



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**“SELECCIÓN TEMPRANA DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE EX SCHLTDL POR
MINIRESINACIÓN”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
(OPCIÓN FORESTAL)**

PRESENTA:

ALEJANDRO REYES RAMOS

DIRECTOR DE TESIS:

**Doctor en Genética Forestal
NAHUM MODESTO SÁNCHEZ VARGAS**

MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE DE 2016

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Nahum M. Sánchez Vargas

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Cruz de León

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Alejandro Martínez Palacios
Dr. Jorge Enrique Ambriz Parra
Dr. Philippe Christian Marc Lobit

ALUMNO:

Alejandro Reyes Ramos

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores;

A mi director de Tesis, **Dr. Nahum M. Sánchez Vargas**, con su ejemplo y dedicación, me ha participado de sus proyectos de investigación y ha alentado en mí, el interés por la Genética Forestal, te expreso un sincero agradecimiento.

Al **Dr. Alejandro Martínez Palacios, Dr. José Cruz de León, Dr. Philippe Christian Marc Lobit, Dr. Jorge Enrique Ambriz Parra, Dr. Arturo del Río y M.C. Juan Pablo Flores Padilla**, con quienes he tenido la fortuna de abreviar de sus conocimientos y experiencia, agradezco su invaluable generosidad y su gran amistad.

Al los **Doctores Samuel Pineda Guillermo y Mauricio Perea Peña**, por su valioso apoyo durante los diferentes trámites y gestiones propias de la maestría.

Agradezco el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a través de la Beca de Posgrado (PMPA opción Forestal-IIAF-UMSNH). Al Proyecto CIC-2015 de la UMSNH. Así como la valiosa colaboración de mis compañeros en el Proyecto Ejido Verde y Resinado; M.C. Irenka Fabián Plesníková, M.C. Leobardo Bahena Betancourt, Lucas Aguilar Torres, Ing. Juan Huerta Hernández e Ing. Enrique Mendoza Solís.

DEDICATORIA

A la memoria de mis Padres;

Chuchena y Nicandro

...Que es cada frase para ti, un abrazo

Y cada letra que te escribo, un beso...

J. Martí

A mi familia. Con profundo orgullo y cariño a mis hijos Alejandro y Nadia, cariñosamente a mis hermanas Milú, Gris y Blanca, con gran afecto a mis hermanos Nica, chavo y Víctor.

Amis compañeros de Maestría por su amistad y solidaridad (conforme se fueron apareciendo) Roberto Ramírez, Brenda Cárdenas, Eva M. Chavéz, Daniel A. Pérez, Tannya Verona, Luis, Lore, Eduardo.

A quienes me apoyaron en las salidas a campo Leo, Jesús Morales. Alejandro Quirino y muy especialmente a Irenka F. Plesníková, gracias por tu apoyo en el diseño y organización de datos, lograste que el orden conviviera con la creatividad.

A Monica, por todo su apoyo administrativo y porque gracias a ella los trámites burocráticos, dejaron de ser un dolor de cabeza.

A los viejos y nuevos resineros quienes hacen realidad la sustentabilidad de los bosques.

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 las Áreas: Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola y Agronegocios.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
Nota al Lector	5
ÍNDICE DE CUADROS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN GENERAL	11
GENERAL SUMMARY	12
INTRODUCCIÓN GENERAL	13
CAPÍTULO 1	17
ASPECTOS ECOLÓGICOS Y DENDROMÉTRICOS DE ÁRBOLES SELECCIONADOS PARA PRODUCCIÓN DE RESINA.....	17
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVO.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS	21
RESULTADOS	25
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES	36
RECONOCIMIENTOS.....	37
CAPÍTULO 2	44
MINIRESINACIÓN TEMPRANA DE <i>Pinus oocarpa</i> SCHIEDE <i>ex</i> SCHLTDL. EN ETAPA DE VIVERO	44
RESUMEN	44
INTRODUCCIÓN	46
OBJETIVOS.....	49
MATERIALES Y MÉTODOS	49
Análisis de datos	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
CONCLUSIONES	54
LITERATURA.....	55
CAPÍTULO 3	60
SELECCIÓN TEMPRANA DE <i>Pinus oocarpa</i> SCHIEDE <i>EX</i> SCHLTDL. POR MINIRESINACIÓN	60
RESUMEN	60

CHAPTER 3	61
EARLY SELECTION OF <i>Pinus oocarpa</i> SCHIEDE EX SCHLTDL BY MINIATURE	
CHIPPING	61
ABSTRACT	61
INTRODUCCIÓN	62
OBJETIVOS	65
MATERIALES Y MÉTODOS	65
Análisis de datos	67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
CONCLUSIONES	73
LITERATURA	74
CONCLUSIONES GENERALES	78
LITERATURA GENERAL	80

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Variables ecológicas, dendrométricas y productivas relacionadas con la producción mensual promedio de resina, de árboles de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltd. seleccionados como altamente productores de resina en el Ejido de San José de Cañas, Ario, Michoacán. -----	24
Cuadro 1.2. Producción de resina (%) por cara y categoría dimétrica, con respecto a la primera cara. -----	28
Cuadro 1.3. Correlaciones entre producción de resina, características de crecimiento y variables climáticas de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltd. del Ejido de San José de Cañas, Ario, Michoacán. -----	29
Cuadro 2.1 Análisis de varianza de un ensayo de progenies de <i>Pinus oocarpa</i> establecido en Morelia, Michoacán, México. -----	52
Cuadro 2.2. Correlaciones entre producción de resina y características de crecimiento de progenies de <i>Pinus oocarpa</i> Schiede ex Schltd., en etapa de vivero.-----	53
Cuadro 3.1. Valores promedio y componentes de varianza de bloques (σ^2_b), familias (σ^2_f), interacción bloques x familias (σ^2_{bxf}), y error (σ^2_e) para producción de resina a diferentes edades en un ensayo de progenies de <i>Pinus oocarpa</i> -----	69
Cuadro 3.2. Varianza de familias (σ^2_f), interacción bloques x familias (σ^2_{bf}), y varianza debido al error (σ^2_e), heredabilidades en el sentido estricto a nivel de individuos (h^2_i) y familias (h^2_f) para producción de resina a diferentes edades en un ensayo de progenies de <i>Pinus oocarpa</i> . -----	70
Cuadro 3.3. Cuadro comparativo de valores de heredabilidad individual (h^2_i) y de familia (h^2_f) para producción de resina. -----	71
Cuadro 3.4. Comparación entre medias para producción promedio de resina para las 11 mejores familias, ajustadas con los últimos cuadrados medios (LS means).-----	72

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1. Formato de campo para árboles de *Pinus oocarpa* fenotípicamente seleccionados por su superioridad en producción de resina. ----- 22
- Figura 1.2. Unidades climáticas y localización de árboles seleccionados como superiores en producción de resina de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario, Michoacán. ----- 26
- Figura 1.3. Producción de resina por categoría diamétrica de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario de Rosales, Michoacán, México. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes con $P=0.05$. -----28
- Figura 1.4. Producción porcentual de resina en el clima cálido subhúmedo [Aw0(w)], de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Michoacán, México. (Se consideró el 100% a la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación). ----- 31
- Figura 1.5. Producción porcentual de resina en el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano [(A)C(W1)(W)], de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario, Michoacán, México. (Se consideró el 100% a la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación). -----32
- Figura 2.1. Producción promedio de resina de *P. oocarpa* en etapa de vivero a los 18 meses de edad, con estimulación química. T1=perforación del tallo con estimulante líquido a base de ácido sulfúrico al 50 %, T2=perforación del tallo sin estimulante químico.-----52

RESUMEN GENERAL

En México, *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl, es una especie de interés económico por su alta producción y calidad de resina. En los pinos, la oleoresina se produce y se almacena en un sistema de conductos verticales y horizontales en el floema y xilema del árbol, como una defensa primaria contra insectos descortezadores, hongos asociados y daños mecánicos; consiste en una mezcla viscosa de terpenos, monoterpenos volátiles (C10), sesquiterpenos (C15) (trementina) y diterpenos no volátiles (C20) (colofonia), que constituyen una valiosa fuente natural de materia prima para la industria química. Los árboles se eligieron por su alto rendimiento conocido por el recolector en campañas de resinación de años anteriores al estudio. Los sitios donde se localizan los individuos seleccionados se analizaron de manera retrospectiva. Los resultados mostraron que la producción de resina se ve afectada por las condiciones de clima y suelo y tiende a incrementarse conforme aumenta el diámetro del tronco a la altura del pecho (1.30 m). De enero a mayo del 2012, se registró una producción media de resina/árbol de 10.67 kg, superior a la media nacional (2.5 kg árbol⁻¹ año⁻¹) para *P. oocarpa*. En vivero se evaluaron dos métodos de mini resinación en plantas de 18 meses de edad, originadas de los individuos de *P. oocarpa* señalados como buenos productores de resina. Las semillas fueron sembradas directamente en envases de plástico, las plántulas se dispusieron en bloques al azar con cuatro árboles como unidad experimental y dos tratamientos. En producción de resina se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (P<0.05). En campo A los 31, 45 y 58 meses de edad se evaluó un ensayo de progenies de familias de medios hermanos de *P. oocarpa*, con la técnica de miniresinación y estimulante a base de ácido sulfúrico. La producción de resina presentó valores de heredabilidad individual (h^2_i) que oscilaron de 0.11 (a los 33 y 58 meses de edad) a 0.25 (a los 45 meses de edad). La heredabilidad de medias de familias (h^2_f) presentó valores de 0.45 a los 33 meses, a 0.65 a los 45 meses y de 0.46 a los 58 meses. Se estimó una ganancia genética esperada de 37.2 % en la producción de resina al año cinco en la siguiente generación. La evaluación de la producción en edad temprana mediante métodos de miniresinación e inducción con ácido sulfúrico, podría convertirse en una herramienta confiable, en pruebas genéticas.

Palabras clave: *Pinus oocarpa*, heredabilidad, mini resinación, ganancia genética.

GENERAL SUMMARY

In Mexico, *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl, is a specie of economic interest because of high quality and oleoresin production. In the pines, the oleoresin is produced and stored in a system of vertical and horizontal lines in the phloem and xylem of the tree, as a primary defense against bark beetles, fungi associated and mechanical damage, oleoresin consists of a viscous mixture of terpenes, monoterpenes volatile (C10), sesquiterpenes (C15) (turpentine) and non-volatile diterpenes (C20) (rosin), which are a valuable natural source of raw material for the chemical industry. Tree selection was made by their high yield production, known by the resin producer in years before this study. The sites where the trees selected are growing were analyzed retrospectively. The results showed that resin yield production is affected by climate and soil conditions, and tends to increase with increasing trunk diameter at breast height (1.30 m). In the evaluation period, from January to May 2012, an average production of resin / tree, 10.67 kg, higher than the national average (2.5 kg tree⁻¹ yr⁻¹) for *P.oocarpa*. In seedlings of 18 months old, originating from individuals *P.oocarpa* identified as high yielders, two miniature-chipping methods were evaluated. The seeds were sown directly into plastic containers; seedlings were placed in random blocks with four trees as experimental unit and two treatments. In resin production get significant differences between treatments ($P < 0.05$). At 31, 45 and 58 months old progeny of trial sib families of *P.oocarpa* in field stage was evaluated. Oleoresin measurements in narrow sense heritability (h^2_i) were from 0.11 (at 33 and 58 months of age) to 0.25 (at 45 months of age). The family mean heritability (h^2_f) presented values of 0.45 at 33 months to 0.65 at 45 months and 0.46 at 58 months. An expected genetic gain of 37.2% in resin yield was estimated at year five in the next generation. The possibility of evaluating trials of progenies at an early age using mini-chipping methods based on sulfuric acid induction could become a reliable tool.

Keywords: *Pinus oocarpa*, heritability, mini-chipping, genetic gain

INTRODUCCIÓN GENERAL

Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl es una especie de interés en el Estado de Michoacán, México, su relevancia económica radica en que es la especie más importante en la producción de resina (Zamora y Velasco, 1978; COFOM, 2001; Fabián-Plesníková, 2014). En el Estado de Michoacán, crece en una franja de vegetación a una altitud intermedia entre la selva baja caducifolia y los bosques de pino-encino (Madrigal-Sánchez y Guridi-Gómez, 2002). La coincidencia de los requerimientos óptimos de altitud, temperatura y clima del cultivo de aguacate con algunas especies forestales entre las que destaca *P. oocarpa*, la ubica como una especie con un alto riesgo de desaparecer de los ecosistemas aledaños al área aguacatera (INIFAP, 2012).

En México desde hace más de 70 años las poblaciones de pinos resineros, entre las que destaca *P. oocarpa*, han sido fuente natural de aprovechamiento y extracción de resina en los Estados de Jalisco (1.8 %), Oaxaca (0.7 %), Quintana Roo (0.1 %), Estado de México (8.7 %), Michoacán donde se genera el 87.9 % de la producción nacional de resina, y recientemente en el Estado de Chiapas (0.9%) (SEMARNAT, 2014), representando un alto valor ecológico, socio económico, cultural y científico.

En Michoacán, la extracción de resina ha sido uno de los más valiosos aprovechamientos, lográndose resinar desde 1919, en 43 Municipios de 113 que posee el Estado y alcanzado producciones máximas en el año 1969 con 70.000 toneladas (Gutiérrez 1979; SEMARNAT, 2013). En esa época los excedentes se exportaban a países como: República Federal de Alemania, Argentina, Bélgica, Brasil, e incluso a China, hoy primer productor mundial de resina.

Uno de los propósitos de este trabajo fue determinar los principales factores que influyen en la producción de resina, a partir del análisis retrospectivo de variables ecológicas, dendrométricas y aquellas relacionadas directamente con el método de extracción de resina, en árboles de *P. oocarpa* seleccionados como fenotípicamente superiores en producción de resina. La evaluación precoz por miniresinación en un ensayo de progenies, en etapa de vivero (a los 18 meses de edad), permitió comprobar que el uso de estimulantes en el proceso de resinación hace más eficiente la producción de resina. Finalmente, con el propósito de conocer el grado de control genético de la producción de resina a través del uso de la técnica de miniresinación promoviendo la activación de los canales constitutivos ya presentes en la planta (Ruel *et al.*, 1998), se hicieron evaluaciones en un ensayo de progenies en condiciones de campo a los 33, 45, y 58 meses de edad.

Así, en el Capítulo 1, se presenta un análisis retrospectivo de las características dendrométricas de 30 árboles de *Pinus oocarpa* elegidos como fenotípicamente superiores en producción de resina, en rodales naturales; la relación entre su producción de resina, con características dendrométricas tales como diámetro a la altura del pecho (DAP), altura total del árbol, diámetro de copa, longitud de fuste; y ecológicas del sitio tales como: latitud, longitud, tipo de vegetación, altura sobre el nivel del mar, unidad climática, unidad edafológica y porcentaje de pendiente.

En el Capítulo 2, se describen aspectos sobre la evaluación de la producción de resina en progenies de *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltdl., en etapa de vivero (a los 18 meses de edad),

mediante la inducción mecánica por miniresinación (heridas en el tallo) y la aplicación exógena de ácido sulfúrico al 50 %.

En el Capítulo 3, se detalla la técnica de miniresinación y la aplicación de ácido sulfúrico como estimulante, que de manera conjunta permitieron evaluar el grado de control genético de la producción de resina en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., A los 33, 45 y 58 meses de edad en etapa de campo.

Se detallan las evaluaciones efectuadas en edades juveniles para estimar el desarrollo de los mejores genotipos al inicio de la producción comercial. Se presentan valores de heredabilidad en sentido estricto, a nivel individual y de medias de familias. Así mismo, se muestran valores estimados de ganancia genética esperada en la producción de resina, a partir del desempeño de los dos mejores individuos de la 7 mejores familias. Al quinto año de edad en la siguiente generación



Conos de *Pinus oocarpa* a cinco años de edad

CAPÍTULO 1

ASPECTOS ECOLÓGICOS Y DENDROMÉTRICOS DE ÁRBOLES

SELECCIONADOS PARA PRODUCCIÓN DE RESINA

RESUMEN

Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl., es de interés económico en el Estado de Michoacán, al ser el primer productor de resina en el país, debido a su producción y calidad de resina. El objetivo del presente estudio fue hacer un análisis retrospectivo de las características dendrométricas y productivas de 30 árboles que se eligieron por su alta producción de resina, y su relación con características ecológicas del sitio donde crecieron de manera natural. Con información bibliográfica, cartográfica y datos de campo se registraron: alturas sobre el nivel del mar desde los 1192 msnm hasta 1789 msnm, dos tipos de suelo, acrisol ocrico-luvisol y luvisol crómico, dos climas (A)C(w₁)(w) y Aw0(w), temperaturas medias de 18-22 °C, precipitación anual entre 800 y 1200 mm y humedad relativa predominante de 70-90%; estas características favorecen el desarrollo de *P. oocarpa* en dos sitios diferentes. El diámetro de los árboles a la altura del pecho varió de entre 31.5 a 89.5 cm, la altura total de 9.0 a 27.5 m, diámetro de copa de 5.9 a 14.35 m, producción media de resina en cinco meses de 10.67 kg. Las variables que más aportaron a incrementar la producción de resina fueron la longitud geográfica, asociada a otras variables como altitud, exposición y unidad climática; y el número de caras viva o resinadas, que presentó una correlación positiva con la producción de resina ($r=0.67$). Los resultados obtenidos podrían usarse como indicadores en la búsqueda árboles con buena producción de resina y de áreas con vocación productora de resina para esta especie.

PALABRAS CLAVE: *Pinus oocarpa*, selección fenotípica, análisis back ward, peso de resina.

**ECOLOGICAL AND DENDROMETRIC ASPECTS OF TREES SELECTED
FOR RESIN PRODUCTION**

ABSTRACT

Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl., is a species of economic interest for its oleoresin production in the State of Michoacán. The objective in the present study was to make a retrospective analysis of dendrometric and productive characteristics of 30 trees selected as high resin yielders and its relationship with ecological factors present in the sites where they grew naturally. With bibliographic, cartographic and field data information, databases were developed, where two types of soils corresponding to Acrisol ochric-luvisol and Luvisol chromic, two climates (A)C(w1)(w) and Aw0(w), average temperatures of 18-22 °C, annual rainfall between 800 and 1200 mm and relative humidity predominant of 70-90% were observed; which in general were favorable for the optimum development of *P. oocarpa*. The diameter at breast height varied from 31.5 to 89.5 cm, total height of 9.0 to 27.5 m, crown diameter from 5.9 to 14.4 m, with an average resin yield in five months of 10.67 kg. The variables that contributed most to the production of resin were the geographical length associated with other ones such as altitude, exposure, and climatic unit; and the number of resin tapping faces ($r=0.67$). The results could be used as indicators in the search of trees with good resin production and areas with vocation for producing resin by this species.

KEYWORDS: *Pinus oocarpa*, phenotypic selection, back ward analysis, weight of resin.

INTRODUCCIÓN

La extracción mundial de resina de pino se concentra en tres países: China, Brasil e Indonesia con el 90.4 % de la producción, mientras que la India, México y Argentina forman parte de un segundo grupo de países productores con el 7.7 % (Cunningham, 2009). En México, la extracción se realiza principalmente en cuatro estados: Jalisco, Oaxaca, México y Michoacán (SEMARNAT, 2009), éste último se coloca en primer lugar en el país con 16088 toneladas, equivalente al 86.7 % de la producción total nacional (SEMARNAT, 2013).

La extracción de la resina de pino tiene importancia socioeconómica, se considera como la materia prima preindustrial más versátil del mundo para una amplia gama de productos industriales (Langenheim, 2003). Actualmente la oleoresina de pino ha sido ampliamente utilizada como materia prima en la industria química para producir varios tipos de subproductos, tales como artículos de limpieza, insecticidas, disolventes, encolado del papel, pintura, tinta de impresora, productos farmacéuticos, cosméticos, compuestos de aroma y sabor, aditivos alimentarios, entre otros (Bohlmann y Keeling, 2008; Rodríguez *et al.*, 2012).

La resina, como producto forestal no maderable ha motivado la realización de diversas investigaciones (Hall *et al.*, 2013). Algunas de ellas se han dirigido hacia la selección de árboles, tomando en cuenta que la variabilidad está íntimamente ligada a la capacidad de heredar las características que, en su conjunto, presenten los individuos seleccionados (Barrett, 1980); y se han obtenido importantes ganancias genéticas a partir de la selección de árboles altamente productores de resina (Squillace, 1965), lo que ha permitido realizar trabajos destinados a incrementar su

producción mediante programas de mejora genética de las especies objeto de resinación (Tadesse *et al.*, 2001a).

Sin embargo, son pocos los trabajos que han abordado las relaciones entre el flujo de resina y los aspectos ecológicos y climáticos donde crecen los árboles, y han tenido, principalmente, un enfoque de protección contra insectos (Baier *et al.*, 2002; Kane y Kolb, 2010). Otros han abordado, en general, el estudio de los diferentes ecosistemas en donde crecen algunas de las principales especies vegetales que producen resina (Lanhenheim, 2003); y algunos estudios más específicos se han centrado en entender la ecología de la biodegradación de ácidos de la resina para mejorar los sistemas de tratamiento para el papel (Mohn *et al.*, 1999).

En el año 2010 la Unión Nacional de Resineros (UNR), en colaboración con la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) y el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), inició un programa de mejoramiento genético para producción de resina, con las dos especies resineras de mayor importancia forestal en Michoacán: *Pinus pringlei* Shaw *ex* Sargent y *P. oocarpa* (Fabián-Plesníková, 2014), en el que seleccionaron árboles considerados como buenos productores de resina.

OBJETIVO

Por lo anterior, el objetivo en esta etapa fue hacer un análisis retrospectivo de las características dendrométricas y productivas de 30 árboles seleccionados como superiores en producción de resina y su relación con características ecológicas del sitio donde crecieron de manera natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Ejido de San José de Cañas ubicado en el Municipio de Ario de Rosales, Estado de Michoacán, se seleccionaron 30 árboles de *Pinus oocarpa* por su alta producción de resina. La selección de los árboles se realizó con base en la experiencia de los recolectores, quienes llevan a cabo el aprovechamiento de la resina en campo, y eligieron los árboles más productivos en volumen de resina. Una vez que el árbol fue seleccionado, se tomaron sus coordenadas geográficas con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), empleando un equipo receptor modelo e Trex^R 30 marca Garmin[®], se tomaron fotos panorámicas y del fuste de cada árbol seleccionado, y se marcó una clave de identidad sobre el tronco para su posterior identificación.

Mediante visitas de campo, se llenaron 30 formatos de registro con los datos de los árboles señalados como altamente productores de resina, algunos de ellos, proporcionados por el productor (Fig. 1). La información se vació en una base de datos que permitió tenerla de manera sintetizada y lista para su análisis en SAS (SAS Institute, 2004).

FORMATO DE REGISTRO DE ÁRBOLES ALTAMENTE PRODUCTORES DE RESINA

Fecha 7/11/011 Responsable IRENKA FABIAN PLESNIKOVA
 Estado MICHOACÁN Municipio ARIO Clave de identificación del árbol R-45 Especie P. OOCARPA Localidad COS SABINOS
 Coordenadas: Latitud 19° 51' 19.92" Longitud 101° 48' 16"
 Altitud (asnm) 1,341 Precipitación anual (mm) 800-1200 Unidad Climática Aw0(w)
 Tipo de vegetación PINO Pendiente (%) 8 Topografía CONVERSO Exposición SW
 Tipo de suelo AGUJALCERCO Propietario IGNACIO AMERCUA
 Elaboró JUAN HUERTA

Características dendrométricas: del individuo
 Diámetro a la altura del pecho (DAP) cm 69 Altura total (m) 16 Diámetro de copa (m) 12.90 Longitud de fuste limpio (m) 3.10 Diámetro de ramas (cm) 13.5 Angulo de Ramas (grados) 105° Vigor: bueno () malo () Regular () Clase silvícola CODOMINANTE
 Intensidad de resinación método "Francés o de Hughes (a vida)"
 Producción estimada/mes (kg) > 20Kg No. De caras vivas 3 Distancia entre cara y cara (cm) 22 Ancho de cara (cm) 10 Profundidad de la cara (cm) 3.5 Producción evaluada 21.13 Kg
 Período 15 ENERO AL 15 JUNIO DEL 2012
 Observaciones _____

Figura 1.1. Formato de campo para árboles de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. seleccionados fenotípicamente por su superioridad en producción de resina en el Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Entre las variables dendrométricas de los árboles seleccionados, se midió la altura total del árbol (ALT) desde el nivel del suelo al ápice de la copa, y la longitud del fuste limpio (ALFL), los cuales se obtuvieron con un clinómetro electrónico de bolsillo Haglof[®], el diámetro a la altura de pecho (DAP) se obtuvo mediante el uso de una forcípula a 1.3 m de altura sobre el nivel del suelo, el diámetro de copa (DICO) se determinó mediante la medición con flexómetro de la proyección vertical de la base de la copa (Romahn y Ramírez, 1977). Además, se obtuvieron datos del vigor general del árbol y el diámetro (DIRA) y ángulo de ramas (ANRA).

Con el programa “ArcGIS” se sobrepusieron las coordenadas geográficas de los 30 árboles y se proyectaron las capas edafológicas, topográficas, climáticas y de división política, entre otras, con base en la cartografía publicada por INEGI (1998, 1999a, 1999b, 2011) a una escala de 1:50000, de donde se obtuvieron las variables ecológicas (Tabla 1). La temperatura media por mes (de enero a mayo) se tomó de las Normales climatológicas 1971-2000 de la estación climática N°. 00016168 ARIO DE ROSALES (SMN) ubicada a 1840 msnm, en la Latitud 19°12'00" N y la Longitud 101°44'00" O.

Finalmente, se obtuvieron nueve variables ecológicas relacionadas con los 30 puntos donde se ubicaron los árboles de *P. oocarpa*, siete variables dendrométricas y cinco variables relacionadas con la producción de resina (llamadas aquí productivas). La relación entre las variables se obtuvo mediante la correlación de Pearson (Steel *et al.*, 1997) con el procedimiento CORR. Con el procedimiento REG opción Backward (Tyler *et al.* 1996) se determinaron las variables que mejor explicaban la producción de resina promedio.

Para cuantificar el volumen de resina producido, se colectó semanalmente el volumen de cada árbol seleccionado, utilizando el método “Francés o de Hughes (a vida)”, realizado por un mismo resinador, durante cinco meses, del 15 de enero al 15 de junio de 2012, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT 2005. Para ello se utilizaron recipientes de plástico de un litro de capacidad que fueron pesados en una balanza digital antes de ser colocados en cada árbol y vueltos a pesar después de una semana, para obtener, por diferencia, el peso de la producción de resina.

Cuadro 1.1. Variables ecológicas, dendrométricas y productivas relacionadas con la producción mensual promedio de resina, de árboles de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd. seleccionados como altamente productores de resina en el Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Variables	Unidades	Siglas	Amplitud/Clase
Ecológicas			
Altitud	msnm	ALTI	1192-1789
Clase silvícola	clases	CLSI	Dominante, Codominante
Exposición	grados	EXPO	1-320
Latitud	clases	LATI	19°03', 19°04', 19°05'
Longitud	clases	LONG	101°43', 101°44', 101°45', 101°46', 101°47', 101°48'
Pendiente del terreno	%	PEND	6-20
Suelo	clases	SUEL	Ao+Lc/3, Ao+Re/2/LP, Lc/3, Lc/3/P
Unidad climática	clases	UNCL	(A)C(w1)(w), Aw0(w)
Vegetación	clases	VEGE	P, Ph, Pq, Pqh
Dendrométricas			
Altura total del árbol	m	ALTU	9.0-27.5
Angulo de ramas	grados	ANRA	45-113.0
Diámetro a la altura de 1.30 m sobre el suelo	cm	DAP	31.5-89.5
Diámetro de copa	m	DICO	5.9-14.4
Diámetro de rama	cm	DIRA	6.0-23.2
Altura de fuste limpio	m	ALFL	1.7-11.3
Productivas			
Resina producida al mes	kg	RESM	0.52-5.45
Altura de la cara viva	m	ALCV	0.42-2.6
Ancho de cara	cm	ANCA	7.0-14.0
Número de caras vivas	número	NCVI	1-4
Profundidad de cara	cm	PRCA	3.0-5.0

(A)C(W1)(W)= Semicálido subhúmedo con lluvias en verano, lluvia invernal <5 %. Humedad intermedia, temperatura 12-18 °C, precipitación anual 1000-1200 mm, humedad relativa 90 %, con 1-4 granizadas anuales y posibilidad de 12-40 heladas anuales. Aw0(w) = Cálido subhúmedo con lluvias en verano, lluvia invernal <5 %. El menos húmedo, temperatura media anual mayor de 22-26 °C y temperatura del mes más frío mayor de 18 °C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; precipitación anual 800-1000 mm, humedad relativa 45-70 %, con 1-4 granizadas anuales y posibilidad de hasta cinco heladas anuales. Lc/3= Luvisol crómico de textura fina. Ao+Lc/3= Acrisol órtico/Luvisol crómico de textura fina. P=Pino, Pq= Pino-Encino, Ph=Pino-Latifoliadas, Pqh=Pino-Encino-Latifoliadas.

Antes del análisis, se transformaron las variables categóricas a numéricas desde $i=1$ hasta n , en donde n fue el número total de categorías en cada variable. La producción promedio mensual de resina fue organizada de mayor a menor, y a la variable categórica asociada a esta, se le fue asignando el número de categoría conforme éstas iban apareciendo en orden descendente, desde n correspondiente a la máxima producción de resina, hasta uno. Las variables se transformaron a logaritmos con el fin de reducir la heterogeneidad de las varianzas (Del Castillo *et al.*, 1995).

RESULTADOS

Análisis de variables

Los árboles seleccionados como buenos productores de resina se distribuyeron desde los 1192 hasta los 1789 msnm, fueron maduros, con diámetros mayores a 30 cm, no muy altos, ni bien conformados y en algunos casos con copas mayores a la mitad de la altura total del árbol (Tabla 1). La intensidad de resinación varió según el diámetro, pero se encontraron entre una y cuatro caras en resinación, cuyas alturas fueron de escasos 40 cm a más de 2.0 m, con anchos de entre 7 y 14 cm (Tabla 1).

En general, se obtuvieron dos tipos de suelo: Luvisol crómico (Lc/3), en donde se encontraron varios de los árboles más productivos y Acrisol órtico (Ao+Lc/3), donde estaban creciendo varios de los árboles menos productivos (Fig. 2) y cuatro tipos de vegetación, siendo la de pino-encino en donde predominaron los árboles menos productivos.

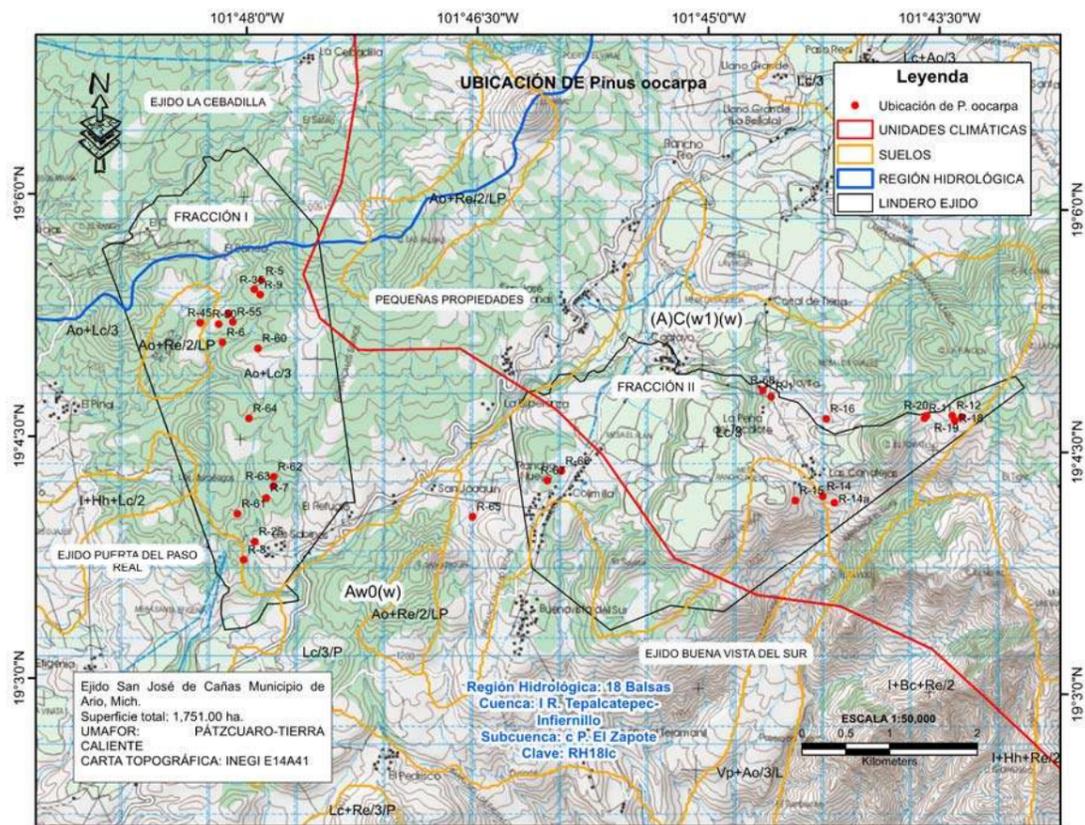


Figura 1.2. Unidades climáticas, tipos de suelo y localización de árboles seleccionados como superiores en producción de resina de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario de Rosales, Michoacán.

La producción promedio de resina fue variable en las dos unidades climáticas detectadas, pero la mayor variación se detectó en el clima cálido subhúmedo [Aw0(w)], en donde el árbol 5 fue el que produjo la mayor cantidad de resina en los meses más fríos de evaluación (enero y febrero), su producción se redujo gradualmente hasta colocarse en la última posición en el mes más caliente (mayo); y el árbol 62, que inició con la producción más

baja en el mes de enero, mostró un mejor desempeño conforme se incrementó la temperatura, ubicándose en el tercer sitio de la jerarquía en el mes de mayo (Fig. 4). La producción promedio de resina fue menos variable en el clima semicálido subhúmedo [(A)C(W1)(W)], pero de manera similar que en el clima Aw0(w), el árbol 20 fue el que produjo la mayor cantidad de resina en enero y se colocó en la última posición jerárquica en el mes de mayo; y el árbol 14 que inició con la producción más baja en el mes de enero, se ubicó en el segundo sitio de la jerarquía en el mes de mayo (Fig. 5).

La producción de resina obtenida durante el periodo de evaluación, osciló entre 2.6 y 27.3 kg, con un promedio mensual entre 0.5 y 5.5 kg. Cuando el arbolado se separó por categorías diamétricas, se observaron diferencias significativas en la producción de resina ($P=0.0064$). La prueba de Tukey separó las categorías diamétricas en tres grupos (Fig. 3). La producción de resina fue mayor conforme aumentó el número de caras vivas y el diámetro del fuste fue mayor; sin embargo, la producción fue disminuyendo gradualmente en cada cara al adicionar caras vivas, por ejemplo, en la categoría de 80.1 a 90.0 cm de diámetro, el porcentaje de producción de la segunda cara se redujo un 15.8 % con respecto a la primera, la tercera se redujo un 33.9 % y la cuarta un 89.4 % (Tabla 2).

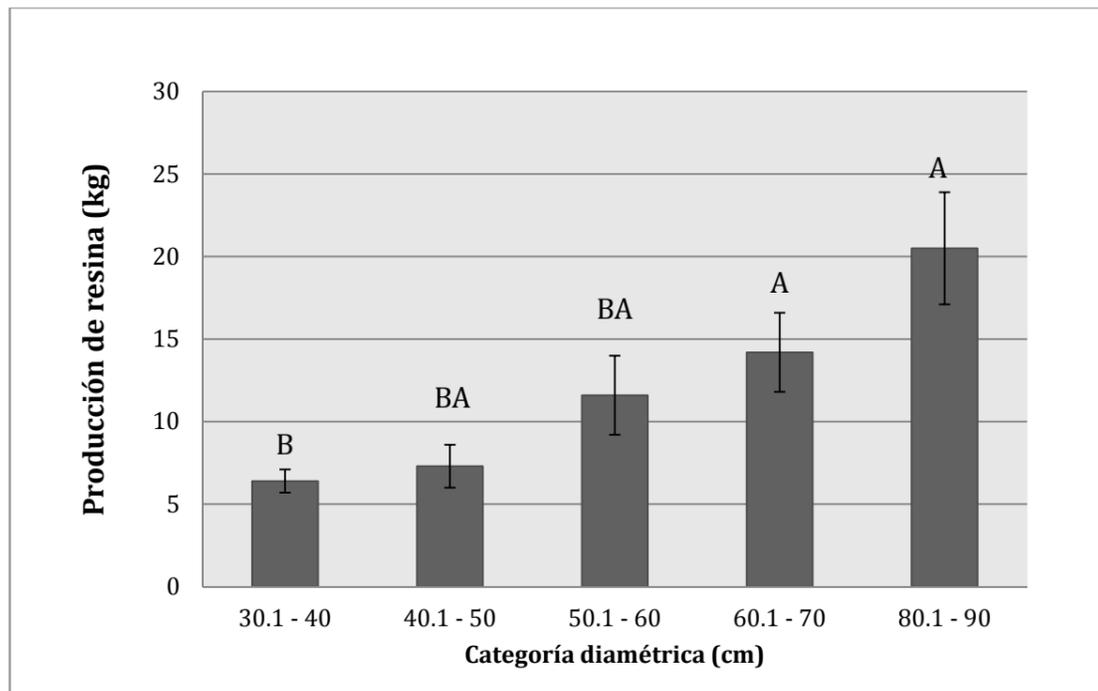


Figura 1.3. Producción de resina por categoría diamétrica de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario de Rosales, Michoacán. La misma letra indica que no son significativamente diferentes con $P=0.05$.

Cuadro 1.2. Producción de resina (%) por cara y categoría diamétrica, con respecto a la primera cara en *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. del Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Categoría diamétrica (cm)	Cara 1	Cara 2	Cara 3	Cara 4
30.1 - 40	100	40.9	-	-
40.1 - 50	100	35.8	-	-
50.1 - 60	100	50.8	32.3	-
60.1 - 70	100	82.9	22.9	6.6
80.1 - 90	100	84.2	66.1	10.6

Correlación y selección de variables

En el análisis de correlación, la producción de resina promedio (RESM) tuvo correlaciones positivas ($0.39 \leq r \leq 0.67$) con cuatro variables climáticas (ALTI, EXPO, UNCL y LONG), tres variables dendrométricas (DAP, DICO y DIRA), y una productiva (NCVI) y las correlaciones más altas se observaron entre el DAP y el DICO ($r=0.74$), el DIRA ($r=0.80$) y el NCVI ($r=0.62$), y entre el DICO y el DIRA ($r=0.67$) (Tabla 3).

Cuadro 1.3. Correlaciones entre producción de resina, características de crecimiento y variables climáticas de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltd. del Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Variables	ANCA	ALTI	EXPO	UNCL	LONG	DAP	ALFL	DICO	NCVI	DIRA	PEND
RESM	-	0.39*	0.42*	0.57*	0.57*	0.67**	-0.46*	0.65**	0.67**	0.49**	-
LONG	-	0.41*	0.55**	0.38*	-	-	-0.46*	0.44*	-	-	-
NCVI	0.38*	-	-	0.39*	-	0.62**	-	0.52**	-	0.47*	0.40*

ns: no significativo. *: significativo $P \leq 0.05$, **: altamente significativo $P \leq 0.01$, RESM=producción de resina promedio mensual, ANCA=ancho de cara, ALTI=altura sobre el nivel del mar, EXPO=exposición, UNCL=unidad climática, LONG=longitud, DAP=diámetro a la altura de 1.30 m sobre el suelo, ALFL=altura de fuste limpio, DICO=diámetro de copa, NCVI=número de caras vivas, DIRA=diámetro de ramas, PEND=pendiente del terreno.

El procedimiento de selección de variables indicó que de las 20 variables usadas en el análisis, las que mejor explican la producción promedio de resina (RESM), son la longitud (LONG) y en número de caras vivas (NCVI), obteniéndose el siguiente modelo con un buen ajuste ($r^2=0.59$; $P=0.0001$):

$$\ln RESM = -0.2809 + (0.5080 \ln LONG) + (0.6983 \ln NCVI).$$

DISCUSIÓN

Variables ecológicas

Los datos ecológicos son parámetros útiles en el proceso de selección de individuos y la búsqueda de poblaciones; algunas de estas características han sido utilizadas para hacer proyecciones sobre el movimiento de semillas con fines de mejoramiento genético y mitigación de los efectos del cambio climático, entre otras acciones, en esta misma especie (Sáenz-Romero *et al.*, 2006).

La distribución altitudinal muestreada en este estudio abarcó 300 m más arriba del rango altitudinal muestreado por Sáenz-Romero *et al.* (2006), lo que implicaría una colección más completa de su distribución; así mismo, el tipo de suelo y clima coinciden con los reportados por Cambrón-Sandoval (2007) en la misma zona.

Si bien se observó una correlación positiva, aunque relativamente baja ($r=0.39$) entre la altitud y la producción de resina, el análisis de temperatura indica que, en general, la producción de resina aumenta conforme aumenta la temperatura promedio (Figs. 4 y 5). Sin embargo, sorprende que algunos árboles produzcan más resina durante los meses fríos (enero y febrero) que durante los cálidos (abril y mayo), que es cuando en promedio se obtiene la mayor producción de resina, lo cual indica que efectivamente hay cierto control genético de esta característica (Tadesse *et al.*, 2001b) y permite suponer que es posible seleccionar algunos árboles como buenos productores de resina para la temporada fría en la que la producción es baja.

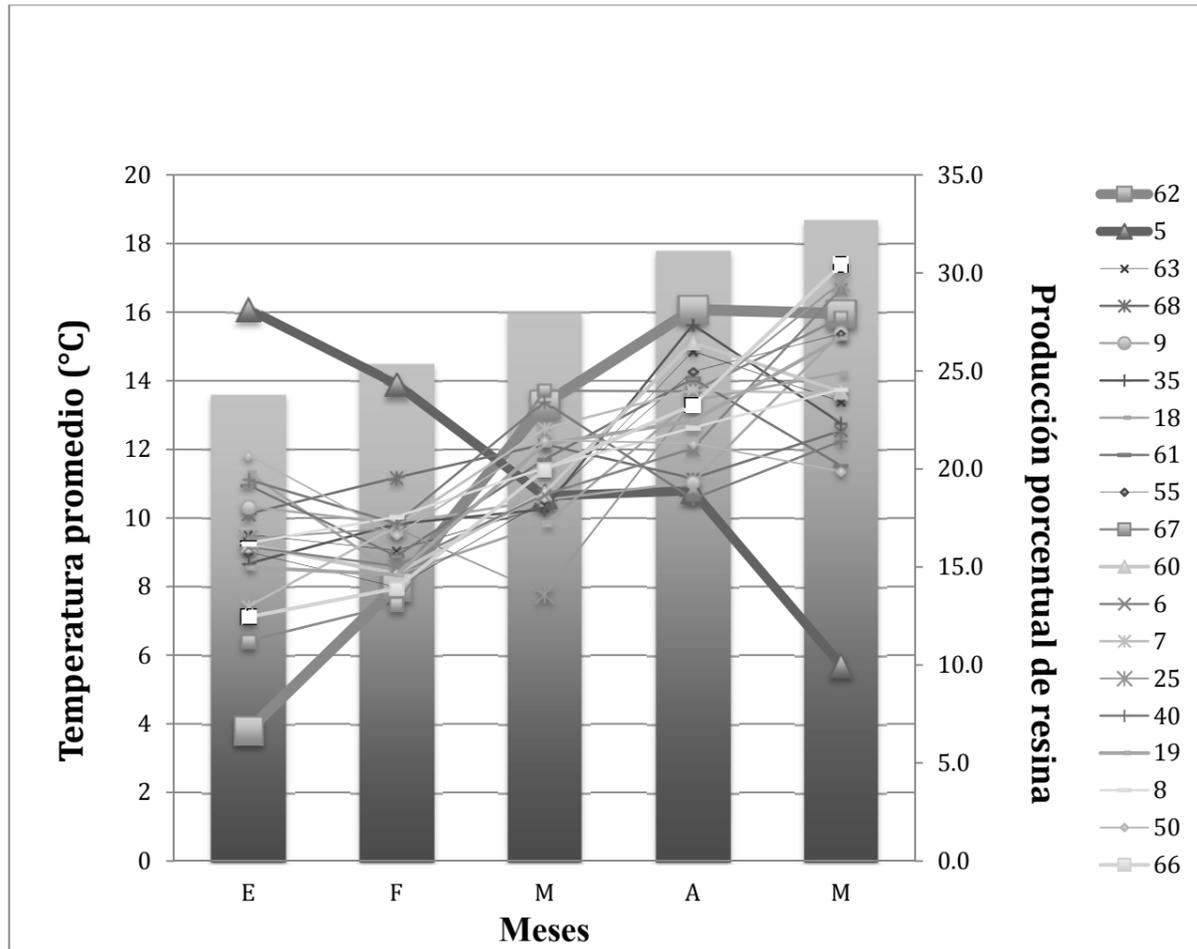


Figura 1.4. Producción porcentual de resina en el clima cálido subhúmedo [Aw0(w)], de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en San Joaquín, Ario de Rosales, Michoacán. (Se consideró el 100% a la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación).

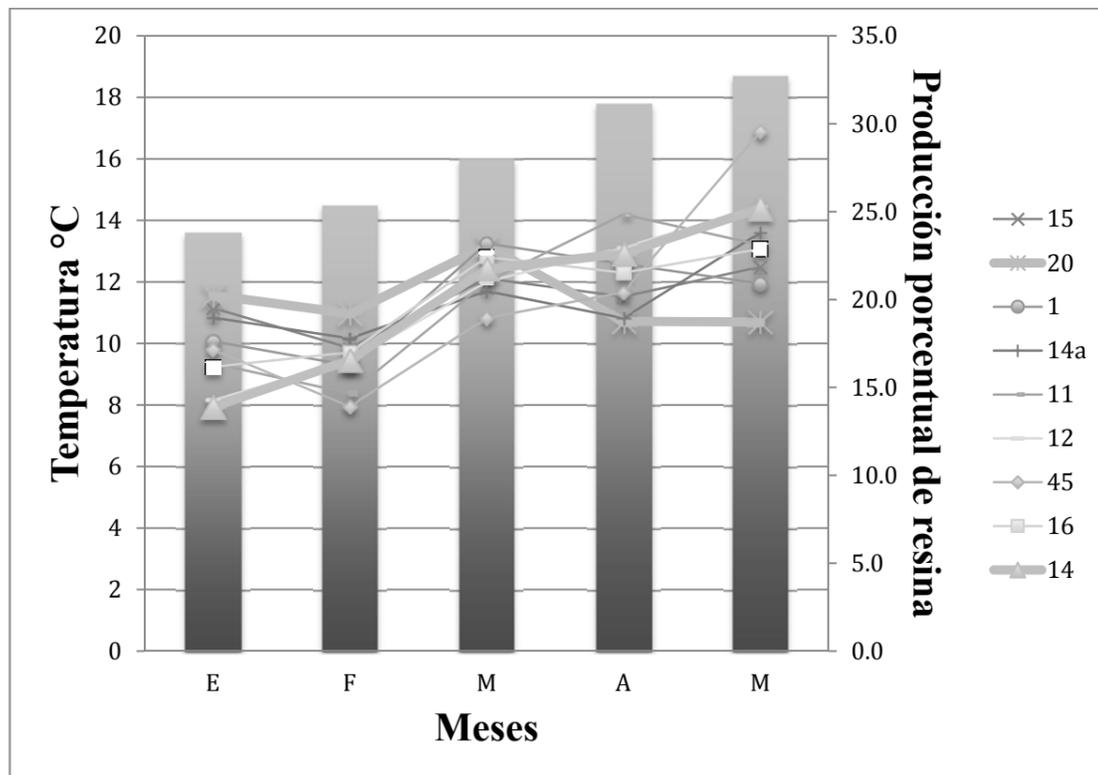


Figura 1.5. Producción porcentual de resina en el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano [(A)C(W1)(W)], de árboles seleccionados como superiores en producción de resina. *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltdl. en San Joaquín, Ario de Rosales, Michoacán, México. (Se consideró el 100% a la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación).

De igual manera, hubo individuos que fueron malos productores en temporada de baja temperatura y muy buenos productores en la de altas temperaturas. Esto indica que las condiciones climáticas están afectando de forma directa la fluidez de la resina debido a los cambios de temperatura (Rodrigues y Fett-Neto, 2009), ya que la baja temperatura reduce la síntesis de la resina, aumenta la viscosidad relativa de la misma y, en consecuencia, disminuye su flujo (Blanche *et al.*, 1992).

La LONG como variable seleccionada en el análisis de regresión para explicar la producción de resina, fue persistente a través de diferentes pruebas con diferente número de variables. Esta variable tuvo relación con la ALTI, la EXPO y la UNCL (Tabla 3), sin embargo, en realidad la producción de resina está relacionada con un conjunto de variables ambientales, tal como lo demostraron Lombardero *et al.* (2000), quienes encontraron que el flujo de resina de *Pinus taeda* estaba relacionado con los períodos de crecimiento de los árboles y directamente con la forma en que las variables ambientales los afectaban.

Variables dendrométricas

La producción de resina obtenida durante el periodo de cinco meses de evaluación del 15 de enero al 15 de junio del 2012, osciló entre 2.6 a 27.3 kg (Tabla 1), con un promedio mensual entre 0.52 y 5.45 kg. Estos promedios son ligeramente mayores a los encontrados por Favián-Plesníková (2014) en *Pinus pringlei* Shaw *ex* Sargent, que fueron de 0.3 a 4.3 kg. El comportamiento en producción de resina fue similar a lo observado por Gutiérrez (1979), ya que también se encontraron diferencias significativas en la producción de resina ($P=0.0064$), cuando se tomaron en cuenta las clases diamétricas de los árboles muestreados.

Se encontró una alta correlación entre la RESM y el DAP ($r=0.67$; $P\leq 0.01$) (Tabla 3), lo cual coincide con lo observado por Rodrigues *et al* (2008) en árboles de 28 años de edad de *P. elliotii* Engelm., en donde los árboles con mayor diámetro (22.0 a 23.5 cm) a la altura de 1.4 m por encima del suelo, produjeron más resina que aquellos con menor diámetro (18.0-19.5 cm), lo que permite inferir que los árboles más vigorosos producen mayor cantidad de

resina. Así mismo, la relativamente alta correlación entre el DICO y la RESM ($r=0.58$; $P<0.05$), puede indicar que la capacidad de captar la luz está jugando un papel importante en la producción de la resina. En este sentido, Lewinsohn *et al.* (1993) evaluaron, a través de un método indirecto (medición de síntesis de monoterpenos), la influencia de la luz sobre la producción de resina en árboles jóvenes de *Abies grandis* y encontraron que la luz estimuló la síntesis de monoterpenos, comparado con la completa oscuridad, y la síntesis fue aún mayor cuando a los árboles se le provocó una herida.

La correlación negativa obtenida entre la RESM y la ALFL ($r=-0.46$; $P=0.05$), indican que los árboles con mayor número de ramas pueden ser los mejores productores de resina; por otra parte, los cuatro árboles que presentaron los mayores DAP y DICO, (11, 45, 16 y 14), también tuvieron la mayor producción de resina (16.5, 21.1, 23.3 y 27.3 kg, respectivamente). Squillace y Bengston (1961), ya habían reportado la posible correlación de diferentes características morfológicas, anatómicas y físicas de los pinos con la capacidad del árbol para producir resina, lo que posteriormente fue corroborado por Squillace (1965) y Goddard y Peters (1965). La alta correlación positiva entre algunas características dendrométricas y la producción de resina (Tabla 3), indican la posibilidad de hacer una preselección indirecta de individuos superiores en producción de resina en esta especie.

Variables productivas

El número de caras vivas fue la segunda variable seleccionada por el modelo de regresión, es comprensible tomando en cuenta que al aumentar el número de caras aumentó la producción (Tabla 2), que probablemente fue lo que más influyó para definir su selección en el modelo, pero esta variable también estuvo relacionada con otras variables ecológicas (PEND, UNCL), dendrométricas (DAP, DICO, DIRA) y productivas (ANCA) (Tabla 3). La correlación positiva ($r=0.67$; $P=0.01$) entre el NCVI y la RESM fue algo no esperado, ya que Fabián-Plesníková (2014) había encontrado un correlación negativa ($r=-0.59$; $P\leq 0.05$) en *Pinus pringlei* entre estas variables.

Teniendo en cuenta que la producción media anual de resina por árbol a nivel nacional es de 2.0 kg y para *P. oocarpa* es del orden de 3.5 kg (Gutiérrez, 1979) se puede considerar a los 30 individuos caracterizados en el presente estudio, como una selección eficaz dentro de un programa orientado al mejoramiento genético en producción de resina para *P. oocarpa*.

CONCLUSIONES

El análisis retrospectivo mostró que los dos tipos de climas observados en el presente estudio se asocian con diferencias importantes en la producción de resina, ya que, al parecer, el clima semicálido subhúmedo, los suelos de tipo luvisol crómico y la temperatura, favorecen la producción de resina en *P. oocarpa*, por lo que podrían usarse como indicadores en la búsqueda de árboles con buena producción de resina y de áreas con vocación productora de resina para esta especie. Por la alta correlación entre la producción de resina y el DAP, así como el DICO, estos caracteres podrían utilizarse en la preselección indirecta de árboles de *P. oocarpa* altamente productores de resina. La selección de árboles con DAP mayores a 50 cm podría incrementar la probabilidad de lograr mayores ganancias en producción de resina.

RECONOCIMIENTOS

El primer autor agradece el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de una Beca de Posgrado (Becario 577139). Al Proyecto CIC-2015 de la UMSNH. Así como la valiosa colaboración del personal del Proyecto Ejido Verde y Resinado; M.C. Irenka Fabián Plesníková, M.C. Leobardo Bahena Betancourt, Lucas Aguilar Torres, Ing. Juan Huerta Hernández e Ing. Enrique Mendoza Solís.

LITERATURA

- Baier, P., E. Fuhrer, T. Kirisits y S. Rosner. 2002. Defence reactions of Norway spruce against bark beetles and the associated fungus *Ceratocystis polonica* in secondary pure and mixed species stands. *Forest Ecology and Management* 159:73–86.
- Barret, W.H. 1980. Selección y manejo de rodales semilleros con especial referencia a coníferas. In: FAO-DANIDA. Mejora genética de árboles forestales. FAO Montes 20. Mérida, Venezuela. pp. 158-165.
- Blanche, C.A., P.L. Lorio, R.A. Sommers, J.D. Hodges, y T.E. Nebeker. 1992. Seasonal cambial growth and development of loblolly-pine: xylem formation, inner bark chemistry, resin ducts, and resin flow. *Forest Ecology and Management* 49(1-2):151-165.
- Bohlmann, J. y C.I. Keeling. 2008. Terpenoid biomaterials. *Plant Journal* 54:656-669.
- 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.
- Cunningham, A.P. 2009. Estado actual de la resinación. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. 7 p.
- Del Castillo, R.F., S. Acosta S., N. Sánchez-Vargas. 1995. Estudio ecológico de *Pinus chiapensis*. Resultados de Investigación y Desarrollo Tecnológico. CIIDIR-IPN. Oaxaca, México. pp. 89 - 93.

- Diario oficial de la Federación. 2006. Norma Oficial Mexicana NOM 026-SEMARNAT. 5 p.
- Fabián-Plesníková, I. 2014. Variación genética en un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* Shaw Ex Sargent procedentes de árboles superiores en producción de resina. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), México 68 p.
- Goddard, R.E. y W.J. Peters. 1965. Progress in the selection and breeding of superior trees to upgrade gum yield. *Naval Stores Review* February:4-5.
- Gutiérrez, J.T. 1979. La producción de resina en pinares de ciertas áreas del Estado de Michoacán bajo condiciones experimentales. *Revista Ciencia Forestal* 4(21):17-54.
- Hall, D.E., Z. Philipp, J. Sharon, L.Q. Alfonso, D. Harpreet, L.M. Lina, Y. Macaire y B. Jörg. 2013. Evolution of conifer diterpene synthases: diterpene resin acid biosynthesis in Lodgepole Pine and Jack Pine involves monofunctional and bifunctional diterpene synthases. *Plant Physiology* 161(2):600-616.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Unidades climáticas digitales a nivel nacional. México. Esc 1:1000000.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1999a. Cartas estatales topográficas digitales del Estado de Michoacán. México. Ario de Rosales. Escala 1:50000. Segunda. Edición.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1999b. Carta topográfica digital (E-14 A 41) Ario de Rosales. México. Escala 1:50000. Segunda. Edición.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 1998. Cartas estatales edafológicas del Estado de Michoacán. México.

- Kane, J. y T.E. Kolb. 2010. Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attacks. *Oecologia* 164: 601-609.
- Langenheim, J.H. 2003. Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany. Timber Press, Portland, Oegon, USA. 612 p.
- Lewinsohn, E., M. Gijzen, R.M. Muzika, K. Barton y R. Croteau. 1993. Oleoresinosis in Grand Fir (*Abies grandis*) saplings and mature trees (modulation of this wound response by light and water stresses). *Plant Physiol* 101(3):1021-1028. doi:101/3/1021 [pii].
- Lombardero, M.J., M.P. Ayres, P.L. Lorio y J.J. Ruel. 2000. Environmental effects on constitutive and inducible resin defences of *Pinus taeda*. *Ecology Letters* 3(4):329-339.
- Mohn, W.W., V.J.J. Martin y Z. Yu. 1999. Biochemistry and ecology of resin acid biodegradation in pulp and paper mill effluent treatment systems. *Water Science et Technology* 40(11-12):273-280.
- Rodrigues, K.C.S., P.C.N. Azevedo, L.E. Sobreiro, P. Pelissari y A.G. Fett-Neto. 2008. Oleoresin yield of *Pinus elliottii* plantations in a subtropical climate: effect of tree diameter, wound shape and concentration of active adjuvants in resin stimulating paste. *Industrial Crops and Products* 27(3):322-327.
- Rodrigues, K.C.S. y A.G. Fett-Neto. 2009. Oleoresin yield of *Pinus elliottii* in a subtropical climate: seasonal variation and effect of auxin and salicylic acid-based stimulant paste. *Industrial Crops and Products* 30(2): 316-320.
- Rodrigues-Correa, K.C.S., J.C. de Lima y A.G. Fett-Neto. 2012. Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. *Food and Energy Security* 1(2):81-93.

- Romahn de la Vega., C.F. y H. Ramírez Maldonado. 2010. Dendrometría. División de Ciencias Forestales ENA/UACH. Chapingo, México. 294 p.
- Sáenz-Romero, C., R.R. Guzmán-Reina y G.E. Rehfeldt. 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* 229(1-3): 340-350.
- SAS Institute. 1999. Statistical Analysis System SAS/STAT[®] User's Guide, Version 8, Cary, NC USA.: SAS Institute Inc. 3884 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2009. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México, D.F. 222 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario oficial de la Federación, 2006. Norma Oficial Mexicana NOM 026-SEMARNAT. 5 P.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2014. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. México, D.F. 219 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2013. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Primera edición 2014. México, D.F. 231 p.
- Squillace, A.E. 1965. Combining superior growth and timber quality with high gum yield in slash pine. Proc. 8th South Conference on Forest Tree Improvement. United States Department of Agriculture-USDA, Forest Service Research Publications: pp. 73-76.
- Squillace, A.E. y G.W. Bengston. 1961. Inheritance of gum yield and other characteristics of slash pine. In: Proc. 6th Southern Conference on Forest Tree Improvement. Savannah: United States Department of Agriculture-USDA, Forest Service Research Publications: pp.85-96.

- Steel, R.G.D., J.H. Torrie y D.A. Dickey. 1997. Principles and procedures of statistics, a biometrical approach. 3th edition. McGraw-Hill series in Probability and Statistics. WCB/McGraw-Hill. E. E. U. U. 666 p.
- Tadesse W., F.J. Auñón, J.A. Pardos, L. Gil y R. Alía. 2001a. Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. *Investigación Agraria: Sistema y Recursos Forestales* 10(1):141-150.
- Tadesse W., N. Nikos, F.J. Auñón, R. Alía y L. Gil. 2001b. Evaluation of high resin yielders of *Pinus Pinaster* Ait. *Forest Genetics* 8 (4): 271- 278.
- Tyler, A.L., D.C. Macmillan y J. Dutch. 1996. Models to predict the general yield class of *Pseudotsuga menziesii*, Japanese larch and scots pine on better quality land in Scotland. *Forestry* 69(1):13-24.



Técnica de mini resinación en *P. oocarpa*. 18 meses de edad

CAPÍTULO 2

MINIRESINACIÓN TEMPRANA DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE *ex* SCHLTDL. EN ETAPA DE VIVERO

RESUMEN

La producción de oleoresina de *P. oocarpa* es parte de los sistemas de defensa de la planta y es posible inducirlo de forma artificial por diversos estimulantes químicos. El presente trabajo explora la eficacia de la técnica de minirresinación en familias de medios hermanos de *P. oocarpa*, provenientes de árboles fenotípicamente superiores en producción de resina, en etapa de vivero. El experimento fue diseñado con el objetivo de verificar si la aplicación de ácido sulfúrico provocaba un aumento de la producción de oleoresina en edad temprana, en *P. oocarpa*. La minirresinación se realizó a los 18 meses de edad, en 320 plantas provenientes de 20 árboles seleccionados como fenotípicamente superiores en producción de resina, en el Ejido de San José de Cañas. El experimento consistió en realizar una pequeña incisión (pica) en forma perpendicular al tallo aplicando dos tratamientos (T), uno para estimular la producción de resina (ácido sulfúrico líquido al 50% -T₁-), y otro sin aplicación de estimulante (T₂). Con el volumen de la resina recolectada durante enero de 2016 se realizó un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS. Se encontraron diferencias en producción de resina entre tratamientos (P = 0.0294), siendo T₁ mejor que T₂.

Palabras clave: *Pinus oocarpa*, estimulante, producción de resina, mini resinación.

SUMMARY

EARLY MINIATURE CHIPPING OF *PINUS OOCARPA* SCHIEDE EX SCHLTDL. AT NURSERY STAGE

SUMMARY

The production of oleoresin of *P. oocarpa*, is part of its defense systems and is induced artificially by various chemical stimulants. The present work explores the effectiveness of the technique of miniature chipping in half-silbs of *P. oocarpa* at nursery stage. The seedlings were from trees selected as high resin yielders. The aim of the study was to verify whether the application of sulfuric acid caused an increase in the production of oleoresin at early age in *P. oocarpa*. The miniature chipping was performed at 18 months of age, in 320 seedlings of *P. oocarpa*, from 20 trees selected as high resin yielders, in the Ejido of San José de Cañas. The experiment consisted in perform a small incision (PICA) perpendicular to the stem and to apply two treatments (T). In the first one to stimulate the production of resin was use liquid sulfuric acid (50% - T1) and the second without application of stimulant (T2). With the collected oleoresin (during January 2016) variance analysis was performed with the GLM of SAS procedure. Statically significant differences were found in the oleoresin yield measurements between treatments ($P = 0.0294$), being T1 better than T2.

Key words: *Pinus oocarpa*, stimulant, resin yield, mini resinación.

INTRODUCCIÓN

Pinus oocarpa Schiede *ex* Schltdl es una especie de interés económico en el Estado de Michoacán, México, debido a su alta producción y calidad de resina. (Zamora y Velasco, 1978; COFOM, 2001). Por más de setenta años, 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 de *P. oocarpa* que sirvan como fuente de germoplasma de una calidad mejorada.

Las defensas de usos múltiples de las coníferas han resultado ser muy eficaces contra una amplia gama de posibles atacantes y han resistido la prueba del tiempo a través de 200 millones de años de exposición a enemigos naturales (Franceschi *et al.*, 2005).

Especies de coníferas y escarabajos de la corteza, han coexistido probablemente durante al menos tres millones de años de interacción y coevolución (Seybold *et al.*, 2000). En los pinos, la resina es una defensa primaria contra insectos descortezadores, se produce y se almacena en un sistema de conductos verticales y horizontales en el floema y xilema de un árbol (Franceschi *et al.*, 2005). Los conductos de resina funcionan como una defensa constitutiva física, de tal forma que existen en el árbol antes del ataque de insectos, y como una defensa inducible que produce resina en respuesta a heridas, ataques de insectos o infección (Franceschi *et al.* 2005; Seybold *et al.*, 2006; Kolosova y Bohlmann, 2012).

El tiempo de respuesta de las defensas inducibles desde el momento del ataque a la inducción completa, puede variar de minutos a semanas, dependiendo del tipo de defensa que se activa. Procesos lentos son la formación de canales traumáticos de resina en la albura, los cuales pueden requerir de 2 a 3 semanas en *Picea abies* (Nagy *et al.*, 2004), la cicatrización de una herida en la peridermis puede requerir varias semanas para completarse (Franceschi *et al.*, 2005).

La tasa de ganancia genética forestal en la mayoría de los programas de mejoramiento de árboles depende en gran medida de qué tan tempranamente se pueden evaluar las familias de forma confiable mediante ensayos de progenie (Lambeth, 1983; Burdon, 1989). Así mismo, En evaluaciones tempranas en producción de resina en *Pinus elliottii* se estimaron coeficientes de heredabilidad por el orden de 0.38 a 0.52 (Garrido *et al.*, 1988). Las correlaciones genéticas entre las edades de 4 y 12 años en progenies de polinización abierta de 90 árboles fenotípicamente superiores de *P. elliottii* var. *elliottii*, seleccionada para la producción de resina, fueron altas ($r \geq 0.55$). Esto muestra la posibilidad de realizar selecciones en edades tempranas (Romanelli y Sebbenn, 2004).

Tadesse *et al.*, (2001) evaluaron la eficacia de la miniresinación en árboles injertados de *P. pinaster* para estimar la heredabilidad en sentido amplio de la producción de resina en el banco clonal de Carbonero en Segovia, España, estimando un valor de 0.50 para la producción de resina.

La herida mecánica al momento de realizar la resinación comercial de pinos productores de resina, por sí sola, induce respuestas de defensa de las plantas lesionadas. Esta respuesta

inducida ha demostrado estar fuertemente relacionada con la biosíntesis de oleorresina. Adicionalmente a la herida mecánica, los productores (en forma comercial) han venido utilizando diversos tipos de estimulantes químicos para promover las respuestas defensivas de los pinos (Lombardero, 2006), algunas de estas sustancias están relacionados con mecanismos de respuesta al estrés, tal es el caso del uso del ácido sulfúrico, el cual probablemente sea el agente químico estimulante más utilizado con éxito en las operaciones comerciales de resina (Nájera, 1961) y que posiblemente funciona como un generador de radicales libres mejorando la respuesta a las heridas (Rodrigues, 2008).

Los primeros trabajos científicos para incrementar la cantidad de resina en pinos, mediante el uso de ácidos fuertes y algunas bases y sales, obteniendo una mayor eficacia del estimulante a las picas recién hechas, se remontan al año 1933 (Nájera y Angulo, 1961). La producción actual de oleorresina inducible por lesión con estimulantes, busca imitar la respuesta al ataque por insectos descortezadores (Trapp y Croteau, 2001). La aplicación de elicitadores químicos como el ácido jasmónico y su metil ester, metil jasmonato (MJ), el metil salicilato y el etileno puede inducir respuestas defensivas equivalentes a las producidas por ataques de insectos y patógenos (Hudgins y Franceschi, 2004; Broekaert et al., 2006; Erbilgin et al., 2006).

En este capítulo se compararon los resultados de dos tratamientos, uno que estimula la resinación a base de ácido sulfúrico diluido en agua al 50% y otro sin estimulante. Está demostrado en varias especies de coníferas que la aplicación exógena de MJ genera respuestas defensivas similares a las provocadas por los herbívoros (Franceschi *et al.*, 2002; Hudgins *et al.*, 2003; Gould *et al.*, 2008). Sin embargo, todavía no existen estudios que demuestren efectos similares

mediante la estimulación exógena con ácido sulfúrico en los primeros meses de edad en *P. oocarpa*.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue verificar si la técnica de miniresinación mediante el uso de ácido sulfúrico incrementa la producción de resina en plántulas de familias de medios hermanos de *Pinus oocarpa* en etapa de vivero, sin provocar mortandad de plántulas. Lo que permitiría su implementación en pruebas genéticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del vivero forestal Ferreira-Yunnan, de la Unión Nacional de Resineros, A.C. (UNR) que se localiza en las coordenadas 19° 42' 33.30" de Latitud N y 101° 11' 37.80" de Longitud O, a una elevación de 1893 msnm, con una temperatura media anual de 16.0 °C y una precipitación promedio anual de 800 mm. Se estableció un ensayo de progenies con semillas de polinización libre colectada de 20 árboles altamente productores de resina. Las plántulas se dispusieron en bloques al azar con cuatro árboles como unidad experimental y dos tratamientos, uno con estimulante para la inducción de defensas mediante la aplicación exógena de ácido sulfúrico al 50 % y otro sin aplicación de estimulante que correspondió al control.

Después de 18 meses de edad se inició la miniresinación que consistió en realizar con taladro, incisiones (picas) en forma perpendicular al tallo a la altura de la bolsa o contenedor (25 cm aprox.), con una broca de 3 mm de diámetro a una profundidad de 3 mm, realizando dos tratamientos: T1.-perforación del tallo con estimulante líquido (ácido sulfúrico al 50 %), T2.- perforación del tallo sin estimulante. Se cuantificó el peso de la resina recolectada por miniresinación durante ocho días en enero de 2016 con una báscula con aproximación a décimas de gramo, marca Sartorius TE-412.

En las progenies se evaluaron las variables altura total (alt) hasta la yema principal, con la ayuda de una cinta métrica graduada en mm y diámetro del tallo aproximadamente a 25 cm (la altura de la bolsa), con un vernier digital marca Mitutoyo (America Corporation).

Análisis de datos

Con el Modelo Lineal General (Proc GLM, SAS Institute, 2004), se realizó un análisis de varianza para determinar la diferencia estadística entre tratamientos, 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 con el i -ésimo tratamiento, μ es el valor promedio de la población; T_i es el efecto fijo del i -ésimo tratamiento; 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 tratamiento y la j -ésima familia [$E(TF_{ij})=0$; $\text{Var}(TF_{ij})=\sigma^2_{TF}$]; e_{ijk} es el error aleatorio experimental [$E(e_{ijk})=0$; $\text{Var}(e_{ijk})=\sigma^2_\epsilon$].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En vivero, en donde las plantas tuvieron condiciones óptimas de luz, temperatura y nutrimentos, el análisis de varianza mostró diferencias ($P = 0.0294$) entre tratamientos, al evaluar la producción de resina a la edad de 18 meses (Cuadro 2.1). Es decir, se logró mayor producción en el tratamiento T1 (sin provocar mortandad de plantulas), en relación al tratamiento sin estimulante químico, T2. Esto coincide con lo observado por Nájera y Angulo (1961) quienes señalan que una vez que el ácido sulfúrico entra en contacto con la albura disuelve la celulosa provocando un flujo mayor que cuando no es aplicado el ácido.

Estos resultados son similares a los obtenidos por McReynolds (1982), quien destaca un incremento del 25 al 60 % de la producción de resina en *P. elliotii* de 30 años de edad, utilizando como estimulante pasta sulfúrica al 50 % y ethephon 2.5-3.4 %. Esto sin que el ácido sulfúrico afecte la supervivencia del árbol joven, a nivel microscópico se ha observado que solo afecta al floema y las primeras filas de traqueidas en contacto con la zona cambial, no llegando a penetrar más de un par de milímetros en el xilema (Rodrigues, 2016).

El conocer cómo reacciona la planta frente a un estímulo externo como es la herida, más la aplicación de ácido sulfúrico, permite la optimización de este tipo de herramientas para conseguir una respuesta temprana (18 meses) con el mínimo daño para la planta.

Cuadro 2.1. Análisis de varianza de un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa* establecido en Morelia, Michoacán, México.

F.V.	GL	CM	F	Pr>F	Tukey
Producción de resina					
Bloq	3	0.00301	0.7	0.5564	P<0.05
Fam	19	0.00143	0.33	0.9935	P<0.05
Trat	1	0.02201	5.13	0.0294	P<0.05
Bloq*Fam	36	0.00400	0.93	0.5825	P<0.05

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 estadística y la probabilidad de la prueba de Tukey

Dentro de los diferentes estímulos que promueven el desarrollo de canales traumáticos y la síntesis de nueva resina, el efecto de los estimulantes químicos y heridas (resinación) adquiere especial importancia (Ruel *et al.*, 1998; Luchi *et al.*, 2005), sobretodo al realizarlo en etapa temprana.

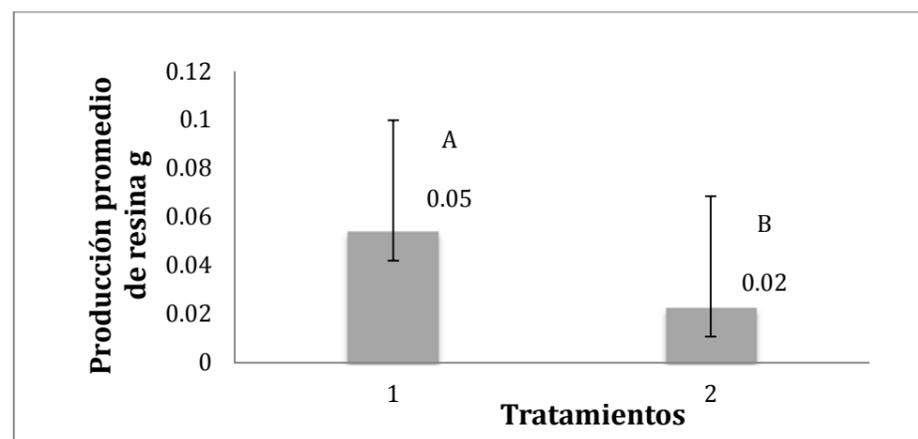


Figura 2.1. Producción promedio de resina de *P. oocarpa* en etapa de vivero a los 18 meses de edad, con estimulación química. T1=perforación del tallo con estimulante líquido a base de ácido sulfúrico al 50 %, T2= perforación del tallo sin estimulante químico.

A los 18 meses de edad las plantas alcanzaron una altura promedio de 60 cm y un diámetro promedio a la altura de 25 cm desde la base hasta la yema apical, de 1.6 cm. El análisis de correlación no mostró relación entre el diámetro de tronco y la producción de resina, efecto que sí se ha observado en árboles adultos de esta especie mostrando que cuanto mayor es el diámetro del tronco, mayor es la producción de resina (Rodrigues *et al.*, 2008). Sin embargo, dicha relación no fue apreciada en esta edad, lo cual pudiera estar influenciado por el tamaño de la herida o perforación (Hadiyane, 2015).

Cuadro 2.2. Correlaciones entre producción de resina y características de crecimiento de progenies de *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltdl., en etapa de vivero.

	Trat	Diam	Alt
PesoRes	0.26 *	0.02 ^{ns}	0.21 ^{ns}
Trat	1	-0.10 ^{ns}	-0.16 ^{ns}

ns: no significativo. *: significativo $P \leq 0.05$, PesoRes = peso de resina promedio por tratamiento, Diam=diámetro a la altura del cuello, Alt=altura total de planta, Trat=tratamiento.

Las defensas inducidas son sintetizadas o movilizadas solamente cuando se produce un daño o agresión (Karban y Baldwin, 1997), lo cual explica las diferencias observadas entre los tratamientos. La inducción por ataque de herbívoros, infección por patógenos, heridas o aplicación mecánica de hormonas, activa de la respuesta defensiva (Mumm y Hilker, 2006).

CONCLUSIONES

Este estudio mostró la utilidad de la técnica de miniresinación para la evaluación de la producción de resina de *P. oocarpa* en edad temprana, ya que en conjunto con el uso de ácido sulfúrico, fue posible obtener rendimientos de resina medibles a los 18 meses de edad. Los árboles que fueron estimulados con ácido sulfúrico lograron producir, en promedio, un 57.9 % más de volumen, encontrándose diferencias ($P = 0.0294$) entre los tratamientos utilizados ya que los traumas incrementan la expresión genica de la ACC-oxidasa, un precursor del etileno en los canales resiníferos (Franceschi *et al*, 2005).

El desarrollo de protocolos de mini resinación con estimulante a base de ácido sulfúrico para *Pinus oocarpa* en los primeros meses de edad del árbol, podría convertirse en una herramienta de gran utilidad para la selección de plantas en vivero (plantas con mayor producción de resina) y para complementar los parámetros para la selección de fuentes de semillas de individuos con mayor producción de resina. No obstante, queda por evaluar si este mecanismo expresado en la edad temprana, sigue funcionando en la fase adulta de progenies de *P. oocarpa*.

LITERATURA

- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Michoacán, México. 97 p.
- Burdon, R. D. 1989. Early selection in tree breeding: principles for applying index selection and inferring input parameters. *Canadian Journal of Forest Research*, 19(4), 499-504.
- Fabián-Plesníková, I. 2014. Variación genética en un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* Shaw Ex Sargent procedentes de árboles superiores en producción de resina. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), México 68 p.
- Franceschi, V., Krekling, T., Christiansen, E., 2002. Application of methyl jasmonate on *Picea abies* (Pinaceae) stems induces defense-related responses in phloem and xylem. *American Journal of Botany* 89, 578-586.
- Franceschi, V.R., Krokene, P., Christiansen, E., Krekling, T. 2005. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytologist*, 167(2), 353-376.
- Gutiérrez, J.T. 1979. La producción de resina en pinares de ciertas áreas del Estado de Michoacán bajo condiciones experimentales. *Revista Ciencia Forestal* 4(21):17-54.
- Garrido, L., Garrido, M. D. O., & Kageyama, P. 1988. Teste de progenies precoce de meios-irmaos de *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* de árvores superiores para produção de resina 1. *Silvicultura em Sao Paulo*, 20-22.

- Hadiyane, A., Sulistyawati, E., Asharina, W. P., & Dungani, R. 2015. A Study on Production of Resin from *Pinus merkusii* Jungh. Et De Vriese in the Bosscha Observatory Area, West Java-Indonesia. *Asian Journal of Plant Sciences*, 14(2), 89.
- Hudgins, J.W., Franceschi, V.R., 2004. Methyl jasmonate-induced ethylene production is responsible for conifer phloem defense responses and reprogramming of stem cambial zone for traumatic resin duct formation. *Plant Physiology* 135, 2134–2149.
- Kolosova, N., & Bohlmann, J. 2012. Conifer defense against insects and fungal pathogens. In *Growth and defence in plants* (pp. 85-109). Springer Berlin Heidelberg.
- Karban, R., Baldwin, I., 1997. Mechanisms of induced responses. *Induced Responses to Herbivory*. Thompson, J.N.(Ed.). Chicago University Press, pp. 47–103.
- Lambeth, C. C. 1983. Early testing--an overview with emphasis on loblolly pine. In *Proceedings of the Southern Forest Tree Improvement Conference*.
- Lombardero, M. J., Ayres, M. P., & Ayres, B. D. 2006. Effects of fire and mechanical wounding on *Pinus resinosa* resin defenses, beetle attacks, and pathogens. *Forest Ecology and Management*, 225(1), 349-358.
- Luchi, N., Ma, R., Capretti, P., & Bonello, P. 2005. Systemic induction of traumatic resin ducts and resin flow in Austrian pine by wounding and inoculation with *Sphaeropsis sapinea* and *Diplodia scrobiculata*. *Planta*, 221(1), 75-84.
- Madrigal-Sánchez, X., & Guridi-Gómez, L. 2002. Los árboles silvestres del municipio de Morelia, Michoacán. México. *Ciencia Nicolaita*, 33, 29-58.
- Nájera y Angulo, F. 1961. Sistema de resinación de pica de corteza estimulado con ácido sulfúrico: normas de aplicación Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), Madrid.

- Nagy, N. E., Fossdal, C. G., Krokene, P., Krekling, T., Lönneborg, A., & Solheim, H. 2004. Induced responses to pathogen infection in Norway spruce phloem: changes in polyphenolic parenchyma cells, chalcone synthase transcript levels and peroxidase activity. *Tree Physiology*, 24(5), 505-515.
- Rodrigues, K. C. S., Azevedo, P. C. N., Sobreiro, L. E., Pelissari, P., & Fett-Neto, A. G. 2008. Oleoresin yield of *Pinus elliottii* plantations in a subtropical climate: effect of tree diameter, wound shape and concentration of active adjuvants in resin stimulating paste. *industrial crops and products*, 27(3), 322-327.
- Rodríguez García, A. 2016. Factores anatómicos, dendrométricos y climáticos implicados en la producción de resina de *Pinus pinaster* AIT.: aplicación a la mejora de los métodos de resinación (Doctoral dissertation, Montes).
- Romanelli RC, Sebbenn AM. 2004. Genetic parameters and selection gains for oleoresin production in *Pinus elliottii* var. *elliottii*, in south of Sao Paulo state. *Revista do Instituto Florestal* 16: 11–23.
- Ruel, J. J., Ayres, M. P., & Lorio, Jr, P. L. 1998. *Loblolly pine* responds to mechanical wounding with increased resin flow. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(4), 596-602.
- Seybold, S. J., Bohlmann, J., & Raffa, K. F. 2000. Biosynthesis of coniferophagous bark beetle pheromones and conifer isoprenoids: evolutionary perspective and synthesis. *The Canadian Entomologist*, 132(06), 697-753.
- Seybold, S. J., Huber, D. P., Lee, J. C., Graves, A. D., & Bohlmann, J. (2006). Pine monoterpenes and pine bark beetles: a marriage of convenience for defense and chemical communication. *Phytochemistry Reviews*, 5(1), 143-178.

- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2004. SAS / STAT Guide For Personal Computers, Version 9.1, Cary, N. C. USA: Author.
- Tadesse W., F. J. Auñón, J. A. Pardos, L. Gil y R. Alía. 2001. Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. Invest. Agr. Sist. Recur. For. 10(1): 141-150.
- Trapp, S., & Croteau, R. 2001. Defensive resin biosynthesis in conifers. Annual review of plant biology, 52(1), 689-724.
- Zamora, S. C. y V. Velasco F. 1978. Contribución al estudio ecológico de los pinos del estado de Chiapas. Boletín Técnico No. 56. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. 32 p.



Técnica de mini resinación en *P. oocarpa*. A cinco años de edad

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN TEMPRANA DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE EX SCHLTDL. POR MINIRESINACIÓN

RESUMEN

En mejoramiento genético forestal, la tasa de ganancia genética es mayor mientras más temprano las familias se puedan evaluar de forma confiable mediante ensayos de progenies. El objetivo del presente trabajo fue estimar el grado de control genético de la producción de resina, mediante la técnica de miniresinación en familias de medios hermanos de *Pinus oocarpa*, provenientes de 30 árboles fenotípicamente superiores en producción de resina, establecidos en la localidad de San Joaquín a 1300 msnm, ubicado en los 19°04'41.30" de Latitud Norte y 101°46'24.30" de Longitud Oeste. La producción de resina presentó valores de heredabilidad individual (h^2_i) de 0.11 a 0.25. La heredabilidad de medias de familias (h^2_f) presentó valores de 0.45 a 0.65. Los resultados obtenidos permiten concluir que la producción de resinas un caracter de alta heredabilidad. La selección temprana de *P. oocarpa* por miniresinación, a los 5 años de edad, a partir de los mejores individuos de las 7 mejores familias ($i= 1.36$), permitió estimar una ganancia genética esperada de 37.2 % en la producción de resina al quinto año de edad en la siguiente generación.

Palabras clave: heredabilidad, ganancia genética, ensayo de progenies.

CHAPTER 3

EARLY SELECTION OF *Pinus oocarpa* SCHIEDE EX SCHLTDL BY MINIATURE CHIPPING

ABSTRACT

The rate of genetic gain is higher, if families by progeny can be early reliably tested. The objective of the present work was to estimate the degree of genetic control of oleoresin production by means of the miniature chipping technique in families of half-silbs of *Pinus oocarpa* from 30 trees with a high yield of oleoresin, established in the site of San Joaquin at 1300 elevation, at 19° 04'41.30 Latitude and 101 ° 46'24.30 Longitude. The oleoresin yield presented values of narrow sense (h^2_i) of 0.11 to 0.25. The heritability at family mean level (h^2_f) presented values from 0.45 to 0.65. The results obtained allow us to conclude that resin flow is a highly heritable traits . The early selection of *P. oocarpa* by miniature-chipping at 5 years of age, from the best individuals of the 7 best families ($i = 1.36$), allowed to estimate an expected genetic gain of 37.2% in resin production at the fifth year of age in The next generation.

Key words: heritability, genetic gain, progeny test

INTRODUCCIÓN

Pinus oocarpa Schiede *ex* schtdl tiene una amplia distribución desde el sur de Sonora en México, hasta el norte de Nicaragua, en una extensión de 3,000 km (Robbins, 1983). Debido a su alta producción y calidad de resina se considera como una especie de interés económico en el Estado de Michoacán, México (Zamora y Velasco, 1978; COFOM, 2001; Fabián-Plesníková 2014). En Chiapas destaca su importancia como madera aserrada y material combustible (Zamora y Velasco, 1978). En Michoacán, *P. oocarpa* se desarrolla en zonas con características óptimas de altitud, temperatura y clima para el cultivo de aguacate lo que la convierte en una especie con alto riesgo de desaparecer de estos ecosistemas (INIFAP, 2012). Aunado a este problema, está la falta de estudios sobre aspectos de repoblación, reproductivos y de diversidad genética, a pesar que ofrece una opción de ingresos real para aquellas áreas donde los volúmenes de extracción de madera son bajos y/o la calidad de la madera para aserrío no es viable para obtener otros productos maderables (Leyva *et al*, 2012).

La resina, es una mezcla viscosa de terpenos (Shimizu y Spir, 1999; Lombardero *et al.*, 2000), mono terpenos volátiles (C10), sesquiterpenos (C15) (trementina). y diterpenos no volátiles (C20) (colofonia), que *Pinus oocarpa* produce, al igual que otras pináceas pero en mayor cantidad, como una defensa contra insectos descortezadores, hongos asociados y daños mecánicos (Franceschi *et al.*, 2005). Actualmente la oleorresina de pino es utilizada como materia prima en la industria química de sabores y fragancias (Adams *et al.*, 2003; Ancel *et al.*, 2004). para producir varios tipos de subproductos farmacológicos como, por ejemplo, *taxol* (Mahmoud & Croteau, 2002), para producir artículos de limpieza, insecticidas, disolventes,

encolado del papel, pintura, tinta de impresora, productos farmacéuticos, cosméticos, compuestos de aroma y sabor, aditivos alimentarios, entre otros (Bohlmann y Keeling 2008; Rodríguez *et al.*, 2012).

Los monoterpenos y sesquiterpenos son los componentes orgánicos volátiles más frecuentes en coníferas (Kishimoto *et al.*, 2005; Keeling y Bohlmann, 2006), presentes en la resina que las coníferas usan como defensa química y física contra intrusos (Franceschi *et al.*, 2005). La herida mecánica que se hace a los pinos sometidos a resinación comercial, por sí misma induce una respuesta de defensa, sin embargo, la producción de resina puede ser inducida químicamente y modulada mediante la aplicación de componentes activos que provocan la respuesta de defensa (Mumm y Hilker, 2003).

En México, la técnica de aprovechamiento de resina de pino consiste en realizar una o más incisiones en forma de canalillo, llamadas caras de resinación, a lo largo del fuste de un árbol las cuales deben estar separadas por espacios llamados entrecaras, el diámetro mínimo del árbol por aprovechar, el cual debe ser medido a 1,30 m de altura a partir de la base del tronco, es de 25 cm (Semarnat. 2006), esto significa esperar más de 12 años de edad para alcanzar estas dimensiones de diámetro de tallo. A fin de acortar el tiempo necesario para la evaluación de la capacidad de producción de resina en las pruebas genéticas, varios investigadores comenzaron a adoptar la micro-resinación, como una forma de acelerar el proceso de mejoramiento genético (Shimizu y Spir 1999).

El uso de estrategias alternativas, como la miniresinación, pueden permitir estimaciones de los parámetros genéticos de la productividad de la resina, en las pruebas de

progenie de 2,5 años de edad (Squillace y Gancel, 1974), obtuvieron ganancias de avance de 7 a 8 años por generación, en comparación a los obtenidos en forma convencional. La técnica de mini resinación se basa en una abertura o incisión pequeña en el tronco del árbol, (Squillace y Gancel, 1968). por lo tanto puede ser usada para una evaluación precoz de la producción de resina en árboles de dimensiones pequeñas.

A partir de la selección de árboles altamente productores de resina se han obtenido importantes ganancias genéticas (Squillace, 1965), por lo que se han realizado trabajos destinados a incrementar la producción de resina mediante programas de mejora genética de las especies objeto de resinación (Tadesse *et al.*, 2001). En evaluaciones precoces en producción de resina en *Pinus elliottii* (Garrido *et al.*, 1988) se estimaron coeficientes de heredabilidad por el orden de 0.38 a 0.52. La tasa de ganancia genética en la mayoría de los programas de mejoramiento de árboles, depende en gran medida de la edad temprana a que las familias se pueden evaluar de forma confiable mediante ensayos de progenie.

OBJETIVOS

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar el grado de control genético de la producción de resina a nivel individual (h^2_i) y de medias de familias (h^2_f) (heredabilidad en el sentido estricto) mediante la técnica de miniresinación, en un ensayo de progenies de medios hermanos de *Pinus oocarpa* provenientes de árboles fenotípicamente superiores en producción de resina, establecido en Ario, Michoacán.

MATERIALES Y MÉTODOS

En Julio del 2011 se estableció un ensayo de progenies en Ario de Rosales, Michoacán a los 19°04'41.30" de Latitud Norte y los 101°46'24.30" de Longitud Oeste, a 1300 msnm. El germoplasma utilizado proviene de treinta árboles madre de polinización abierta de *P. oocarpa* elegidos por su alta producción de resina, 12 de ellos con producciones en un período de cinco meses, de entre 12.73 y 27.25 kg de resina. El ensayo constó de 644 árboles bajo un diseño de diez bloques completamente al azar plantados en marco real a una distancia de 3.0 x 3.0 m entre plantas.

La miniresinación se realizó sobre la cara del tronco del árbol con orientación al Este. El proceso consistió en: a). Desroñe o eliminación de la corteza exterior del árbol hasta una altura aproximada del tronco de 15 cm a partir del suelo; b) Engrapado o colocación de una "visera" en el tronco, en la parte del tronco que fue descubierta en el desroñe, debajo de la incisión, que facilita la caída de la resina al bote recolector. La visera se golpeó con un mazo

de madera hasta conseguir que penetrara 0.5 cm aproximadamente; c) Colocación del bote recolector que consistió en un recipiente de plástico de 50 ml de volumen, ubicado debajo de la visera y lo más cerca de ella; d) La pica o herida del árbol, se realizó haciendo una perforación, en forma perpendicular al tallo, con una broca de 6 mm de diámetro a una profundidad de 3 mm, con la ayuda de un taladro inalámbrico marca Dewalt en los años 2014 y 2015, cuando los árboles tenían un diámetro promedio a la base de tallo de 6.32 cm y 9.82 cm respectivamente. En tanto que en el año 2016 se utilizó una broca de 8 mm, cuando los árboles tenían un diámetro promedio a la base de tallo de 13.2 cm. e) La estimulación exógena de la resinación del árbol, se realizó aplicando, con jeringa estéril desechable marca BD-Plastipac, de 5.0 ml una gota de ácido sulfúrico disuelto en agua destilada al 50 % dentro del orificio; f) La recolección de resina se hizo de forma individual por árbol, cuantificando el peso de la resina recolectada en mayo de 2014, abril de 2015 y mayo del 2016, en recipientes recolectores que se pesaron individualmente, previo a su colocación en el árbol con una báscula marca Sartorius TE-412, con aproximación a décimas de gramo. Durante los mismos períodos se midió el diámetro basal (DAB), el diámetro a la altura del pecho (DAP, a 1.30 cm del suelo) con una forcípula graduada en milímetros, y la altura total del árbol (ALT) con una pértiga graduada en cm (Romahn y Ramírez, 1977).

Análisis de datos

Se determinó si existía variación entre familias, como un indicador de la variación genética, con un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM (SAS Institute, 2004), con el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \varphi_j + \beta_{\varphi ij} + e_{ijk}, \quad (\text{Ec.1}).$$

Donde: Y_{ijk} es cada una de las observaciones, μ es la media general; β_i es el efecto del bloque; φ_j es el efecto de la familia; $\beta_{\varphi ij}$ es el efecto de interacción entre el bloque y la familia; e_{ijk} es el error experimental.

Se estimaron los componentes de la varianza con el procedimiento VARCOMP (SAS Institute, 2004) y el método de máxima verosimilitud restringida (REML),

El grado de control genético de la producción de resina se obtuvo estimando la heredabilidad en sentido estricto tanto a nivel individual (h^2_i) como de medias de familias (h^2_f) con las fórmulas propuestas por Zobel y Talbert (1992):

$$h^2_i = 3 \sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{bf} + \sigma^2_e), \quad (\text{Ec. 2}).$$

$$h^2_f = \sigma^2_f / [\sigma^2_f + (\sigma^2_{bf}/b) + (\sigma^2_e/nb)] \quad (\text{Ec. 3}).$$

donde: σ^2_f = varianza entre familias, σ^2_{bf} = varianza de la interacción bloque x familia, σ^2_e =

varianza del error, $n =$ es la media armónica del número de individuos por parcela y $b =$ número de bloques.

La respuesta esperada a la selección o ganancia genética esperada (ΔG) se estimó con la siguiente ecuación (Zobel y Talbert, 1992):

$$\Delta G = (h^2_f) (S_1) + (h^2_{i(f)}) (S_2) \quad (\text{Ec. 4}).$$

donde: ΔG es la ganancia genética; h^2_f es la heredabilidad en sentido estricto de medias de familias; $h^2_{i(f)}$ es la heredabilidad de individuos dentro de familias; S_1 es el diferencial de selección 1 (diferencia entre la media de la familia seleccionada y la media general); S_2 es el diferencial de selección 2 (diferencia entre la media del individuo seleccionado y la media de la familia seleccionada). La respuesta esperada en porcentaje ($\Delta G\%$) se obtuvo mediante la ecuación:

$$\Delta G\% = (\Delta G / \bar{x}_{\text{general}}) (100) \quad (\text{Ec. 5}).$$

La relación entre diámetro basal, diámetro a la altura del pecho y la producción de resina se determinó mediante la correlación de Pearson con el procedimiento CORR (SAS Institute, 2004). Se obtuvieron las medias ajustadas (LS means) por familia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aportación de la varianza de familia a la varianza total en producción de resina fue de entre 3.4% y 8.2%. Los valores de aportación de la varianza de familia encontrados en este estudio, fueron menores a lo encontrado por Viveros *et al.* (2005) a los 2 y 6 meses de edad en poblaciones de *Pinus oocarpa*, en donde la varianza entre familias tuvo una contribución entre 7% y 22 % de la varianza fenotípica total. La mayor variabilidad se presentó dentro de parcelas (σ^2_e) aportando entre el 88.1 y 93.7 % de la variación total en los tres años de medición (Cuadro 3.1). Esto indica que existe un amplio nivel de variación entre árboles dentro de las familias, lo que permitiría hacer selección dentro de ellas.

Cuadro 3.1. Valores promedio y componentes de varianza de bloques (σ^2_b), familias (σ^2_f), interacción bloques x familias (σ^2_{b*f}) y error (σ^2_e) para producción de resina a diferentes edades en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa*.

Variable	Media	Componentes de la varianza (%)			
		σ^2_b	σ^2_f	σ^2_{b*f}	σ^2_e
Peso de resina/árbol (mayo 2014) (gr)	3.5	6.6	3.4	1.9	88.1
Peso de resina/árbol (junio 2015) (gr)	4.2	1.3	8.2	0.0	90.4
Peso de resina/árbol (mayo 2016) (gr)	8.5	2.8	3.4	0.0	93.7

La producción de resina presentó valores de heredabilidad individual (h^2_i) de bajos a medios que oscilaron de 0.11 (a los 33 y 58 meses de edad) a 0.25 (a los 45 meses de edad) de acuerdo con los valores de heredabilidad considerados para características similares, por Cornelius (1994), así como, a lo observado en producción de resina en *Pinus elliottii* (Garrido y Kageyama, 1993), quienes estimaron coeficientes de heredabilidad a nivel de plantas (individuos) por el orden de 0.22 a 0.52 a las edades de 7.5, y 3.5 años respectivamente.

La heredabilidad de las medias de familias (h^2_f) mostró valores mayores (entre 0.45, a los 33 meses de edad a 0.68, a los 46 meses de edad) que la heredabilidad a nivel de individuos (h^2_i entre 0.11 y 0.25). Estos valores son similares a las heredabilidades (h^2_i) observadas en *Pinus elliottii* var. *elliottii* a los 4 años de edad de 0.47 y a los 8 años de 0.54, para producción de resina (Romanelli, 1995). Esto indica que la producción de resina es un rasgo altamente heredable a nivel de familia (Cuadro 3.2). Al asociar la tendencia del control genético con la edad del árbol, Dean *et al.* (1986) observaron que es común un incremento en la heredabilidad entre los 4 y los 11 años de edad en *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Cuadro 3.2. Varianza de familias (σ^2_f), interacción bloques x familias (σ^2_{b*f}), y varianza debido al error (σ^2_e), heredabilidades en el sentido estricto a nivel de individuos (h^2_i) y familias (h^2_f) para producción de resina a diferentes edades en un ensayo de progenies de *Pinus oocarpa*.

Variable	Media	σ^2_f	σ^2_{b*f}	σ^2_e	h^2_i	h^2_f
Peso de resina/árbol (mayo de 2014) (gr)	3.5	0.5	0.3	12.8	0.11	0.45
Peso de resina/árbol (45 meses, junio 2015) (gr)	4.2	1.5	0.0	16.2	0.25	0.68
Peso de resina/árbol (58 meses, mayo 2016) (gr)	8.5	1.9	0.0	52.3	0.11	0.46

Cuadro 3.3. Cuadro comparativo de valores de heredabilidad individual (h^2_i) y de familia (h^2_f) para producción de resina.

Producción de resina				
Especie	Edad	h^2_i	h^2_f	Fuente
<i>Pinus elliottii</i> var <i>elliottii</i>	2.5	-----	0.38	Garrido <i>et al.</i> , 1988
<i>Pinus oocarpa</i>	2.7	0.11	0.45	Estudio actual
<i>Pinus elliottii</i> var <i>elliottii</i>	3.5	-----	0.52	Garrido <i>et al.</i> , 1988
<i>Pinus oocarpa</i>	3.8	0.25	0.68	Estudio actual
<i>Pinus elliottii</i> var <i>elliottii</i>	4.0	0.47	0.78	Romanelli, 1995.
<i>Pinus oocarpa</i>	4.8	0.11	0.46	Estudio actual
<i>Pinus elliottii</i> var <i>elliottii</i>	7.5	-----	0.22	Garrido y Kangeyama, 1993.
<i>Pinus elliottii</i> var <i>elliottii</i>	9.5	-----	0.14	Garrido <i>et al.</i> , 1994.
	9.5	-----	0.37	En 3 localidades
<i>Pinus caribaea</i> var <i>bahamensis</i>	5.0	-----	0.34	Garrido <i>et al.</i> , 1996

La selección temprana a los 4 y 5 años, con base en la producción de resina sería de gran utilidad al reducir el período de evaluación, su viabilidad también ha sido observada en otros estudios (Romanelli, 1995.). Los resultados de la comparación de la producción de resina promedio por familia se muestran en el Cuadro 3.4.

La estimación de la respuesta a la selección en base a la selección de las 7 mejores progenies ($i= 1.1$) y los dos mejores individuos de cada una de ellas, logró estimar la ganancia genética esperada en 37.2 %. Lo cual supera lo observado por McReynolds y Gansel (1985), quienes estimaron la posibilidad de obtener hasta 30 % de ganancias en la producción de resina de *P. elliottii*, con semillas de polinización abierta de madres de alta producción. Así como lo obtenido en la estación experimental de Itapeteninga, San Paulo, Brasil con *Pinus elliottii* var. *Elliottii* con ganancias a la selección esperadas para producción de resina de bajas (1,16 %) a altas (29,2 %) entre las localidades evaluadas (Romanelli y Sebbenn, 2004).

Es decir, que la selección con base en la producción de resina a los 5 años de edad produciría en la siguiente generación un aumento de 37.2 % en volumen de resina. Si el ciclo de mejoramiento genético es de 12 años, se obtendría una reducción de más de la mitad del período, ya que la ganancia esperada por unidad de tiempo con la selección temprana a los 5 años sería mayor que con la selección a los 12 años de evaluación. Es de esperar que las correlaciones para producción de resina entre edades tempranas y tardías muestren valores altos y significativos ($r > 0,77$) lo que sugiere que una alta repetitividad de esta característica da la posibilidad de realizar una selección precoz para este carácter (Gurgel *et al.*, 1994).

Estos resultados coinciden con un estudio (Romanelli, 1995) que mostró una correlación de 0.90 entre las edades de cuatro y ocho años, lo que indica la viabilidad de la selección durante cuatro años para obtener ganancias genéticas a ocho años de edad.

Cuadro 3.4. Comparación entre medias para producción promedio de resina para las 11 mejores familias, ajustadas con los últimos cuadrados medios (LS means).

16 ^a	20 ^{ab}	11 ^{abcde}	9 ^{bcdef}	18 ^{bcdef}	68 ^{bcdef}	12 ^{bcdef}	62 ^{bcdef}	50 ^{cdef}	1 ^{cdef}	25 ^{def}
12.827 ^(*)										
	11.681 ^(*)									
		10.359 ^(*)								
			80.783 ^(*)	70.919 ^(*)	70.355 ^(*)	70.071 ^(*)	70.07 ^(*)			
								60.537 ^(*)	50.979 ^(*)	
										40.538 ^(*)

Las medias de familias subrayadas o con literales iguales agrupan familias que no difieren estadísticamente entre sí (* = $\alpha \leq 0.05$)

CONCLUSIONES

Se encontró una alta heredabilidad en edad temprana (34, 45 y 58 meses), es posible que evaluaciones efectuadas en edades juveniles permitan estimar con suficiente precisión el desarrollo de los mejores genotipos al inicio de la producción comercial.

Los valores altos de heredabilidad ($h^2_i = 0.25$; $h^2_f = 0.68$) y respuesta a la selección ($R = 37.2\%$), obtenidos en el ensayo de progenies en campo, abren la posibilidad de aumentar las ganancias, a través de selección temprana a nivel de familias, dentro del programa de mejora genética orientado a incrementar el volumen de resina en *Pinus oocarpa*.

Casi la mitad de las mejores familias probadas presentaron el mejor desempeño y podrían ser utilizadas para formar el huerto semillero que proporcione semilla para el establecimiento de plantaciones comerciales, lo que permitiría aumentar la producción de resina de *Pinus oocarpa* en el mediano plazo.

LITERATURA

- Adams, A., Demyttenaere, J., De Kimpe, N. 2003. Biotransformation of (R)-(+)- and (S)- (-)-limonene to α -terpineol by *Penicillium digitatum* – investigation of the culture conditions. *Food Chemistry* 80(4),525-534.
- Ancel, J. E., Maksimchuk, N. V., Simakova, I. L., Semikonelov, V. A. 2004. Kinetic peculiarities of α -pinene oxidation by molecular oxygen. *Applied Catalysis A: General* 272: 109-114.
- Bravo-Espinoza, M., Sánchez-Pérez, J., Vidales-Fernández, J. A., Sáenz-Reyes, J. T., Chávez-León, J. G., Madrigal-Huendo, S., & Muñoz-Flores, H. J. 2009. Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. México City: INIFAP.
- Bohlmann, J. y C.I. Keeling. 2008. Terpenoid biomaterials. *Plant Journal* 54:656-669.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Michoacán, México. 97 p.
- Cornelius, J. (1994). Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Canadian journal of forest research*, 24:2, 372-379.
- Fabián-Plesníková. I. 2014. Variación genética en un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* Shaw *Ex* Sargent procedentes de árboles superiores en producción de resina. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH), México 68 p.
- Falconer, D. S. 1989. Introduction to quantitative genetics (p. 438). New York: Longman.
- Franceschi V.R, Krokene P., Krekling T., Christiansen E., 2005. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytologist* 167: 353–376 in Norway spruce (Pinaceae). *American Journal of Botany* 87: 314–326.

- Garrido, L., Garrido, M. D. O., & Kageyama, P. 1988. Teste de progenies precoce de meios-irmãos de *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* de árvores superiores para produção de resina 1. *Silvicultura em Sao Paulo*, 20-22.
- Gurgel Garrido, L. M. A., & Kageyama, P. 1993. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. selecionado para a produção de resina. *Rev. do Inst. Flor*, 5, 21-37.
- Gurgel Garrido, L. D. A., Ribas, C., & Garrido, M. A. O. 1994. Variabilidade da produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. *Rev. Inst. Flor., Sao Paulo*, 6, 113-128.
- Lombardero María J. P. Matthew, Ayres, Peter L. Lorio Jr, and Jonathan J. Ruel. 2000. Environmental effects on constitutive and inducible resin defences of *Pinus taeda*. *Ecology Letters*, 3 : 329 – 339.
- Leyva Á. O, A.Velázquez M, A. Aldrete, A. Gómez G., A. Medina. 2012 . La producción de resina de pino en México. Comisión Nacional Forestal.
- Mahmoud, S. S. & Croteau, R. B. 2002. Strategies for transgenic manipulation of monoterpene biosynthesis in plants. *Trends in Plant Science*, vol. 7. Nº 8, 366-373.
- Mumm R, K Schrank, R Wegener, S Schulz, M Hilker. 2003. Chemical analysis of volatiles emitted by *Pinus sylvestris* after induction by insect oviposition. *J. Chem. Ecol.* 29:1235-1252.
- Robbins A.M.J. 1983. *Pinus oocarpa* Schiede. Seed leaflet no. 3. DANIDA Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. 17 pp.
- Rodrigues-Correa, K.C.S., J.C. de Lima y A.G. Fett-Neto. 2012. Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. *Food and Energy Security* 1(2):81-93.

- Romahn de la Vega., C.F. y H. Ramírez Maldonado. 2010. Dendrometría. División de Ciencias Forestales ENA/UACH. Chapingo, México. 294 p.
- Romanelli, R.C. 1995. Seleção precoce em progênies de *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. Revista do Instituto Florestal de São Paulo, v.7, n.1, p.101-113.
- Romanelli, R. C., & Sebbenn, A. M. 2004. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção para produção de resina em *Pinus elliottii* var. *elliottii*, no sul do Estado de São Paulo. Genetic parameters and selection gains for oleoresin production in *Pinus elliottii* var. *elliottii*, in south of São Paulo State. *Revista do Instituto Florestal*.
- Ruel, J. J., Ayres, M. P., & Lorio, Jr, P. L. 1998. *Loblolly pine* responds to mechanical wounding with increased resin flow. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(4), 596-602.
- Shimizu, J. Y., & Spir, I. H. 1999. Seleção de *Pinus elliottii* pelo valor genético para alta produção de resina. *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo*, (38), 103-117.
- Squillace, A.E. 1965. Combining superior growth and timber quality with high gum yield in slash pine. Proc. 8th South Conference on Forest tree Improvement: 73-76.
- Squillace, A.E. and Gancel, C.R. 1968. Assessing the potential oleoresin yields of slash pine progenies at juvenile ages. s.l.: USDA. Forest Service, 4p. (USDA. Forest Service Research Note SE-95).
- Squillace, A.E. and Gancel, C.R. 1974. Juvenile:mature correlations in slash pine. *Forest Science*, n.20, p.225-229.
- SAS, I. 2004. SAS/STAT guide for personal computers. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.

- Tadesse W., F. J. Auñón, J. A. Pardos, L. Gil y R. Alía. 2001. Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* 10(1), 141-150.
- Tyler, A. L., D.C. Macmillan and J. Dutch. 1996. Models to predict the General Yield Class of *Douglas fir*, Japanese larch and scots pine on better quality land in Scotland. *Forestry* 69 (1), 13-24.
- Vargas-Hernández, J., & Adams, W. T. 1992. Age-age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas-fir. *Forest Science*, 38(2), 467-478.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., & Guzmán-Reyna, R. R. 2005. Control genético de características de crecimiento en vivero de plántulas de *Pinus oocarpa*.
- Zamora, S. C. y V. Velasco F. 1978. Contribución al estudio ecológico de los pinos del estado de Chiapas. Boletín Técnico No. 56. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. 32 p.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1992. Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales. Editorial Limusa S.A., México. 545 p

CONCLUSIONES GENERALES

En el presente estudio se planteó como objetivo explorar la posibilidad de encontrar variación genética en la producción de resina, obtenida a través del método de miniresinación, en progenies de *Pinus oocarpa*, y de estimar parámetros genéticos que permitieran incorporar a esta especie en un programa de mejora genética con fines de resinación.

El análisis retrospectivo de los árboles madre de *P. oocarpa*, que previamente se eligieron como superiores en producción de resina y evaluados en su productividad, permitió definir que de entre los factores ecológicos de los sitios donde se localizaron los árboles seleccionados, las características dendrométricas de los árboles y las características relacionadas con la producción de resina, la Longitud geográfica (LONG) y el número de caras vivas (en resinación) fueron las variables mejor relacionadas con la producción de resina. Como la variable LONG tuvo relación con la Altitud, Exposición y las Unidades Climáticas, podemos aseverar que, la producción de resina estuvo relacionada con un conjunto de variables ambientales. Adicionalmente, los dos tipos de climas observados en el presente estudio se asociaron a cambios importantes en la producción de resina, ya que el clima Semicálido subhúmedo, los suelos de tipo Luvisol crómico y la temperatura, favorecieron la producción de resina en *P. oocarpa*, por lo que estos caracteres podrían usarse como indicadores en la búsqueda árboles con buena producción de resina y de áreas con vocación productora de resina para esta especie.

La primera pregunta que el autor se hizo en este trabajo fue: ¿la cantidad de variación entre las progenies se debe a diferencias genéticas?; y la segunda fue: ¿cuánta de esta variación se debe a factores ambientales? Entonces se avocó a la tarea de desarrollar una propuesta metodológica, primero en etapa de vivero, en donde, a través de un ensayo, se obtuvieron diferencias entre resinar con y sin estimulante químico ($P=0.0294$), incrementando la producción de resina cuando se utilizó como estimulante químico, ácido sulfúrico al 50%.

Al aplicar el método de miniresinación en vivero a la etapa de campo, la producción de resina por miniresinación, presentó valores de heredabilidad individual (h^2_i) de 0.11 a 0.25 y la heredabilidad de medias de familias (h^2_f) presentó valores de 0.45 a 0.65. Los resultados obtenidos, comparados con estudios realizados sobre la producción de oleorresina en varias especies de *Pinus*, permiten concluir que es un carácter altamente heredable. Al seleccionar las 7 mejores familias y los dos mejores individuos de cada una de ellas ($i=1.1$), a los cinco años de edad, se logró estimar una ganancia genética esperada de 37.2 % en la producción de resina al año cinco, en la siguiente generación.

Este conocimiento básico, entonces, se puede utilizar en el diseño de programas de mejoramiento para aumentar la tasa de rendimiento de la resina en plantaciones forestales.

LITERATURA GENERAL

- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. COFOM, Morelia, Michoacán, México. 97 p.
- Fabián-Plesníková, I. 2014. Variación genética en un ensayo de progenies de *Pinus pringlei* Shaw ex Sargent procedentes de árboles superiores en producción de resina. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (IIAF-UMSNH). México. 68 p.
- Franceschi V.R, Krokene P., Krekling T., Christiansen E., 2005. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pests. *New Phytologist* 167: 353–376 in Norway spruce (Pinaceae). *American Journal of Botany* 87: 314–326.
- Garrido, L., Garrido, M. D. O., & Kageyama, P. 1988. Teste de progenies precoce de meios-irmaos de *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* de árvores superiores para produção de resina 1. *Silvicultura em Sao Paulo*, 20-22.
- Garrido, Gurgel L. M.A y Kageyama P. Y. 1993. Evolução, com a idade, de parâmetros genéticos de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* selecionado para produção de resina.
- Perry, J.P. Jr. 1991. *The pines of Mexico and Central America*. Timber Press, Portland, Oregon. 231 p.
- Zamora S., C. y V. Velasco F. 1978. Contribución al estudio ecológico de los pinos del estado de Chiapas. *Boletín Técnico* No. 56. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F. 32 p.
- Zamora S., C. 1981. Algunos aspectos sobre *Pinus oocarpa* Schiede en el estado de Chiapas. *Ciencia Forestal*, 32:25- 53.

\bar{x}