



# Caracteres ecológicos y dendrométricos que influyen en la **producción de resina** en *Pinus oocarpa* de Michoacán, México

Ecological and dendrometric characters in which influence resin production of *Pinus oocarpa* of Michoacán, Mexico

Alejandro Reyes-Ramos<sup>1</sup>, José Cruz de León<sup>2</sup>, Alejandro Martínez-Palacios<sup>1</sup>, Philippe Christian Marc Lobit<sup>1</sup>, J. Enrique Ambríz-Parra<sup>2</sup> y Nahum M. Sánchez-Vargas<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. <sup>2</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. \* Autor de correspondencia. nsanchezv@yahoo.com.

## RESUMEN

El Estado de Michoacán es el primer productor de resina en el país y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. es una de sus especies más importantes por la alta producción y calidad. El objetivo del presente estudio fue analizar las características dendrométricas y productivas en relación con el clima y el suelo de 30 árboles seleccionados como superiores en producción de resina en condiciones naturales en Michoacán, México. En la zona de estudio se presentan los suelos acrisol ocríco-luvisol y luvisol crómico, dos climas (A)C(w<sub>1</sub>)(w) y Aw0(w), con temperatura media de 18 °C a 22 °C, precipitación anual entre 800 mm y 1200 mm y humedad relativa predominante de 70% a 90%. El diámetro de los árboles a la altura de 1.3 m varió de entre 31.5 cm y 89.5 cm, la altura total entre 9.0 m y 27.5 m, el diámetro de copa entre 5.9 m y 14.35 m, con una producción media de resina en cinco meses de 10.67 kg. Las variables que más aportaron a la producción de resina fueron el tipo de clima, altura de fuste limpio y número de caras vivas. El suelo presentó una correlación positiva con la altura de fuste limpio ( $r = 0.39$ ). Los resultados sugieren que 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 y zonas con buena producción para esta especie.

**PALABRAS CLAVE:** análisis *backward*, correlaciones, volumen de resina, selección fenotípica, temperatura.

## ABSTRACT

The State of Michoacán is the first producer of high quality resin in the country and *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl is one of its most important species for the quality and high rate of production. The objective of the present study was to analyze the dendrometric and productive characteristics in relation to climate and soil of 30 trees selected as superior in resin production under natural conditions in Michoacán, Mexico. The acrisol ocríco-luvisol and chromic luvisol soils are present in the study area, under two climates (A)C(w<sub>1</sub>)(w) and Aw0(w), with an average temperature of 18 °C - 22 °C, annual rainfall between 800 mm and 1200 mm and predominant relative humidity of 70% - 90%. The DBH (1.3 m) of the trees varied from 31.5 cm to 89.5 cm, the total height from 9.0 m to 27.5 m, crown diameter from 5.9 m to 14.35 m, with an average resin production in five months of 10.67 kg. The variables that contributed most to resin production were climate type, clean stem height and number of resin tapping faces. The soil showed a positive correlation with clean stem height ( $r = 0.39$ ). The results suggest that the semi-warm subhumid climate, Chromic Luvisol type soils and temperature favor the production of resin in *P. oocarpa*, so they could be used as indicators in the search for trees and areas with good resin production by this species.

**KEYWORDS:** backward analysis, correlations, resin volume, phenotypic selection, temperature.

## INTRODUCCIÓN

La extracción mundial de resina de pino se concentra en China, Brasil e Indonesia con 90.4% de la producción, mientras que hay un segundo grupo conformado por India, México y Argentina con 7.7% (Cunningham, 2009). En México, la extracción de resina se realiza principalmente en cuatro estados: Jalisco, Oaxaca, México y Michoacán (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2009), este último se coloca en primer lugar en el país con 16 088 toneladas anuales, con 86.7% de la producción total nacional (Semarnat, 2013). La extracción de la resina de pino tiene importancia socioeconómica (Francisco-Arriaga, Guerrero, Kido-Cruz y Cortés-Zavala, 2011) y se considera como la materia prima preindustrial más versátil del mundo para una amplia gama de productos industriales (Langenheim, 2003). Actualmente la resina 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; Rodrigues, de Lima y Fett-Neto, 2012).

En 2010 la Unión Nacional de Resineros A. C. (UNR), establecida en la ciudad de Morelia, 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* Shiede *ex* Schltdl. (Fabián, 2014), en el que se seleccionaron árboles cuyos propietarios señalaron como altamente productivos en volumen de resina, con el objetivo de recolectar semilla para establecer ensayos de progenies. En 2011 se inició el registro de datos dendrométricos, tales como altura total, altura del fuste limpio, diámetro a la altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo (DAP), diámetro de copa, diámetro de

ramas, ángulo de ramas y posición geográfica. La edad se pudo tomar únicamente en 15 árboles. En 2012, se cuantificó semanalmente la producción de resina durante cinco meses (15 de enero al 15 de junio) y en los meses de sequía, antes del período de lluvia (de julio a octubre) en donde es difícil llevar a cabo el proceso de raspado en el árbol, así como la captura y pesado de la resina. Además se midieron otras variables relacionadas con la obtención de resina (llamadas aquí: productivas), como el ancho y alto de la cara bajo resinación, el número de caras bajo resinación (caras vivas) y el número de caras abandonadas o que dejaron de resinarse (caras muertas), entre otras. Dada la valiosa información que se tenía de los árboles, se decidió identificar los elementos que más influían en la producción de resina, para ello se incluyeron también aspectos ecológicos de los sitios en donde estaban creciendo los árboles, debido a su influencia en la producción de resina (Lombardero, Ayres, Lorio y Ruel, 2000), como altura sobre el nivel del mar, exposición y pendiente del terreno.

Si bien la resina, como producto forestal no maderable ha motivado la realización de diversas investigaciones (Hall *et al.*, 2013), algunas de ellas están dirigidas hacia la selección de árboles con capacidades superiores en producción, identificando el número adecuado de individuos y la suficiente variabilidad genética (Barrett, 1980); otras han obtenido importantes ganancias genéticas a partir de la selección de árboles altamente productores de resina (Squillace, 1965), lo que ha impulsado el desarrollo de trabajos destinados a incrementar su producción mediante programas de mejora genética de las especies objeto de resinación (Tadesse, Auñón, Pardo, Gil y Alía, 2001; Zeng *et al.*, 2013). A pesar de lo anterior, son pocos los estudios que han abordado las relaciones entre la producción de resina y los aspectos ecológicos y climáticos donde crecen los árboles (Gutiérrez-Vázquez, Gómez-Cárdenas, Gutiérrez-Vázquez y Mallén-Rivera, 2012; Rodríguez-García, López-Rodríguez, Martín-García, Pinillos y Gil, 2013), en su mayoría principalmente con un enfoque de protección contra insectos (Ruel, Ayres y Lorio, 1998; Baier, Fuhrer, Kirisits y Rosner, 2002; Kane y Kolb, 2010;



Villari, Faccoli, Battisti, Bonello y Marini, 2014). En general, otros estudios tratan aspectos de los diferentes ecosistemas en donde crecen algunas de las principales especies vegetales que producen resina, como por ejemplo, *Pinus elliottii* Engelm., *P. palustris* Mill. y *P. taeda* L., de la planicie costera del sureste de Norte América; *P. halepensis* Miller alrededor de la cuenca mediterránea; *P. kesiyi* Royle ex Gordon, *P. massoniana* Lamb. y *P. merkusii* Jungh. & de Vriese, de los trópicos de Asia; así como *P. oocarpa* Shiede ex Schltld. y *P. caribaea* Morelet, de México y América Central (Lanhenheim, 2003). 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 en la fabricación de papel (Mohn, Martin y Yu, 1999) o en la búsqueda de genes candidatos que regulen el número de canales resiníferos (Westbrook *et al.*, 2015).

En el intento de explicar las variables que influyen en la expresión de algún carácter, ha sido muy útil el método de regresión paso a paso (Statistical Analysis System [SAS Institute], 1999), tanto con la opción *forward* como con la opción *backward*, para conocer los elementos químicos que más influyen en el índice de daño de la corteza de *Fagus sylvatica* L. (Jönsson, 2000). Así mismo, el método se usó para determinar los caracteres que más influían en la muerte o supervivencia de la planta madre para la producción de estacas cuatro años después del cultivo (Giudici y Zingg, 2005). Otra aplicación se orienta a explicar la producción de resina (Zamora-Martínez, Velasco, Muñoz y Romero, 2013) y optimizar ecuaciones de calibración de la tasa de lignina, la tasa de extractos y polifenoles en la selección de una gama de longitudes de onda que después fueron comparados con caracteres cuantitativos, marcadores moleculares y valores de cruza (Westbrook *et al.*, 2015).

En este trabajo se plantea la hipótesis de que son diversos los factores que intervienen en la producción de resina. Un análisis dendrométrico y algunas variables climáticas y ecológicas, permitirán identificar cuáles son los más importantes y qué zonas geográficas del país tienen el

potencial para el establecimiento de plantaciones de pino productoras de resina.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de las características productivas de 30 árboles de *Pinus oocarpa* seleccionados como altamente productores de resina y su relación con variables dendrométricas y ecológicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El Ejido San José de Cañas está ubicado en el municipio de Ario de Rosales en el Estado de Michoacán. El área de estudio pertenece a 13 propietarios, se ubica en lomeríos, presenta una altura sobre el nivel del mar promedio de 1436 m, pendiente promedio de 11.9%, precipitación de 800 mm a 1200 mm (Fig. 1). 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 que, a su juicio, eran los más productivos en volumen de resina. Una vez que el árbol fue seleccionado, se tomaron fotografías del árbol completo y fuste, coordenadas geográficas con un sistema de posicionamiento global (GPS), mediante un equipo receptor modelo e Trex<sup>R</sup> 30 marca Garmin<sup>®</sup> se marcó una clave de identidad sobre cada árbol a la altura del DAP.

Se hicieron 30 registros con los datos de producción de resina de cada árbol libre de plagas y enfermedades. Las variables dendrométricas registradas fueron: 1) altura total del árbol (ALT) desde el nivel del suelo al ápice de la copa, 2) altura del fuste limpio (ALFL), mediante un clinómetro electrónico de bolsillo Haglof<sup>®</sup>, 3) DAP, con una forcípula, 4) diámetro de copa (DICO) mediante la medición con flexómetro de la proyección vertical de la base de la copa (Romahn de la Vega y Ramírez, 2010), 5) diámetro de las ramas (DIRA) y ángulo de las 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 el

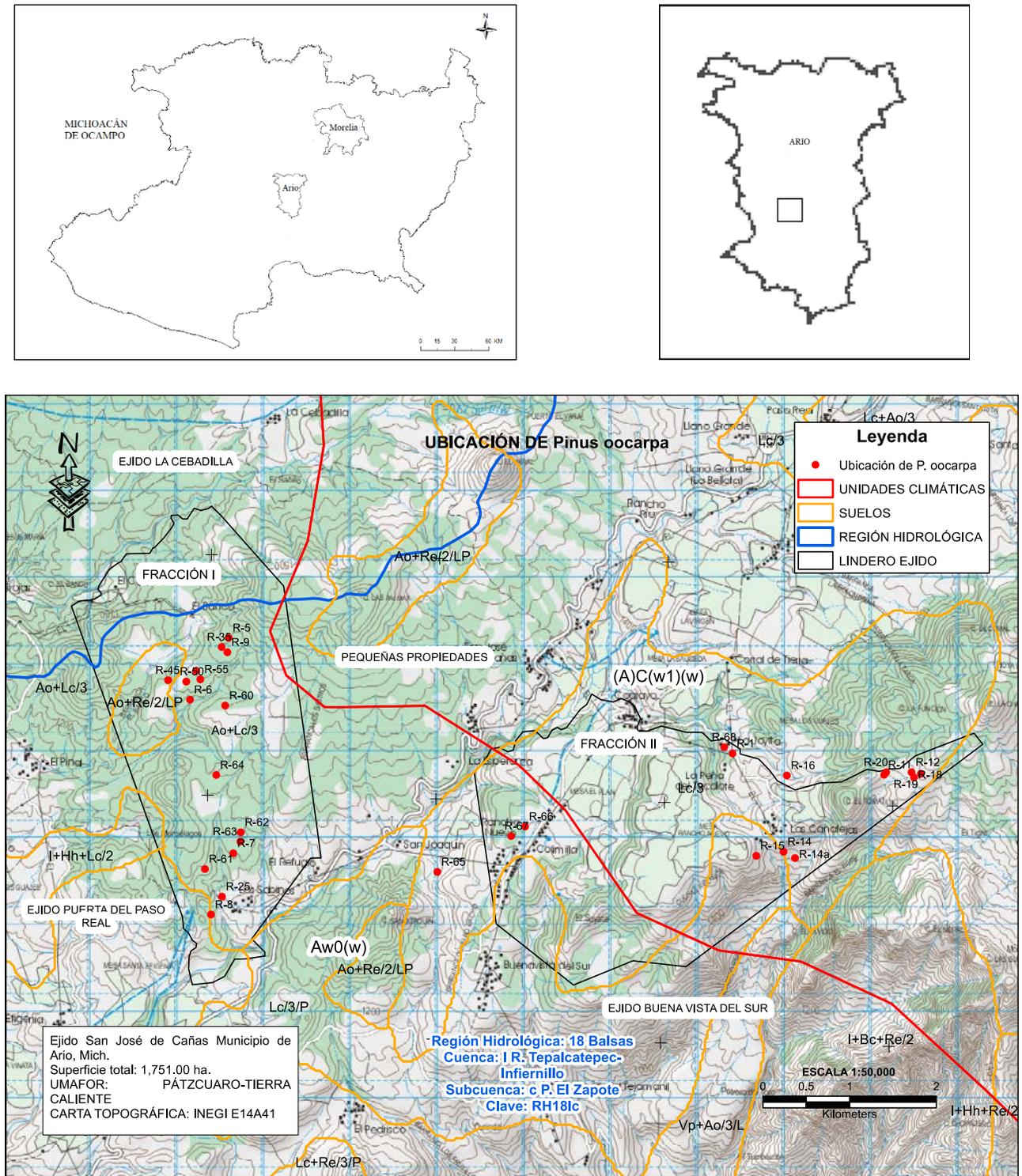


FIGURA 1. Unidades climáticas, tipos de suelo y localización de árboles de *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltd. seleccionados (puntos rojos) como superiores en producción de resina en San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (1998, 1999a, 1999b, 2011) a una escala de 1:50 000, de donde se obtuvieron las variables ecológicas como suelo (SUEL) y

unidad climática (UNCL) (Tabla 1). La temperatura media mensual de los meses 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 m snm, en la Latitud 19°12'00" N y la Longitud 101°44'00" O (Tabla 1).

Se cuantificó semanalmente el volumen de resina producido por cada cara en cada árbol, con 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) (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2006); 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. Al final se obtuvieron nueve variables ecológicas, seis dendrométricas y seis relacionadas con la producción de resina (Tabla 1).

TABLA 1. Estadísticas descriptivas de las variables ecológicas, dendrométricas y productivas relacionadas con la producción mensual promedio de resina, de árboles de *Pinus oocarpa* seleccionados como altamente productores de resina en el Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

Variables	Unidades	Valor Promedio	Error estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación estándar	Coefficiente de variación
<i>Ecológicas<sup>†</sup></i>							
ALTI	m snm	1435.73	31.82	1192.00	1789.00	174.29	12.14
EXPO	grados	180.70	13.49	1	320.00	73.87	40.88
PEND	%	11.90	0.61	6.00	20.00	3.32	27.86
<i>Dendrométricas</i>							
ALTU	m	18.56	0.82	9.00	27.50	4.50	24.27
ANRA	grados	81.33	3.15	45.00	113.00	17.26	21.22
DAP	cm	54.61	2.48	31.50	89.50	13.60	24.91
DICO	m	10.26	0.46	5.90	14.35	2.52	24.56
DIRA	cm	11.08	0.68	6.00	23.20	3.75	33.81
ALFL	m	5.04	0.44	1.73	11.30	2.40	47.68
EDAD	años	59.40	2.48	29.00	89.00	17.82	30.00
<i>Productivas</i>							
RESM	kg mes <sup>-1</sup>	2.19	0.25	0.52	5.45	1.31	59.70
ALCV	m	1.54	0.12	0.42	2.60	0.65	42.48
ANCA	cm	9.72	0.28	7.00	14.00	1.55	15.94
DSCA	cm	26.24	2.83	7	65	14.14	53.90
NCVI	número	2.03	0.16	1	4	0.87	42.53
PRCA	cm	3.82	0.09	3.00	5.00	0.50	13.03

<sup>†</sup> Solamente se incluyeron las variables cuantitativas, las de clase únicamente se mencionan en la Tabla 1. ALTI = altitud, EXPO = exposición, PEND = pendiente del terreno, ALTU = altura total del árbol, ANRA = ángulo de ramas, DAP = diámetro a la altura de 1.30 m sobre el suelo, DICO = diámetro de copa, DIRA = diámetro de rama, ALFL = altura de fuste limpio, EDAD = edad del árbol, RESM = resina producida al mes, ALCV = altura de la cara viva, ANCA = ancho de cara, DSCA = distancia entre cara y cara, NCVI = número de caras vivas, PRCA = profundidad de cara.

La relación entre las variables se obtuvo mediante la correlación de Pearson (Steel, Torrie y Dickey, 1997) con el procedimiento CORR. Para evitar la autocorrelación las variables se sometieron a un análisis de regresión lineal por pares de variables, aquellos que presentaron una significancia de  $p \leq 0.05$  se consideraron como variables autocorrelacionadas, después se seleccionó una variable y se eliminaron las otras con las que se relacionaba,

posteriormente se seleccionó otra de las variables no eliminadas, y así sucesivamente. Con los grupos de variables se realizó el análisis de regresión con el procedimiento REG opción Backward (Tyler, Macmillan y Dutch, 1996). El grupo de variables seleccionado fue aquel en el que se obtuvo el mayor valor de R cuadrada y el criterio de selección usado por Mallows (1973) con base en la estadística  $C_p$ ; adicionalmente se hizo un análisis

exploratorio con la prueba de autocorrelación de Durbin-Watson (1951). Se determinaron las variables que mejor explicaban la producción de resina promedio, transformando, antes del análisis, 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 asignó el número de categoría conforme 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, Acosta, Sánchez-Vargas, 1995).

## RESULTADOS

### Análisis de variables

Los árboles seleccionados como buenos productores de resina se distribuyeron desde los 1192 m snm hasta los 1789 m snm, con alturas entre los 9 m y 27 m, diámetros mayores a 30 cm, altura de fuste limpio mayores a 1.70 m y edades entre los 29 años y 89 años; en algunos casos presentaron 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 produciendo resina, cuyas alturas fueron de escasos 40 cm a más de 2.0 m, con anchos de entre 7 cm y 14 cm (Tabla 1).

TABLA 2. Número de árbol y valores de algunas de las variables evaluadas en *Pinus oocarpa* Schiede *ex* Schltd. del Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

No. de Árbol	DAP (cm)	ALT (m)	ALFL (m)	DICO (m)	RESM (g)
1	41.1	9.0	1.9	6.3	3173.3
5	47.7	19.5	10.8	7.4	575.7
6	42.5	22.9	8.7	8.9	1498.0
7	54.9	20.5	8.6	7.4	1641.9
8	51.2	19.5	6.9	9.1	2545.8
9	44.5	15.3	3.7	7.8	833.1
11	80.5	14.0	1.7	14.1	3306.6
12	80.1	26.5	3.9	12.3	3549.3
14	68.0	23.6	2.4	11.7	3280.6
15	47.5	18.1	4.2	12.3	2918.8
16	56.0	13.0	4.0	14.3	4652.7
18	36.4	16.9	5.4	6.5	1137.6
19	47.5	12.1	2.4	9.6	1969.7
20	55.4	26.5	3.8	11.8	3163.7
25	58.5	27.5	11.3	8.7	1758.6
35	41.0	14.0	4.25	8.5	1099.8
40	50.3	17.0	3.8	11.4	1884.1
45	69.0	16.0	3.1	12.9	4227.8
50	64.5	15.0	2.9	14.3	2617.5
55	46.5	21.8	6.3	6.6	1316.6
60	31.5	14.4	6.1	5.9	1402.1
61	66.0	21.0	4.7	11.5	1265.0
62	49.5	22.5	5.1	10.8	522.1
63	53.0	19.0	5.9	9.1	618.8
64	62.0	16.0	3.5	10.8	-
65	41.0	21.8	4.1	10.5	-
66	65.7	20.5	6.3	13.1	2822.2
67	50.0	14.2	4.1	10.1	1330.7
68	47.0	18.5	6.9	10.0	818.8

DAP = diámetro a la altura de 1.30 m sobre el suelo, ALT = altura total del árbol, ALFL = altura de fuste limpio, DICO = diámetro de copa, RESM = producción de resina promedio mensual.



En general, las condiciones donde crecen los árboles tienen dos tipos de suelo: Luvisol crómico (Lc/3), sobre el que se encontraron cinco de los árboles más productivos ( $3.17 \text{ kg mes}^{-1}$  a  $5.45 \text{ kg mes}^{-1}$ ) y el acrisol órtico (Ao+Lc/3) con cinco de los menos productivos ( $0.52 \text{ kg mes}^{-1}$  a  $1.09 \text{ kg mes}^{-1}$ ); en ambos casos predominó la vegetación de pino-encino (Pq) y pino (P) (Fig. 1).

La producción promedio de resina fue variable en las dos unidades climáticas presentes en el área de estudio. La mayor variación se detectó en el clima cálido subhúmedo

[Aw0(w)], la jerarquización de la producción promedio de resina en cada uno de los meses demuestra que el árbol 5 (Tabla 2) 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 (Tabla 2), que inició con la producción más baja en enero, mostró un mejor desempeño conforme se incrementó la temperatura, ubicándose en el cuarto sitio de la jerarquía en mayo y en el primero en abril (Tabla 3).

TABLA 3. Jerarquización de la producción porcentual de resina en el clima cálido subhúmedo [Aw0(w)], de árboles de *Pinus oocarpa* seleccionados como altamente productores de resina en San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán (Se consideró 100% la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación).

Jerarquía	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)
1	5	28.2	5	24.3	67	24.0	62	28.1	66	30.4
2	50	20.7	68	19.6	40	23.4	35	27.4	25	29.5
3	18	19.8	8	17.6	62	23.3	60	26.5	6	29.2
4	40	19.5	40	17.2	7	22.1	63	26.0	62	27.9
5	61	19.2	9	17.2	50	21.5	55	25.0	67	27.7
6	9	18.1	35	17.2	19	21.3	61	24.6	9	26.9
7	68	17.7	7	17.1	68	21.3	7	24.0	55	26.9
8	63	16.7	25	17.0	61	20.5	67	24.0	19	26.7
9	25	16.4	50	16.6	8	20.0	18	23.5	18	24.9
10	8	16.2	63	15.8	66	20.0	25	23.4	8	24.1
11	60	16.1	61	15.6	60	18.8	66	23.3	60	23.9
12	6	16.0	6	15.0	6	18.7	19	22.4	7	23.8
13	55	15.8	60	14.7	5	18.6	8	22.1	63	23.4
14	35	15.2	19	14.6	9	18.4	50	21.3	35	22.3
15	19	15.0	18	14.6	55	18.4	6	21.0	68	22.0
16	7	13.0	62	14.0	63	18.0	68	19.5	40	21.4
17	66	12.4	55	14.0	35	17.9	9	19.3	61	20.2
18	67	11.2	66	13.9	18	17.2	5	18.9	50	19.9
19	62	6.6	67	13.1	25	13.6	40	18.5	5	10.0

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 (Tabla 2) fue el que produjo la mayor cantidad de resina en los meses de enero y febrero, y se colocó en la última posición jerárquica en los meses de abril y mayo (Tabla 4); y el árbol 12 (Tabla 2) que inició con la producción más baja en enero, se ubicó en el segundo sitio de la jerarquía en abril y mayo (Tabla 4).

La producción total de resina obtenida por árbol durante el periodo de evaluación osciló entre 2.6 kg y 27.3 kg, con un promedio mensual entre 0.5 kg y 5.5 kg. Cuando el arbolado se separó por categorías diamétricas, se observaron diferencias significativas en la producción de resina entre las categorías ( $p = 0.0064$ ). La producción aumentó al aumentar el valor de la categoría diamétrica durante el periodo de evaluación; una prueba de Tukey separó las categorías en tres grupos (Fig. 2).

TABLA 4. Jerarquización de la producción porcentual de resina en el clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano [(A)C(W1)(W)], de árboles de *Pinus oocarpa* seleccionados como altamente productores de resina en San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán, México (Se consideró 100% a la producción total de resina de cada árbol en los cinco meses de evaluación).

Jerarquía	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo	
	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)	Árbol	Producción (%)
1	20	20.2	20	19.2	1	23.2	11	24.8	45	29.6
2	15	19.5	14	17.8	20	23.1	12	23.0	12	25.3
3	14	19.0	15	17.2	16	22.4	1	22.0	14	23.8
4	1	17.6	16	17.0	15	21.2	16	21.5	11	23.1
5	45	17.2	12	16.5	12	21.0	45	20.4	16	22.9
6	11	16.4	1	16.3	11	21.0	15	20.2	15	21.9
7	16	16.2	11	14.7	14	20.5	14	18.9	1	20.9
8	12	14.3	45	13.9	45	19.0	20	18.8	20	18.7

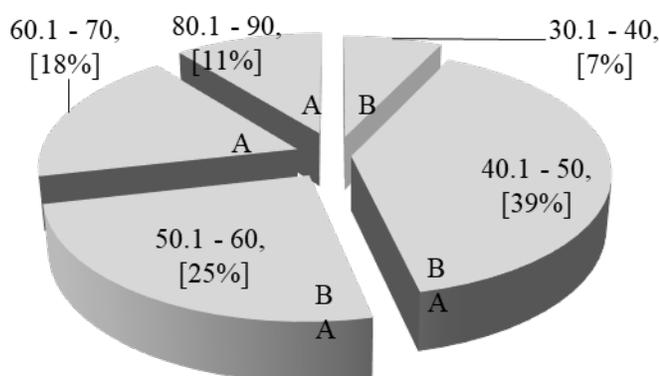


FIGURA 2. Cantidad de resina producida [en porcentaje] por categoría diamétrica (cm) en árboles de *Pinus oocarpa* seleccionados como altamente productores de resina en San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán. La misma letra indica que no son significativamente diferentes con  $p = 0.05$ .

TABLA 5. Incremento en la producción de resina en porcentaje con respecto a la primera cara, por categoría diamétrica, al aumentar el número de caras, en *Pinus oocarpa* 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

La producción de resina fue mayor conforme aumentó el número de caras vivas; sin embargo, fue disminuyendo

gradualmente en cada cara al adicionar caras vivas, por ejemplo, en la categoría de 80.1 cm a 90.0 cm de diámetro, el porcentaje de producción de la segunda cara se redujo 15.8% con respecto a la primera, la tercera se redujo 33.9% y la cuarta 89.4% (Tabla 5).

### Correlación y selección de variables

En el análisis de correlación, la producción de resina promedio (RESM) tuvo correlaciones positivas con dos variables: unidad climática (UNCL) ( $r = 0.39$ ;  $p = 0.0388$ ) y número de caras vivas (NCVI) ( $r = 0.56$ ;  $p = 0.0018$ ), y negativa con ALFL ( $r = -0.50$ ;  $p = 0.0072$ ); a su vez, el NCVI estuvo relacionado con la pendiente (PEND, expresada en porcentaje) ( $0.38$ ;  $p = 0.0425$ ), y el tipo de suelo (SUEL) estuvo correlacionado con ALFL ( $r = 0.39$ ;  $p = 0.0318$ ) (Tabla 6).

TABLA 6. Correlaciones entre las variables evaluadas de *Pinus oocarpa* del Ejido de San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán, que fueron significativas ( $p < 0.05$ ) en el análisis.

Variables	UNCL	ALFL	NCVI
RESM	0.39	-0.50	0.56
SUEL	-	0.39	-
PEND	-	-	0.38

RESM = producción de resina promedio mensual, UNCL = unidad climática, ALFL = altura de fuste limpio, NCVI = número de caras vivas, SUEL = tipo de suelo, PEND = pendiente expresada en porcentaje.



El procedimiento de selección de variables mostró que el análisis que mejor explicó la RESM seleccionó la UNCL, la ALFL y el NCVI, obteniéndose el siguiente modelo con un buen ajuste ( $r^2 = 0.6792$ ;  $p = 0.0002$ ;  $C_p = 4.1319$ ;  $p > DW = 0.4020$ ):

$$\ln RESM = 0.7315 + (0.6497 \ln UNCL) - (0.5891 \ln ALFL) + (0.8514 \ln NCVI).$$

## DISCUSIÓN

### Variables ecológicas

La distribución altitudinal muestreada en este estudio abarcó de los 1192 m snm a los 1789 m snm, un intervalo altitudinal 300 m más arriba del muestreado por Sáenz, Guzmán y Rehfeldt (2006) (de 1075 m snm a 1505 m snm) para esta misma especie, lo que revela la amplia variación ambiental que puede concentrarse en el Ejido San José de Cañas, Ario de Rosales, Michoacán.

El análisis de temperatura indicó que en general la producción de resina aumentó conforme aumentó la temperatura promedio, sin embargo, sorprendió que algunos árboles produjeran más resina durante los meses fríos (enero y febrero) que durante los cálidos (abril y mayo) cuando en promedio se obtiene la mayor producción de resina. Aunque los datos se refieren solo a una temporada de producción de resina, los resultados sugieren explorar si esta característica podría tener un control genético como lo mencionan Tadesse *et al.* (2001), y continuar estudios dirigidos hacia la posibilidad de seleccionar algunos árboles como buenos productores de resina para la temporada fría en la que la producción normalmente es baja.

De igual manera, hubo individuos que fueron malos productores en temporada de baja temperatura y muy buenos productores en la de altas temperaturas. Esto podría deberse a varios factores, entre ellos los fisiológicos, como los que provoca la influencia directa de las condiciones climáticas sobre 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, Lorio, Sommers, Hodges y Nebeker, 1992). También los factores morfológicos influyen, tal es el caso del número y tamaño de canales resiníferos los cuales están relacionados con el flujo de resina (Westbrook *et al.*, 2015).

La UNCL fue una de las variables seleccionadas en el análisis REG-Backward para explicar la producción de resina, de tal manera que la producción de resina está relacionada con un conjunto de variables, 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.

Las correlaciones relativamente bajas y positivas entre el SUEL y la ALFL ( $r = 0.39$ ;  $p = 0.0318$ ), y entre la PEND y el NCVI ( $r = 0.38$ ;  $p = 0.0425$ ), podrían estar relacionadas con la capacidad de retención de agua del suelo y los períodos de sequía (Lorio y Sommers, 1986), ya que el tipo de suelo Lc/3/P coincidió con la mayor producción de resina, aunque cinco de los 10 árboles con mayor producción de resina se encontraron en el tipo Lc/3, y la pendiente en donde se ubicaban los árboles no fue mayor a 20%.

### Variables dendrométricas

La producción de resina mensual promedio obtenida durante el periodo de evaluación de este estudio (0.5 kg a 4.7 kg) fue ligeramente mayor a lo encontrado por Fabián (2014) en *Pinus pringlei* Shaw *ex* Sargent, que fue de 0.3 kg a 4.3 kg. Mientras que el trabajo de Gutiérrez, Rodríguez y Villegas (1979) muestra una producción promedio anual en la especie bajo estudio de 5.5 kg, evaluada durante tres años en dos sitios diferentes.

La ALFL tuvo una expresión negativa en el modelo obtenido, posiblemente porque la mayoría de los árboles seleccionados tenían ramas muy bajas ( $1.7 \text{ m} < \text{ALFL} < 11.3 \text{ m}$ ), aunque parece ser una característica de algunas poblaciones de esta especie (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012). La correlación negativa obtenida entre la RESM y la ALFL ( $r = -0.50$ ;  $p = 0.0072$ ; Tabla 6), podría indicar que los

árboles con mayor número de ramas pueden ser los mejores productores de resina.

Los cuatro árboles que presentaron los mayores DAP y DICO (14, 16, 45 y 11; ver Tabla 2), también tuvieron la mayor producción de resina (27.3 kg, 23.3 kg, 21.1 kg y 16.5 kg, respectivamente). Squillace y Bengston (1961), ya habían mencionado 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), Goddard y Peters (1965) y Rodrigues, Azevedo, Sobreiro, Pelissari y Fett-Neto (2008). En el análisis de variables de este estudio, el DAP y DICO estuvieron altamente correlacionadas.

### Variables productivas

El número de caras vivas fue otra de las variables seleccionada por el modelo de regresión, esto es comprensible tomando en cuenta que al aumentar el número de caras aumentó la producción de resina (Tabla 5), que probablemente fue lo que más influyó para definir su selección en el modelo. La correlación positiva ( $r = 0.56$ ;  $p = 0.0018$ ) entre el NCVI y la RESM en este estudio fue contraria a lo encontrado por Fabián (2014;  $r = -0.59$ ;  $p \leq 0.05$ ) en *Pinus pringlei* entre estas variables. Esto puede deberse a la influencia de variados elementos: factores ambientales (Lombardero *et al.*, 2000) como la temperatura (Lombardero, Ayres y Ayres, 2006; Rodrigues y Fett-Neto, 2009) y la luz (Lewinsohn, Gijzen, Muzika, Barton y Croteau, 1993), factores morfológicos propios de cada especie como el número y tamaño de canales resiníferos (Westbrook *et al.*, 2015), y factores fisiológicos como la viscosidad relativa de la resina (Blanche *et al.*, 1992).

Si se tiene 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 *et al.*, 1979), se puede considerar a los 30 individuos caracterizados en el presente estudio, como una buena selección en la etapa inicial de un programa orientado al mejoramiento genético en producción de resina para *P. oocarpa*.

## CONCLUSIONES

El análisis mostró que los dos tipos de clima presentes en el área de estudio se asocian con cambios importantes en la producción de resina. Los resultados sugieren que 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 y zonas con buena producción de resina para esta especie. La alta correlación entre la producción de resina y el número de caras vivas, el DAP (mayor a 50 cm) y el diámetro de copa podrían utilizarse en la preselección de árboles de *P. oocarpa* y lograr mayores ganancias en la 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.

## REFERENCIAS

- Baier, P., Fuhrer, E., Kirisits, T., & Rosner, S. (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(1-2), 73–86. doi: 10.1016/S0378-1127(01)00711-3.
- Barret, W. H. (1980). Selección y manejo de rodales semilleros con especial referencia a coníferas. En FAO-Danida (Eds.), *Mejora genética de árboles forestales* (pp. 158-165). Mérida, Venezuela: FAO Montes 20.
- Blanche, C. A., Lorio, P. L., Sommers, R. A., Hodges, J. D., & Nebeker, T. E. (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. doi: 10.1016/0378-1127(92)90167-8
- Bohlmann, J., & Keeling, C. I. (2008). Terpenoid biomaterials. *Plant Journal*, 54(4), 656-669. doi: 10.1111/j.1365-313X.2008.03449.x



- Cunningham, A. P. (2009). Estado actual de la resinación. *In: XIII Congreso Forestal Mundial*. 18 - 23 Octubre 2009. Buenos Aires, Argentina. 7 p.
- Del Castillo-Sánchez, R. F., Acosta-Castellanos, S., & Sánchez-Vargas, N. M. (1995). Estudio ecológico de *Pinus chiapensis*. *Resultados de Investigación y Desarrollo Tecnológico*. (pp. 89 – 93). Oaxaca, México: CIIDIR-IPN.
- Durbin, J., & Watson, G. S. (1951). Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression. *Biometrika*, 37(1), 409–428.
- 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, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
- Francisco-Arriaga, F., Guerrero G. R., H. R., Kido-Cruz, A., Cortés-Zavala, M. T. (2011). Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 8(1), 107-117.
- Giudici, F., & Zingg, A. (2005). Sprouting ability and mortality of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) after coppicing. A case study. *Annal of Forest Science*, 62(6), 513–523. doi: 10.1051/forest:2005056
- Goddard, R. E., & Peters, W. J. (1965). Progress in the selection and breeding of superior trees to upgrade gum yield. *Naval Stores Review*, 74, 4-5, 13, 15.
- Gutiérrez-Jarquín, T., Rodríguez-Peña, M. A., & Villegas-Cázares, I. (1979). La producción de resina en pinares de ciertas áreas del Estado de Michoacán bajo condiciones experimentales. *Revista Ciencia Forestal*, 4(21), 17-55.
- Gutiérrez-Vázquez, B. N., Gómez-Cárdenas, M., Gutiérrez-Vázquez, M. H. & Mallén-Rivera, C. (2012). Variación fenotípica de poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 46-60.
- Hall, D. E., Philipp, Z., Sharon, J., Alfonso, L. Q., Harpreet, D., Lina, L. M. Macaire, Y., & Jörg, B. (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. doi: 10.1104/pp.112.208546
- 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.
- Jönsson, A. M. (2000). Mineral nutrients of beech (*Fagus sylvatica*) bark in relation to frost sensitivity and soil treatments in southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 57(1), 1–8. doi: 10.1051/forest:2000106
- Kane, J., & Kolb, T. E. (2010). Importance of resin ducts in reducing ponderosa pine mortality from bark beetle attacks. *Oecologia*, 164(3), 601-609. doi: 10.1007/s00442-010-1683-4
- Langenheim, J. H. (2003). *Plant resins: chemistry, evolution, ecology, and ethnobotany*. Portland, Oegon, Estados Unidos: Timber Press.
- Lewinsohn, E., Gijzen, M., Muzika, R. M., Barton, K., & Croteau, R. (1993). Oleoresinosis in Grand Fir (*Abies grandis*) saplings and mature trees (modulation of this wound response by light and water stresses). *Plant Physiology*, 101(3), 1021-1028. doi: 10.103/1021 [pii]
- 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 - 3), 349–358. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.010
- Lombardero, M. J., Ayres, M. P. Lorio, P. L., & Ruel, J. J. (2000). Environmental effects on constitutive and inducible resin defenses of *Pinus taeda*. *Ecology Letters*, 3(4), 329-339. doi: 10.1046/j.1461-0248.2000.00163.x
- Lorio, Jr, P. L., & Sommers, R. A. (1986). Evidence of competition for photosynthates between growth processes and oleoresin synthesis in *Pinus taeda* L. *Tree Physiology*, 2(1-2-3), 301–306. doi.org/10.1093/treephys/2.1-2-3.301
- Mallows, C. L. (1973). “Some Comments on  $C_p$ .” *Technometrics*, 15(1), 661–675.
- Mohn, W. W., Martin, V. J. J., & Yu, Z. (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. doi: 10.1016/S0273-1223(99)00728-3
- 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. doi: 10.1590/S1677-04202011000400009

- Rodrigues, K. C. S., & Fett-Neto, A. G. (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. doi: 10.1016/j.indcrop.2009.06.004
- Rodrigues, K. C. S., de Lima, J. C., & Fett-Neto, A. G. (2012). Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. *Food and Energy Security*, 1(2), 81-93. doi.org/10.1002/fes3.13
- Rodríguez-García, A., López-Rodríguez, R., Martín-García, J. A., Pinillos, F., & Gil, L. (2013). Influencia de la anatomía de la madera, dendrometría y clima en la producción de resina-6CFE01-163. 6º Congreso Forestal Español, realizado en Vitoria-Gasteiz del 10 al 14 de junio de 2013. Sociedad Española de Ciencias Forestales. España.
- Romahn de la Vega, C. F., & Ramírez-Maldonado, H. (2010). Dendrometría. División de Ciencias Forestales ENA/UACH. Chapingo, México.
- 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): 596-601. doi: 10.1139/x98-030
- Sáenz-Romero, C., Guzmán-Reina, R. R., & Rehfeldt, G. E. (2006). Altitudinal genetic variation among *Pinus oocarpa* populations in Michoacán, México. Implications for seed zoning, conservation, tree breeding and global warming. *Forest Ecology and Management*, 229(1-3), 340-350. doi: 10.1016/j.foreco.2006.04.014
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (28 de septiembre de 2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005, Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial se resina*. Diario Oficial de la Federación. México, D. F.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2009). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal*. México, D. F.: Semarnat.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2013). *Anuario Estadístico de la Producción Forestal* (1ª ed. 2014) México, D. F.: Semarnat.
- 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.
- Squillace, A. E., & Bengston, G. W. (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.
- Statistical Analysis System [SAS Institute]. (1999). *Statistical Analysis System SAS/STAT® User's Guide, Version 8*, Cary, NC USA.: SAS Institute Inc.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). *Principles and procedures of statistics, a biometrical approach*. 3th edition. McGraw-Hill series in Probability and Statistics. U.S.A. WCB/McGraw-Hill.
- Tadesse W., Auñón, F. J., Pardos, J. A., Gil, L., & Alía, R. (2001). Evaluación precoz de la producción de miera en *Pinus pinaster* Ait. *Investigación Agraria: Sistema y Recursos Forestales*, 10(1), 141-150.
- Tyler, A. L., Macmillan, D. C., & Dutch, J. (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. doi: 10.1093/forestry/69.1.13
- Villari, C., Faccoli, M., Battisti, A., Bonello, P., & Marini, L. (2014). Testing phenotypic trade-offs in the chemical defence strategy of Scots pine under growth-limiting field conditions. *Tree Physiology*, 34(9), 919-930. doi: 10.1093/treephys/tpu063
- Westbrook, J. W., Walker, A. R., Neves, L. G., Munoz, P., Resende Jr., M. F. R., Neale, D. B., Wegrzyn, J. L., Huber, D. A., Kirst, M., Davis, J. M., & Peter, G. F. (2015). Discovering candidate genes that regulate resin canal number in *Pinus taeda* stems by integrating genetic analysis across environments, ages, and populations. *New Phytologist*, 205(2), 627-641. doi: 10.1111/nph.13074
- Zamora-Martínez, M.C., E. Velasco B., H.J. Muñoz F., M.E. Romero S. (2013). Modelos predictivos para la producción de productos forestales no maderables: resina de pino. Manual Técnico Núm. 9. México, D.F. México. Cenid-Comef, Inifap.
- Zeng, L. H., Zhang, Q., He, B. X., Lian, H. M., Cai, Y. L., Wang, Y. S., & Luo, M. (2013). Age trends in genetic parameters for growth and resin-yielding capacity in masson pine. *Silvae Genetica*, 62(1-2), 7-18. doi: 10.1515/sg-2013-0002

Manuscrito recibido el 4 de octubre de 2016

Aceptado el 22 de agosto de 2018

Publicado el 29 de julio de 2019



Este documento se debe citar como:

Reyes-Ramos, A., Cruz de León, J., Martínez-Palacios, A., Lobit, P. C. M., Ambríz-Parra, J. E., & Sánchez-Vargas, N. M. (2019). Caracteres ecológicos y dendrométricos que influyen en la producción de resina en *Pinus oocarpa* de Michoacán, México. *Madera y Bosques*, 25(1), e2511414. doi: 10.21829/myb.2019.2511414



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.