitud restringida, utilizando el modelo estadístico antes mencionado.

La relación entre los caracteres medidos de las madres y de las progenies se realizó con el procedimiento REG usando los valores fenotípicos de las madres y la varianza aditiva obtenida dentro de la progenie de cada árbol con el procedimiento MIXED. Se utilizó el modelo:

$$Y_{ij} = \mu + x_i + e_w$$

donde $Y_{i(j)}$ es el valor observado de la k -ésima planta dentro la j -ésima familia, μ es el valor promedio de la población; x_i es el efecto aleatorio del i -ésimo individuo dentro de la j -ésima familia [$E(I_i)=0$; $\text{Var}(I_i)=\sigma_I^2$] y e_w es el error aleatorio experimental [$E(e_w)=0$; $\text{Var}(e_w)=\sigma_e^2$].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura promedio a los dos meses de edad fue de 2.08 cm; a los cuatro meses la altura promedio fue de 4.95 cm y el diámetro de 2.67 mm. Los coeficientes de variación fueron relativamente altos en las tres medidas tomadas ($21.91 \leq CV \leq 28.83$) y ligeramente mayor en altura que en diámetro (Cuadro 1.1). Estos valores fueron sólo ligeramente más bajos que los encontrados por Sánchez-Suárez (2011) en las mismas edades, en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl. ($27.36 \leq CV \leq 35.64$), otra especie de importancia resinera en Michoacán.

Cuadro 1.1 Estadísticas descriptivas por edad de un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* establecido en Morelia, Michoacán, México.

Edad	n	Media	ErrEst	Mínimo	Máximo	CV
Altura (cm)						
2	2660	2.08	0.01	0.3	7	28.83
4	2336	4.95	0.02	0.6	12	23.81
Diámetro (mm)						
4	2280	2.67	0.01	0.7	7.08	21.91

n, ErrEst y CV son el número de individuos medidos, el error estándar de la media y el coeficiente de variación.

El análisis de varianza mostró diferencias entre familias, parcialmente significativas ($P = 0.0529$) en altura, a la edad de dos meses, y significativas ($P = 0.0001$) en diámetro a

los cuatro meses. Debido a que la prueba de Tukey mostró diferencias significativas en altura a la edad de cuatro meses entre plantas sembradas en diferentes tubetes (Cuadro 1.2), se hizo un análisis de varianza por tipo de tubete, el cual mostró diferencias altamente significativas en altura ($P = 0.0001$). Estos valores de significancia fueron similares a los encontrados en otras especies mexicanas de pino, como *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Sánchez-Suárez, 2011), *Pinus oocarpa* Schiede (Viveros-Viveros *et al.*, 2005) y *Pinus hartwegii* Lindl. (Viveros-Viveros *et al.*, 2009).

La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 7.27$) que en diámetro ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} = 12.06$) (Cuadro 1.3), lo que se reflejó en un control genético bajo a nivel individual ($h^2_i \leq 0.29$) y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias ($h^2_f \leq 0.74$) (Cuadro 1.3), siendo alto en el diámetro ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$). Estos valores indican que sería mejor una selección a nivel de familias que de plantas individuales, lo cual es muy conveniente en etapas muy tempranas del desarrollo (Wu, 1998).

Las aportaciones de la varianza de familia a la varianza total encontradas en este estudio no son muy diferentes de las encontradas por Viveros-Viveros *et al.*, (2005) en *Pinus oocarpa* ($7.0 \leq \sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 8.5$), otra especie resinera; sin embargo, los valores de heredabilidad a nivel individual en el presente trabajo fueron ligeramente más altos ($0.28 \leq h^2_i \leq 0.39$; $0.69 \geq h^2_f \geq 0.76$) (Viveros-Viveros *et al.*, 2005). Por otro lado, la altura de planta en *Pinus patula* mostró valores de contribución de la varianza de familia a la varianza total ligeramente más altos ($14.0 \leq \sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 21.0$) que los reportados por Barnes

y Schweppenhauser (1978) en un estudio realizado con plantas de las mismas edades que las consideradas aquí, y las heredabilidades fueron nulas ($h^2 = 0.00$).

Cuadro 1.2 Análisis de varianza de un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* establecido en Morelia, Michoacán, México

F.V.	GL	CM	F	Pr>F	Tukey
Altura2					
Tubete	1	2.51	2.59	0.1178	P>0.05
Familia	31	1.80	1.8	0.0529	
Tbt*Fam	30	0.98	2.97	0.0001	
Altura4					
Tubete	1	14.91	3.63	0.0658	P<0.05
Familia	31	3.83	0.9	0.6158	
Tbt*Fam	31	4.26	3.25	0.0001	
Tubete 1					
Familia	31	3.55	2.53	0.0001	
Tubete 2					
Familia	31	4.72	3.86	0.0001	
Diámetro4					
Tubete	1	1.87	4.77	0.0364	P>0.05
Familia	31	3.52	8.86	0.0001	
Tbt*Fam	30	0.40	1.27	0.1517	

FV, GL, CM, F, Pr>F y Tukey son la fuente de variación, los grados de libertad, los cuadrados medios, el valor de F, la significancia del análisis de varianza y la probabilidad de la prueba de Tukey.

Cuadro 1.3 Componentes de la varianza de familia y heredabilidades de un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* establecido en Morelia, Michoacán, México.

	$\sigma^2_{FAM} \%$	$\sigma^2_{TBT*FAM} \%$	$\sigma^2_{ERR} \%$	h^2_i	h^2_f
Altura2	2.77	4.90	91.94	0.11	0.43
Tubete 1					
Altura4	4.29		95.71	0.17	0.58
Tubete 2					
Altura4	7.27		92.73	0.29	0.74
Diámetro4	12.06	0.40	87.54	0.48	0.89

σ^2_{FAM} , $\sigma^2_{TBT*FAM}$, σ^2_{ERR} , h^2_i y h^2_f son los componentes de varianza en términos porcentuales de familia, interacción tubete por familia y residual (σ^2_{ERR}), heredabilidad a nivel individual y de medias de familias (h^2_f).

Entre las variables cuyos parámetros de regresión fueron significativos ($P \leq 0.5$) (Cuadro 1.4), se encuentra la varianza de la altura de las progenies a la edad de dos meses, que mostró un parámetro de regresión positivo y parcialmente significativo ($P = 0.063$) con la altura de las madres, con un coeficiente de determinación bajo ($r^2 = 0.20$); con el número de caras vivas presentó el mayor ajuste ($r^2 = 0.43$); lo que indica que a mayor altura, habrá un mayor número de caras vivas porque los árboles también serán más grandes en diámetro.

Las variables de las madres mostraron un mejor ajuste con la varianza de la altura a la edad de dos y cuatro meses ($r^2 \leq 0.32$) (Cuadro 1.4), al relacionarse la altura y el número

de caras vivas de las madres. La relación significativa entre Alt4 y el diámetro de copa de las madres indica que las plantas con una mayor capacidad fotosintética (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2011) están relacionadas también con un mayor tamaño (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2013). y posiblemente con una mayor producción de resina.

Estos resultados indican que la altura de la planta en campo sería un buen parámetro de selección fenotípica y que es posible realizar una selección a edad muy temprana en etapa de vivero, por ejemplo, con base en la altura, lo que permitirá realizar pruebas masivas a bajo costo y una primera selección en esta etapa que reducirá el número de progenies probadas y maximizará las ganancias en campo (Vargas-Hernández *et al.*, 2003).

Cuadro 1.4 Parámetros de regresión obtenidos de la relación entre los componentes de varianza dentro de familia y los valores fenotípicos de las madres.

	$\sigma^2_{\text{ind-Alt2}}$				$\sigma^2_{\text{ind-Alt4-Tbt2}}$			
	β_1	ErrStd	Pr> t	r^2	β_1	ErrStd	Pr> t	r^2
alt	0.006	0.0030	0.063	0.20	0.046	0.017	0.01	0.32
carviv	0.032	0.0092	0.003	0.43	0.172	0.061	0.01	0.33
diacop					0.068	0.025	0.02	0.32

β_1 , ErrStd, Pr>|t|, r^2 , $\sigma^2_{\text{ind-Alt2}}$, $\sigma^2_{\text{ind-Alt4-Tbt2}}$, alt, carviv y diacop, son los parámetros de regresión, el error estándar y la significancia estadística del parámetro, el coeficiente de determinación, la varianza dentro de familia en altura a la edad de dos meses, la varianza dentro de familia en altura a la edad de cuatro meses en el tubete 2 con fondo plano, y la altura, el número de caras vivas y el diámetro de copa de los árboles-madre.

CONCLUSIONES

Los coeficientes de variación fueron relativamente altos en las tres medidas tomadas ($21.91 \leq CV \leq 28.83$) y ligeramente mayor en altura que en diámetro. El análisis de varianza, mostró diferencias significativas entre familias en las variables evaluadas ($P = 0.0001$). La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura ($\sigma^2_{FAM}\% \leq 7.27$) que en diámetro ($\sigma^2_{FAM}\% = 12.06$). El control genético fue bajo a nivel individual y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias, pero más alto en el diámetro ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$); que en la altura ($h^2_i \leq 0.29$; $h^2_f \leq 0.74$). Se encontraron parámetros de regresión positivos, significativos y coeficientes de determinación bajos ($r^2 \leq 0.33$), pero que permiten relacionar las variables de las progenies en vivero con las madres en campo. Se determinó una buena relación entre la altura de las progenies y la altura de las madres ($P_{\beta_1} \leq 0.063$; $r^2 \leq 0.32$).

LITERATURA

- Barnes, R. D. and M. A. Schweppenhauser. 1978. *Pinus patula* Schiede and Deppe progeny tests in Rhodesia genetic control of nursery traits. *Silvae Genetica* 27(5):200-204.
- 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- Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 137 p.
- Cambrón-Sandoval, V. H., M. L. España-Boquera, N. M. Sánchez-Vargas, C. Sáenz-Romero, J. J. Vargas-Hernández e Y. Herrerías-Diego. 2011. Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2): 253-260.
- Cambrón-Sandoval, V. H., N. M. Sánchez-Vargas, C. Sáenz-Romero, J. J. Vargas-Hernández, M. L. España-Boquera, e Y. Herrerías-Diego. 2013. Genetic parameters for seedling growth in *Pinus pseudostrobus* families under different competitive environments. *New Forests* 44: 219-232.
- Francisco-Arriaga, F., H. R. Guerrero García-Rojas, A. Kido-Cruz, M. T. Cortés-Zavala. 2011. Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 8(1): 107-117.
- Goddard E., Peters,W. J. 1965. Progress in the selection and breeding of superior trees to upgrade gum yield. *Naval stores review*. February 4-5, 13, 15.

- Gutiérrez Jarquín, T., J. M. González Carrillo, M. A. Rodríguez Peña, C. J. Espinoza de los Monteros, R. Villarreal Cantón, L. Vela Gálvez, F. Patiño Valera, S. Narváez Quintero, J. Herrera Rodríguez y M. Carrillo García. 1973. Situación de la industria resinera en México. Pub. Esp. No. 11. INIF-SARH. México. 138 p.
- Landis, T.D. 1989. The container tree nursery manual. Agriculture handbook, USA.
- Mass, J. 1976. Método de Pica de Corteza con estimulantes. Bosques y Fauna. 1:25-60. México.
- Peters, W. 1971. Variation in oleoresin yielding potential of selected Slash Pines. Forest Science 17(3): 306-307.
- Sánchez-Suárez, F. 2011. Variación y parámetros genéticos de familias de medios hermanos procedentes de árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de Michoacán. Tesis de Maestría. Programa de Maestría Institucional en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 59 p.
- SAS INSTITUTE, INC. 2004. SAS / STAT Guide For Personal Computers, Version 9.1, Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.
- Sehgal, R. N., Chauhan, S. K., Koshla P. K., 1994. Variation in cone, seed and nursery characters in high resin yielding trees selected in Himachal Pradesh. Indian Journal of Forestry 17: 105-111.
- Squillace, A. E. y Fisher G. S. 1966. Evidences of the inheritance of turpentine composition in slash pine. *U.S.F.S. Res. Pap. NC-6*, p. 53-59.
- Squillace, A. E. 1965. Combining superior growth and timber quality with high gum yield in slash pine. *Proc. 8th South. Conf. Forest Tree Improvement*, p. 73-76.

- Squillace, A. E. y Gansel, C. R. 1974. Juvenile-mature correlations in slash pine. *For. Sci.* 20:225-229.
- Tadesse W., Auñón F.J., Pardos J.A., Gil, L., Alía R. 2001. Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 10 (1).
- Tadesse W., Auñón F.J., Prada M.A., Gil L., Alía R., Pardos J.A., 2001. Mejora Genética de *Pinus pinaster* Ait. para la Producción de Miera W. Departamento de Mejora Genética y Biotecnología, INIA. Tesis.
- Viveros-Viveros, Héctor, Sáenz-Romero Cuauhtémoc y Guzmán-Reyna, Rubén Ricardo. 2005. Control Genético de Características de Crecimiento en Vivero de Plántulas de *Pinus oocarpa*. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(4): 333–338.
- Viveros-Viveros, Héctor, Sáenz-Romero Cuauhtémoc, J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, G. Ramírez-Valverde y A. Santacruz-Varela. 2009. Altitudinal genetic variation in *Pinus hartwegii* Lindl. I: Height growth, shoot phenology, and frost damage in seedlings. *For. Ecol. Manag.* 257; 836-842.
- Zobel, B. 1978. Progress in breeding forest trees-The problem of time. 27th Ann. Sess. Nat. Poultry Breed. Roundtable, Kansas City, Mo., pp. 18-29.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1992. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limusa S.A., México. 545 p.

CAPÍTULO 2

RELACIÓN ENTRE PROGENIES DE *Pinus pringlei* EN CAMPO Y ÁRBOLES-MADRE PRODUCTORES DE RESINA

RESUMEN

La especie *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent, s endémica de México, destaca por su alto valor biológico y económico por su alta tolerancia a daños, su madera de excelente calidad para la elaboración de productos sólidos de madera, y su alta capacidad como productor de resina. Las plantaciones con fines de resinación, con planta de calidad mejorada, que disminuyen la presión sobre el bosque natural y permiten una opción altamente rentable. Con el objetivo de contribuir a mejorar el potencial de producción de la especie *Pinus pringlei* en el estado de Michoacán, se establecieron dos ensayos, el primero en la localidad “El Encinal” (2075 msnm), municipio de Tzitzio y el segundo en “La Calera” (2479 msnm), municipio de Hidalgo, en Michoacán, en los que se midieron las variables de altura total hasta la yema de la planta y diámetro a la altura de la base de la planta. En el Sitio 1 se encontraron diferencias significativas entre las familias ($P \leq 0.006$) y en general la heredabilidades fueron bajas ($h^2_i \leq 0.21$; $h^2_f \leq 0.37$), no obstante que en el Sitio 2 las diferencias entre familias no fueron significativas ($P \geq 0.148$), hubo heredabilidades bajas ($h^2_i \leq 0.03$; $h^2_f \leq 0.08$). Las progenies establecidas en el Sitio 2, no mostraron parámetros de correlación positivos con los caracteres de los árboles-madre ($-0.49 \geq r \geq -0.60$). Las correlaciones fueron relativamente bajas en el sitio El Encinal y positivas en ALT0 y DIA2 ($r \leq 0.51$). La producción de resina sólo tuvo relación negativa con el número de caras vivas ($r = -0.59$) y las otras variables evaluadas entre las madres presentaron correlaciones de altas a relativamente bajas ($0.48 \leq r \leq 0.91$).

Palabras clave: *Pinus pringlei*, correlación progenitor-progenie, heredabilidad, ensayo de progenies en campo.

SUMMARY

The pine tree *Pinus pringlei* is endemic to Mexico and is considered of a high economical and biological value, because this pine presents a high tolerance to any damage, and its wood is of excellent quality especially for making solid wooden products, and last but not least it produces a considerable amount of resin. In the State of Michoacán there are not commercial plantations established with high quality trees aimed for resin tapping. In the future these plantations could firstly lessen the pressure under which the natural forest is nowadays, and secondly they will provide a profitable option for the forest-dwellers. There were established two trials in field in two different geographical localities. The first is called “El Encinal” (2075 masl), at the municipality of Tzitzio, the second one at “La Calera” (2479 masl), at the municipality of Hidalgo of the State of Michoacán in Mexico. There were found significant differences among families in the first trial at Site 1 ($P \leq 0.006$) and in general the heritabilities were low ($h^2_i \leq 0.21$; $h^2_f \leq 0.37$). At Site 2 there were not found significant differences among families ($P \geq 0.148$) and the heritabilities were low ($h^2_i \leq 0.03$; $h^2_f \leq 0.08$). The offspring established at Site 2, did not show any positive correlations with the any of the growth traits of their parents ($-0.49 \geq r \geq -0.60$). The correlation values were relatively low at Site 1 and positive in ALT0 and DIA2 ($r \leq 0.51$). The volume of resin of the parents showed a negative correlation with the number of fresh wounds ($r = -0.59$) and other assessed characteristics among the parent trees presented correlations going from high to relatively low ($0.48 \leq r \leq 0.91$).

Key words: *Pinus pringlei*, parent-offspring correlation, heritability, field progeny trial.

INTRODUCCIÓN

La resina natural es el producto forestal no maderable más antiguo que ha utilizado la humanidad de todos los productos que se obtienen a partir de los árboles (Ciesla, 2009). Es un exudado que de manera natural o por incisión fluye del tronco de algunas especies de los géneros *Pinus* y *Abies*. Se trata de un compuesto químico orgánico (metabolito secundario) que produce la planta como defensa contra el ataque de distintas especies de insectos-plaga (*Dendroctonus* spp. e *Ips* spp.), de patógenos y contra daños físicos.

De la resina se extraen dos derivados principales: la brea y el aguarrás, estos productos son materia prima para una vasta gama de productos que forman parte de nuestra vida diaria, entre los que se destacan la fabricación de jabón, papel, adhesivos, productos farmacéuticos, cosméticos, alimentos y pinturas (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1973). Hoy se produce en el mundo más de un millón de toneladas de oleoresina de pino (Cunningham, 2012).

En la actualidad las coníferas son la fuente más conocida y utilizada de resina, especialmente los pinos duros (diploxylon). Hasta ahora, en México el aprovechamiento de este recurso se realiza de los bosques naturales y, si bien se cuenta con 11 especies resineras identificadas como buenas productoras de resina (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1973), no existen huertos productivos que sirvan como fuente de germoplasma de una calidad mejorada. El presente proyecto es parte de un programa de mejoramiento genético desarrollado por la Unión Nacional de Resineros, A. C., que tiene como objetivo mejorar el

potencial de producción de la especie *Pinus pringlei*, ya que en Michoacán es la especie que más produce resina por unidad de superficie.

Una forma de avanzar rápidamente en el mejoramiento genético en producción de resina es mediante la selección temprana, que consiste en seleccionar los genotipos con base en una característica que se manifieste en edades jóvenes y que esté correlacionada con la característica de interés en la edad adulta (Vargas-Hernández y Adams, 1992). Squillace y Fisher (1966) han aportado pruebas de que la composición de la resina se hereda. También se ha comprobado una fuerte correlación juvenil-adulto al comparar los resultados en progenies de *Pinus elliottii* a los 10 años de edad, evaluados por minirresinación (Squillace y Gansel, 1974) y a los 18 años resinados por el método convencional (Tadesse *et al.*, 2001, b). En Brasil, se ha verificado que es posible estimar la producción de resina en plantas de *Pinus elliottii* a un año de edad (Ferreira, 2011).

La producción de resina de un árbol está en función, no solamente de sus caracteres genéticos, sino también del diámetro a la altura del pecho (DAP, 1.30 m del suelo) y el tamaño y vigor de la copa (Mass, 1976); los resultados obtenidos por Squillace (1965), Goddard y Peters (1965), Peters (1971) y Sehgal *et al.* (1994) evaluando diferentes especies productoras de resina, han confirmado correlaciones positivas encontradas entre la producción de resina con la altura total y con el diámetro de los árboles.

Por lo anteriormente expuesto, los objetivos de este estudio fueron evaluar, en condiciones campo, (a) la variación genética, (b) el control genético de los caracteres de

crecimiento en familias de medios hermanos de *Pinus pringlei* Shaw, y (c) la relación entre las progenies y los árboles-madre seleccionados como buenos productores de resina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento del ensayo en campo

De los árboles de *Pinus pringlei* seleccionados como buenos productores de resina, de los cuales se colectó el germoplasma para la producción de la planta destinada para los ensayos, las variables evaluadas fueron: altura total (ALT) con un clinómetro marca Suunto[®], diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta diamétrica marca Suunto[®], diámetro de copa (DIACOP) con un flexómetro marca Truper[®], edad (EDAD) con una muestra de madera obtenida con un taladro de Pesler marca Suunto[®] en donde se contaron los anillos de crecimiento; número de caras vivas (CARVIV), que es la herida hecha al árbol de la que se está extrayendo resina, y número de caras muertas (CARMUE), que son las heridas que se han dejado sanar, y producción de resina (PROD), que es la resina que se recolectó del 17 de junio al 7 de julio de 2011; la recolección se hizo cada semana en recipientes nuevos, de plástico, de un litro de capacidad, se pesó y se mantuvo separada por árbol en recipientes con capacidad de 20 L.

Los ensayos de progenies en campo se establecieron en dos sitios: La Calera (2075 msnm) y El Encinal (2479 msnm) con una superficie aproximada de una hectárea en cada uno. En los sitios seleccionados se limpiaron las áreas y se realizó el trazo para la plantación, a 2.0 x 3.0 m con una densidad de 1,645 plantas por hectárea, con dos fajas de protección, bajo un diseño de bloques completos al azar con ocho repeticiones. En cada bloque se representaron las 33 familias a evaluar incluyendo la testigo, proveniente de un árbol no seleccionado como buen productor de resina. Se realizó un único replante después de un mes de establecidos los ensayos. Se le aplicó insecticida (Furadán[®] granulado) para el control de plagas (chancharra – *Atta* sp. y gallina ciega – *Phyllophaga* sp.).

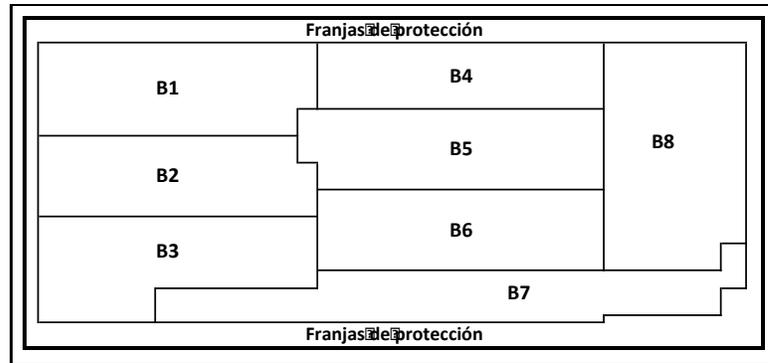


Figura 2.1 Representación de diseño en campo - Sitio 1 (El Encinal). B1 a B8: bloques al azar.

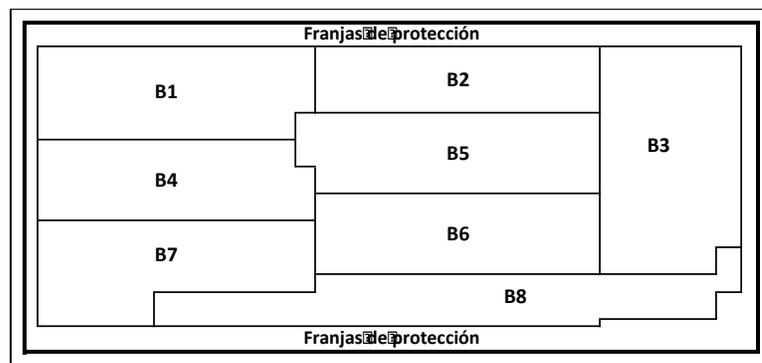


Figura 2.2 Representación del diseño experimental en campo - Sitio 2 (La Calera). B1 a B8: bloques al azar.

Las variables evaluadas fueron: altura total hasta la yema principal (ALT) y diámetro del tallo a la altura de la base de la planta (DIAM). Las mediciones se realizaron con la ayuda de una regla graduada y un vernier electrónico marca Truper[®]. Después de establecer los ensayos se realizó una primera medición de las plantas (medición 0) y posteriormente a los dos (medición 1) y cuatro (medición 2) meses de establecida la plantación. A los 24 meses sólo se midió el sitio La Calera, porque el sitio El Encinal se perdió a causa de insectos plaga. Las mediciones de las variables evaluadas (altura total

hasta la yema principal (ALT), diámetro del tallo a la altura de la base de la planta (DIAM), se realizaron con la ayuda de una regla graduada y un vernier electrónico marca Truper®.



Figura 2.3. Caras vivas (izquierda) y caras muertas (derecha) en árboles silvestres de *Pinus pringlei*.

Análisis de datos

La variación del crecimiento se determinó mediante la significancia estadística obtenida de un análisis de varianza realizado con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2004) utilizando el siguiente modelo:

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

donde Y_{ijk} es el valor observado de la k -ésima planta 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 aleatorio de la j -ésima familia [$E(F_j)=0$; $\text{Var}(F_j)=\sigma^2_F$]; BF_{ij} es el efecto aleatorio de interacción entre el i -ésimo bloque y la j -ésima familia [$E(BF_{ij})=0$; $\text{Var}(BF_{ij})=\sigma^2_{BF}$]; e_{ijk} es el error aleatorio experimental [$E(e_{ijk})=0$; $\text{Var}(e_{ijk})=\sigma^2_e$].

Para evaluar el control genético de los caracteres de crecimiento se estimó la heredabilidad en sentido estricto a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f), usando las fórmulas:

$$h^2_i = 3\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{bf} + \sigma^2_e)$$

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

donde σ^2_f , σ^2_{bf} y σ^2_e son varianzas de familia, de interacción entre bloque y familia, y del residual, b y n son el número de bloques y la media armónica del número de individuos por familia. Los componentes de la varianza fueron estimados con el procedimiento VARCOMP de SAS (SAS Institute, 2004) y el método REML, utilizando el modelo estadístico antes mencionado.

Se relacionaron las variables del ensayo de campo con las medidas en los árboles-madre mediante la correlación producto-momento de Pearson con el procedimiento CORR.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayo de progenies en campo

Los valores promedio oscilaron en altura, en El Encinal (Sitio 1) de 8.19 cm en ALT0 a 9.64 cm en ALT4, y de 4.55 mm en DIA0 a 8.35 mm en DIA4. En La Calera (Sitio 2) los promedios fueron ligeramente mayores en altura y diámetro, con valores de 8.45 cm en ALT0 a 9.98 cm en ALT4, y de 4.68 mm en DIA0 a 9.52 en DIA4 (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Valores promedio de dos ensayos de progenies establecidos en Michoacán y de los árboles progenitores.

Edad (meses)	El Encinal		La Calera		PROD (g)	Progenitores				
	ALT (cm)	DIAM (mm)	ALT (cm)	DIAM (mm)		ALT (m)	DAP (cm)	CARVIV (núm.)	CARMUE (núm.)	DIACOP (m)
0	8.19	4.55	8.45	4.68						
2	8.98	6.36	8.93	7.48						
4	9.64	8.35	9.98	9.52						
12	-	-	19.51	22.56						
Promedio	-	-	-	-	1439.5	24.39	69.89	2.56	13	11.94

ALT=altura total, DIAM=diámetro a la base del tallo, PROD=producción de resina, DAP=diámetro a la altura de 1.30 m sobre el suelo, CARVIV=número de caras en proceso de resinación, CARMUE=número de caras que han dejado de resinarse, DIACOP= diámetro de copa.

En El Encinal (Sitio 1), tanto en altura como en diámetro se encontraron diferencias significativas entre las familias ($P \leq 0.006$) (Cuadro 2.2). La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue baja en todas las variables evaluadas y menor en altura ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 4.61$) que en diámetro ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 25.68$) (Cuadro 2.2). Esta cantidad de varianza se reflejó en las heredabilidades que también fueron bajas ($0.12 \leq h^2_i \leq 0.21$; $0.26 \leq h^2_f \leq 0.37$), excepto en DIA2 ($h^2_i = 0.78$; $h^2_f = 0.66$) (Cuadro 2.2) posiblemente debido a que *Pinus pringlei* es una especie cespitosa (Dvorak, 2000), y estas, en los primeros años de vida, presentan mayor desarrollo en diámetro.

Los valores de aportación de la varianza de familia encontrados en este estudio, fueron menores a los encontrados por Soto-Ochoa (2014) en *Pinus pseudostrobus* a los 3 y 7 meses de edad en campo ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 46.05$) y por Farfán-Vázquez *et al.* (2002) en *Pinus ayacachuite* a los tres años de edad en campo ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 19.88$), y mayor a lo encontrado por Sáenz-Romero *et al.* (2006) a los 2.5 años de edad en poblaciones de *Pinus oocarpa*, ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 0.00$), otra especie considerada buena productora de resina. Los valores de heredabilidad estimados en este estudio, son más bajos que los encontrados en *Pinus pseudostrobus* por Soto-Ochoa (2014) a los 3 y 7 meses de edad en campo ($0.86 \leq h^2_i \leq 0.93$; $0.65 \leq h^2_f \leq 0.69$); por Sánchez-Suárez (2011) en *Pinus pseudostrobus* entre el primer y quinto año en campo ($0.15 \leq h^2_i \leq 0.38$; $0.51 \leq h^2_f \leq 0.71$); así como a los encontrados por Farfán-Vázquez *et al.* (2002) en *Pinus ayacachuite* a los tres años de edad en campo ($h^2_i \leq 0.32$; $h^2_f = 0.71$).

Cuadro 2.2 Aportación, en porcentaje, de los componentes de varianza de familia (σ_f^2 %), de interacción bloque-familia (σ_{bf}^2 %) y del residual (σ_e^2 %), a la varianza total; heredabilidades individuales (h_i^2) y de medias de familias (h_f^2) y significancia estadística de los cuadrados medios de familia (**P**) obtenidos a diferentes edades de un ensayo de progenies establecido en El Encinal, Michoacán (Sitio 1).

Variable	σ_f^2 %	σ_{bf}^2 %	σ_e^2 %	h_i^2	h_f^2	P
ALT2	4.61	0.78	93.32	0.14	0.29	0.006
ALT4	3.72	0.09	91.85	0.12	0.26	0.0038
DIA2	25.68	1.43	71.44	0.78	0.66	<0.0001
DIA4	6.97	2.69	87.99	0.21	0.37	0.0017

En La Calera (Sitio 2), ninguna de las variables evaluadas presentó diferencias significativas entre familias ($P \geq 0.197$) (Cuadro 2.3). Sin embargo, se pudo estimar un control genético bajo, en altura y diámetro, cuando se detectó variación aditiva ($0.01 \leq h_i^2 \leq 0.03$; $0.02 \leq h_f^2 \leq 0.08$) (Cuadro 7.2.). Estos valores fueron mucho más bajos a los encontrados en El Encinal (Cuadro 2.2), y la aportación a la varianza total por parte de la varianza de familias, fueron similares a los encontrados por Sáenz-Romero *et al.* (2006) cuando analizó la variación de familias en poblaciones de *Pinus oocarpa*.

Los parámetros genéticos obtenidos en este sitio, pueden ser el reflejo de un efecto de estrés ambiental, ya que este ensayo se encuentra establecido en el límite superior

reportado para la especie (2500 msnm) (Eguiluz, 1982). Cabe destacar que los árboles progenitores fueron seleccionados a una altitud promedio de 2246 msnm.

Cuadro 2.3 Aportación, en porcentaje, de los componentes de varianza de familia (σ^2_f %), de interacción bloque-familia (σ^2_{bf} %) y del residual (σ^2_e %), a la varianza total; heredabilidades individuales (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) y significancia estadística de los cuadrados medios de familia (**P**) obtenidos a diferentes edades de un ensayo de progenies establecido en La Calera, Michoacán (Sitio 2).

Variable	σ^2_f %	σ^2_{bf} %	σ^2_e %	h^2_i	h^2_f	P
ALT2	0.59	0.33	97.39	0.02	0.05	0.197
AIT4	0.00	0.00	96.70	0.00	0.00	0.505
AIT24	0.91	6.23	86.14	0.03	0.08	0.148
DIA2	0.00	0.00	91.04	0.00	0.00	0.670
DIA4	0.00	0.00	84.95	0.00	0.00	0.364
DIA24	0.20	3.69	79.41	0.01	0.02	0.204

Caracteres de los árboles-madre

Los árboles-madre tuvieron una ALT promedio de 24 m, DAP de casi 70 cm y DIACOP de 11.94 m (Cuadro 2.1), el número de caras vivas fue de 2.5 y el de caras muertas de 13, y la producción fue de casi 1.5 kg (Cuadro 2.1). Los árboles-madre que más produjeron resina fueron los números 25, 33, 34, 7 y 30 ($PROD \geq 3.0$ kg), y los que

produjeron menor cantidad de resina fueron los números 27, 20 y 8 (PROD < 0.5 kg) (Figura 2.1). Esto pone en evidencia que no todos los árboles señalados por los Ejidatarios como buenos productores de resina, lo fueron.



Figura 2. 1 Producción de resina por árbol-madre de *Pinus pringlei* en rodales naturales.

Correlaciones entre variables

Los caracteres de los árboles madre no tuvieron relación significativa con los de la progenie en el sitio La Calera (sitio 2) a ninguna de las edades evaluadas ($P < 0.05$). En el sitio El Encinal se encontraron correlaciones negativas y relativamente bajas entre la altura al inicio de la plantación y la edad de los árboles madre ($r = -0.49$), pero positiva con relación al diámetro de copa ($r = 0.48$); el diámetro al inicio de la plantación mostró una correlación negativa con respecto al DAP y la edad de los árboles-madre ($r \geq -0.60$) (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4 Correlaciones entre los promedios de altura (ALTO) y diámetro (DIA0) al momento de la plantación y diámetro a los dos

meses de edad (DIA2) de las progenies del sitio El Encinal (Sitio 1) y el diámetro a la altura de 1.30 m del suelo (DAP), el número de caras vivas (CARVIV), edad y diámetro de copa (DIACOP) de los árboles-madre. Valores con $P \leq 0.05$.

	DAP	CARVIV	EDAD	DIACOP
ALTO			-0.49	0.48
DIA0	-0.49		-0.60	
DIA2		0.51		

Dentro de las características evaluadas en los árboles-madre, la producción de resina (PROD) estuvo correlacionada negativamente con el número de caras vivas ($r = -0.59$) (Cuadro 2.5), lo que implica que un árbol grande que puede tener más caras para resinar, no producirá por ello más resina. El diámetro (DAP) estuvo relacionado positivamente con la altura total, el número de caras muertas y la edad, es decir, los árboles de mayor edad tendrán mayor diámetro y mayor número de caras muertas. La altura total estuvo relacionada positivamente con el número de caras vivas, porque a mayor tamaño, hay una mayor capacidad de soportar un mayor número de caras vivas. La edad estuvo relacionada positivamente con el número de caras muertas, es decir, árboles más viejos han sido más resinados y presentan un mayor número de caras que ya no son resinables. No se encontró relación entre producción de resina y diámetro de los progenitores, aunque en algunos trabajos realizados se ha encontrado relación entre estas dos características (Mass, 1976).

Cuadro 2.5 Correlaciones entre los valores de producción de resina (PROD), diámetro a la altura de

1.30 m del suelo (DAP), altura total (ALT), número de caras vivas (CARVIV), número de caras muertas (CARMUE) y edad. Valores con $P \leq 0.05$.

	ALT	CARVIV	CARMUE	EDAD
PROD		-0.59		
DAP	0.48		0.50	0.91
ALT		0.63		
EDAD			0.47	

Un periodo normal de resinación comprende las cuatro estaciones de año. No obstante, en este caso no fue posible cuantificar el volumen de resina a lo largo del año por problemas de inseguridad en la zona donde se encuentran los árboles seleccionados. El mejor período de tiempo para resinar abarca 150 días, entre el 1 de marzo y el 1 de julio, es decir, el 47% respecto del periodo total de resinación (365 días) es el periodo de mayor flujo de resina (Ruel *et al.*, 1998).

Si se considera que solamente se evaluaron 30 días durante la época de mayor producción, se podría inferir que de marzo a julio se tendría un equivalente a $1.55 \leq \text{PROD} \leq 21.6$ kg de resina por árbol, y si se considera que en los siete meses restantes del año, cuando la producción de resina es menor se obtiene el 50% de lo que se puede obtener en los 5 meses de la zafra, entonces se podría estimar un volumen anual de $2.32 \leq \text{PROD} \leq 32.4$ kg por árbol.

Por lo anterior, no hay duda que entre los árboles seleccionados se encuentran algunos altamente productores de resina, como tampoco la hay que en el Estado de Michoacán *P. pringlei* es la especie que más resina produce. Un estudio realizado en el periodo de 1968 – 1972 muestra que el rango de producción de la especie va de 3.38 a 6.47 kg por cara por árbol con una media de 4.43 kg por cara, por árbol, por año (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1979). En dicho estudio, la media obtenida en la evaluación de 11 especies de pinos resineros fue de 3.5 kg por cara, por árbol, por año y la especie *P. pringlei* resultó ser la de mayor volumen de producción de los árboles seleccionados. En este estudio, los árboles 7 y 30 rebasaron este volumen de producción en tan sólo un mes, incluso el valor medio asignado para *P. pringlei* que corresponde a 4.43 kg (Gutiérrez-Jarquín *et al.*, 1979) lo alcanzó el árbol 30.

CONCLUSIONES

En el Sitio 1 las heredabilidades fueron bajas ($h^2_i \leq 0.14$; $h^2_f \leq 0.37$), excepto en DIA2 ($h^2_i \leq 0.77$; $h^2_f \leq 0.66$), posiblemente debido a que *Pinus pringlei* es una especie cespitosa, y estas, en los primeros años de vida, presentan mayor desarrollo en diámetro. Las correlaciones fueron relativamente bajas en el sitio El Encinal y positivas a partir de la edad de dos meses (Cuadro 2.4 y 2.5).

En el sitio La Calera las heredabilidades fueron prácticamente nulas ($h^2_i \leq 0.03$; $h^2_f \leq 0.08$), posiblemente debido a limitantes ambientales. Las progenies establecidas en el sitio La Calera, no mostraron parámetros de correlación positivos con los caracteres de los árboles-madre.

La producción en resina fue muy variable ($0.31 \leq \text{PROD} \leq 4.33$ kg) y tuvo relación negativa con el número de caras vivas ($r = -0.59$). Tan solo uno de ellos (árbol 30) alcanzó en un mes el volumen promedio anual estimado para esta especie (4.43 kg), sin embargo algunos árboles tuvieron una producción por debajo de la esperada para ser considerados buenos resinador.

LITERATURA

- Ciesla, William, M. 2009. Forests and Forest Plants – Vol. II. Products of Resin Processing. Editors: John N. Owens, H. Gyde Lunday.
- Cunningham, A. 2012. *Pine resin tapping techniques used around the world*. Pine Resin: Biology, Chemistry and Applications, 2012: 1-8 ISBN: 978-81-308-0493-4. Editors: Arthur G. Fett-Neto and Kelly C. S. Rodrigues-Corrêa.
- Dvorak, W. S. (2000). Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative. Central America & Mexico Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE). p. 176 -187.
- Eguiluz, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. Ciencia Forestal. 38 (7): 30-44.
- Goddard E., Peters, W. J. 1965. Progress in the selection and breeding of superior trees to upgrade gum yield. Naval stores review. February 4-5, 13, 15.
- Gui, Ferreira A. 2011. Oleoresin yield of *Pinus elliottii* Engelm seedlings. Brazilian Journal of Planta Physiology, vol.23 no. 4, Print version ISSN 1677-0420. Short communication.
- Gutiérrez Jarquín, T., J. M. González Carrillo, M. A. Rodríguez Peña, C. J. Espinoza de los Monteros, R. Villarreal Cantón, L. Vela Gálvez, F. Patiño Valera, S. Narváez Quintero, J. Herrera Rodríguez y M. Carrillo García. 1973. Situación de la industria resinera en México. Pub. Esp. No. 11. INIF-SARH. México. 138 p.
- Gutiérrez-Jarquín Tirso, *et al.* 1979. La producción de resina en pinares de ciertas áreas del Estado de Michoacán bajo condiciones experimentales. Ciencia Forestal. Revista del Instituto nacional de Investigaciones Forestales, no. 21, vol. 4, septiembre - octubre, México. p. 17 - 56.

- Farfán Vásquez, E. De G., Jasso Mata J., Lopez Upton, J., Vargas – Hernández, J. J., Ramírez Herrera, C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* Ehrenvar. *Ayacahuite. Revista Fitotecnia Mexicana*, julio – septiembre, año/vol. 25, número 003. p. 239 – 246.
- Mass, J. 1976. Método de Pica de Corteza con estimulantes. *Bosques y Fauna*. 1:25-60. México.
- Peters, W. 1971. Variation in oleoresin yielding potential of selected Slash Pines. *Forest Science* 17(3): 306-307.
- Ruel, J.J., Ayres, M.P., Lorio, P.L. 1998. Loblolly pine responds to mechanical wounding with increased resin flow. *Can. J. For. Res. - Rev. Can. Rech. For.* 28, Canada. p. 596 - 602.
- Saézn-Romero, C., Guzmán Reyna, R., Rehfeldt, G. E. 2006. Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México. Implications for seed zoning conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*. 340 – 350 p.
- Sánchez-Suárez, F. 2011. Variación y parámetros genéticos de familias de medios hermanos procedentes de árboles fenotípicamente superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. de Michoacán. Tesis de Maestría. Programa de Maestría Institucional en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México 59 p.
- SAS INSTITUTE, INC. 2004. SAS / STAT Guide For Personal Computers, Version 9.1, Raleigh, North Carolina, USA. 1028 p.

- Sehgal, R. N., Chauhan, S. K., y Koshla P. K., 1994. Variation in cone, seed and nursery characters in high resin yielding trees selected in Himachal Pradesh. *Indian Journal of Forestry* 17: 105-111.
- Soto Ochoa, M.G. 2014. Determinación de la variación y parámetros genéticos de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en vivero y campo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Squillace, A. E. y Fisher G. S. 1966. Evidences of the inheritance of turpentine composition in slash pine. *U.S.F.S. Res. Pap. NC-6*, p. 53-59.
- Squillace, A. E. 1965. Combining superior growth and timber quality with high gum yield in slash pine. *Proc. 8th South. Conf. Forest Tree Improvement*, p. 73-76.
- Squillace, A. E. y Gansel, C. R. 1974. Juvenile-mature correlations in slash pine. *For. Sci.* 20:225-229.
- Tadesse W., Auñon F.J., Prada M.A., Gil L., Alía R., Pardos J.A., 2001. Mejora Genética de *Pinus pinaster* Ait. para la Producción de Miera W. Departamento de Mejora Genética y Biotecnología, INIA. Tesis.
- Vargas-Hernandez, J. y Adams, W. T. 1992. Age-age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-fir. *For. Sci.* 38(2):467-478.

DISCUSIÓN GENERAL

En vivero las plantas tuvieron un incremento promedio de 2.87 cm entre el segundo y cuarto mes de crecimiento (Cuadro 1.1), mientras que en campo el incremento fue de aproximadamente la mitad del obtenido en vivero (Sitio 1 = 0.66 y Sitio 2 = 1.05) (Cuadro 2.1). Por otra parte, cuando en vivero el diámetro a los cuatro meses de edad alcanzaba 2.67 mm (Cuadro 1.1), en campo tuvo un incremento en diámetro cercano a este valor tan solo en dos meses (Sitio 1 = 1.99 y Sitio 2 = 2.04) (Cuadro 2.1). El diámetro es una característica adaptativa de especies que crecen en climas extremos de sequía y frío, en el que un mayor desarrollo en diámetro refleja un mayor vigor de la planta y por lo tanto, mayor posibilidad de supervivencia (Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda, 2004).

El análisis de varianza, tanto en vivero como en campo, pusieron en evidencia un posible efecto inhibitor del ambiente en la diferenciación del crecimiento entre las familias; cuando las plantas se establecen en condiciones ambientales extremas, respecto al área de distribución natural (Isik *et al.*, 2000). En vivero, en donde las plantas tuvieron condiciones óptimas de luz, temperatura y nutrimentos, hubo diferencias significativas entre familias en las variables evaluadas ($P \leq 0.053$) (Cuadro 1.2), así como en el Sitio 1 de campo ($P \leq 0.006$) (Cuadro 2.2), pero el Sitio 2, ubicado en el límite superior reportado para la especie (2500 msnm) (Eguiluz, 1982), en donde las condiciones ambientales son extremas para ella, no hubo diferencias significativas entre familias en ninguna de las variables evaluadas ($P \geq 0.197$).

En el ensayo de vivero la aportación de la varianza de familia a la varianza total ($\sigma^2_{FAM}\% \leq 7.27$) fue ligeramente mayor a la obtenida en El Encinal ($3.72 \leq \sigma^2_{FAM}\% \leq 4.61$)

y mayor que la de La Calera ($0.00 \leq \sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 0.91$). La aportación del diámetro en vivero fue menor ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 12.06$) que el valor máximo alcanzado en EL Encinal ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 25.68$), pero mayor que el alcanzado en La Calera ($\sigma^2_{\text{FAM}\%} \leq 0.20$). El diámetro presentó mayor variación con respecto al total, debido a que *Pinus pringlei* es una especie cespitosa y presenta mayor desarrollo en diámetro que en altura durante los primeros años de vida (Dvorak, 2000). Las aportaciones de varianza de familias se vieron reflejadas en los valores de heredabilidad, ya que las mayores heredabilidades se encontraron en el vivero ($0.11 \leq h^2_i \leq 0.48$; $0.43 \leq h^2_f \leq 0.89$) y en el Sitio 1 de campo ($0.12 \leq h^2_i \leq 0.78$; $0.26 \leq h^2_f \leq 0.66$), pero en el Sitio 2 los valores fueron muy bajos ($0.00 \leq h^2_i \leq 0.03$; $0.00 \leq h^2_f \leq 0.08$).

Entre las variables de las progenies en edades juveniles que tuvieron algún grado de relación con las madres fueron la altura en vivero con la altura, el número de caras vivas y el diámetro de copa de las madres ($0.006 \leq \beta_1 \leq 0.061$; $0.003 \leq P \leq 0.063$; $0.20 \leq r^2 \leq 0.43$); Así como la altura y el diámetro en campo con el DAP, número de caras vivas, la edad y el diámetro de copa de las madres ($-0.60 \leq r \leq 0.51$). Las relaciones encontradas indican que es posible realizar selección temprana tanto en etapa de vivero como en etapa de campo. Esto permitirá ampliar las pruebas a un gran número de familias en etapa de vivero, hacer una primera selección, y reducir significativamente el tamaño de las pruebas en campo.

La única variable entre los árboles-madre que tuvo relación con la producción de resina, fue el número de caras vivas ($r = -0.59$), sin embargo, esta variable se encontró positivamente relacionada con las variables medidas en vivero ($r^2_{\sigma^2_{\text{ind-Alt4-Tbt2}}} = 0.32$) y campo ($r_{\text{DIA2}} = 0.51$), lo que abre la posibilidad de hacer una selección indirecta, en edades tempranas, con relación a la cantidad de producción de resina de las madres.

CONCLUSIONES GENERALES

En el presente estudio buscó como primer objetivo determinar, en condiciones de vivero y campo, la variación genética de familias de medios hermanos de *Pinus pringlei*.

El análisis de varianza del ensayo en vivero, también mostró diferencias significativas entre familias en las variables evaluadas ($P = 0.0001$). La aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura que en diámetro. En El Encinal la aportación de la varianza de familia a la varianza total fue baja en todas las variables evaluadas y menor en altura ($\sigma^2_{FAM\%} \leq 4.61$) que en diámetro ($\sigma^2_{FAM\%} \leq 25.68$). En La Calera la aportación de la varianza de familia a la varianza total fue más baja en altura ($\sigma^2_{FAM\%} \leq 7.27$) que en diámetro ($\sigma^2_{FAM\%} = 12.06$), lo que se reflejó en un control genético bajo a nivel individual ($h^2_i \leq 0.29$) y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias ($h^2_f \leq 0.74$), siendo alto en el diámetro ($h^2_i = 0.48$; $h^2_f = 0.89$).

En vivero la altura promedio a los dos meses de edad fue de 2.08 cm, a los cuatro meses fue de 4.95 cm y diámetro de 2.67 mm. Los coeficientes de variación fueron relativamente altos en las tres medidas tomadas ($21.91 \leq CV \leq 28.83$) y ligeramente mayor en altura que en diámetro. En los ensayos de campo los valores promedio en El Encinal (Sitio 1) de 8.91 cm en altura, y de 6.45 mm en diámetro. En La Calera (Sitio 2) los promedios fueron ligeramente mayores en altura y diámetro, encontrándose valores desde 9.21 cm en altura, y de 7.10 mm en diámetro.

El segundo objetivo fue determinar el control genético de los caracteres de crecimiento tanto en vivero como en campo. En vivero dicho control fue bajo a nivel

individual y de relativamente bajo a relativamente alto a nivel de medias de familias, pero más alto en el diámetro. Las heredabilidades en los ensayos de campo fueron bajas en el Sitio 1 (El Encinal) ($h^2_i \leq 0.14$; $h^2_f \leq 0.37$), excepto en DIA2 ($h^2_i \leq 0.77$; $h^2_f \leq 0.66$). En el Sitio 2 (La Calera) las heredabilidades fueron prácticamente nulas ($h^2_i \leq 0.03$; $h^2_f \leq 0.08$). El factor ambiental tuvo una gran influencia sobre el desarrollo de las progenies de este ensayo, por encontrarse en el límite superior para esta especie (2500 msnm).

Así mismo, el presente trabajo buscó, como tercer objetivo, relacionar los caracteres medidos de las progenies con los caracteres medidos de los padres, por lo que en el ensayo de vivero se encontraron parámetros de regresión positivos y coeficientes de determinación bajos, pero que permitieron relacionar los caracteres medidos de las progenies con los caracteres medidos de los padres, en el Sitio 1 (El Encinal) estas correlaciones fueron relativamente bajas y positivas a partir de la edad de dos meses, ya que las condiciones agroecológicas de este ensayo fueron mejores que las del ensayo en el Sitio 2 (La Calera), en donde no se observó ningún tipo de correlación.

Entre las variables cuyos parámetros de regresión fueron significativos ($P \leq 0.5$), se encuentra la varianza de la altura de las progenies a la edad de dos meses, que mostró un parámetro de regresión positivo y parcialmente significativo ($P = 0.063$) con la altura de las madres, con un coeficiente de determinación bajo ($r^2 = 0.20$); con el número de caras vivas presentó el mayor ajuste ($r^2 = 0.43$); lo que indica que a mayor altura, habrá un mayor número de caras vivas porque los árboles también serán más grandes en diámetro.

Dentro de las características evaluadas en los árboles-madre, la producción de resina (PROD) estuvo correlacionada negativamente con el número de caras vivas ($r = -0.59$), el diámetro (DAP) estuvo relacionado positivamente con la altura total, el número de caras muertas y la edad ($0.48 \leq r \leq 0.91$). La altura total estuvo relacionada positivamente con el número de caras vivas, porque a mayor tamaño, hay una mayor capacidad de soportar un mayor número de caras vivas. La edad estuvo relacionada positivamente con el número de caras muertas, es decir, árboles más viejos han sido más resinados y presentan un mayor número de caras que ya no son resinables. En general, la producción de resina de los árboles progenitores fue muy variable ($0.31 \leq \text{PROD} \leq 4.33$ kg), aunque fue evaluada en un periodo relativamente corto (un mes).

LITERATURA GENERAL

- Ávalos García, A. Pérez-Urria Carril, E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)* .Serie Fisiología Vegetal. 2 (·): 119-145, SSN: 1989-3620.
Disponibile en:
<http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/viewFile/798/814>.
- Cattuse Arauz, J.D. 2001. Diámetro y Número de Canales Resiníferos en *Pinus oocarpa* Schiede. Variaciones a dos alturas y dos profundidades dentro del árbol y entre árboles de dos localidades.
- Eguiluz, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal*. 38 (7): 30-44.
- Francisco-Arriaga, F., H. R. Guerrero García-Rojas, A. Kido-Cruz, M. T. Cortés-Zavala. 2011. Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 8(1): 107-117.
- Gutiérrez Jarquín, T., J. M. González Carrillo, M. A. Rodríguez Peña, C. J. Espinoza de los Monteros, R. Villarreal Cantón, L. Vela Gálvez, F. Patiño Valera, S. Narváez Quintero, J. Herrera Rodríguez y M. Carrillo García. 1973. Situación de la industria resinera en México. *Pub. Esp. No. 11. INIF-SARH. México*. 138 p.
- Isik, F., Keskin S. and McKeand S. E. 2000. Provenance variation and provenance site interaction in *Pinus brutia* Ten.: Consequences of defining breeding zones. *Silvae Genetica* 49: 213-223.
- Jiménez Sepúlveda, G. *et al.* 2003. La participación de los metabolitos secundarios en la defensa de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. Diciembre,

- año/vol. 21, número 21, número 003, Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Ciudad Obregón, México, pp. 355-363.
- Padilla García, H. 1987. Glosario Práctico de Términos Forestales. Editorial Limusa, Ciudad de México, México, p. 216.
- Phillips M.A. y Croteau R.B. 1999. Resin based defenses in conifers. Trends in Plant Science, Volume 4, Issue 5, Pages 184-190.
- Sánchez-Sánchez, O., y Hernández-Zepeda, C. 2004. Estudio de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. Foresta Veracruzana 6: 1-6.
- Fahn, A. 1974. Anatomía Vegetal. H. Blumes Ediciones. Madrid, España. pp. 393.