

Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PRODUCCIÓN DE RESINA DE PINO EN SAN PABLO CUATRO VENADOS,  
ZAACHILA, OAXACA**

TESIS QUE PRESENTA:

Iván José Aguilar Pinacho

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Ph. D. Salvador Lozano Trejo





Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**PRODUCCIÓN DE RESINA DE PINO EN SAN PABLO CUATRO VENADOS,  
ZAACHILA, OAXACA**

TESIS QUE PRESENTA:

Iván José Aguilar Pinacho

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN  
AGROECOSISTEMAS**

DIRECTOR:

Ph. D. Salvador Lozano Trejo



La presente tesis titulada: “**PRODUCCIÓN DE RESINA DE PINO EN SAN PABLO CUATRO VENADOS, ZAACHILA, OAXACA**”, fue realizada bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**

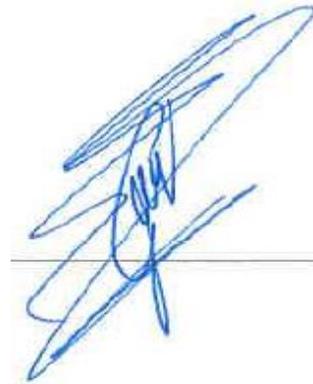
DIRECTOR:

Ph. D. Salvador Lozano Trejo



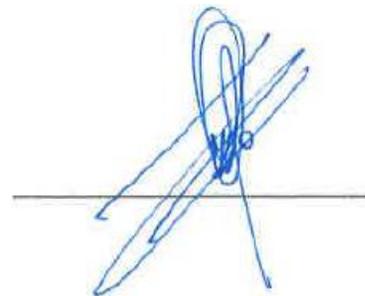
ASESOR

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz



ASESOR:

Dr. Ernesto Castañeda Hidalgo



|   |   |                                 |
|---|---|---------------------------------|
|  | <b>Nombre de la Información Documentada:</b><br><b>Formato Autorización del comité para entrega de tesis.</b> | <b>Código: ITVO-AC-PR-08-02</b> |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2</b>   | <b>Revisión: 1</b>              |
|   |   | <b>Página 1 de 1</b>            |

EXPEDIENTE: **20DIT0009G**  
 No. DE OFICIO: **DEPI/0725/2024**  
 Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca: **28/Junio/2024**  
 ASUNTO: **Autorización del comité para entrega de Tesis.**

**C. IVÁN JOSÉ AGUILAR PINACHO**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAestrÍA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**P R E S E N T E**

Los que suscriben, miembros de su Comité Tutorial, le comunicamos que hemos revisado el contenido de su tesis "Producción de resina de pino en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca". Por lo que con base en los lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México se le otorga la **AUTORIZACIÓN** para que proceda a la entrega del documento final de la misma en formato digital (PDF); para continuar con su trámite y asignarle la fecha de su examen de grado.

Sin más por el momento nos permitimos reconocer su esfuerzo y felicitarle por el logro de su documento de tesis.

**ATENTAMENTE**

*Excelencia en Educación Tecnológica®.  
Ciencia y Tecnología para el Campo*

  
**SALVADOR LOZANO TREJO**  
**DIRECTOR DE TESIS**

  
**GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ**  
**ASESOR**

  
**ERNESTO CASTAÑEDA HIDALGO**  
**ASESOR**

  
**YURI VILLEGAS APARICIO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
 POSGRADO E INVESTIGACIÓN

C.p. Comité Tutorial.  
 Expediente.  
 YVA/mglh

|   |  |                                 |
|---|--|---------------------------------|
|  | <b>Nombre de la Información Documentada:</b><br><b>Formato Autorización de DEPI para entrega de Tesis.</b> | <b>Código:</b> ITVO-AC-PR-08-03 |
|   | <b>Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3, 8.5.2</b>                                      | <b>Revisión:</b> 1              |
|   |  | <b>Página</b> 1 de 1            |

**EXPEDIENTE:** 20DIT0009C  
**No. DE OFICIO:** DEPI/0772/2024  
**Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca:** 02/Julio/2024  
**ASUNTO:** Autorización de entrega de Tesis.

**C. IVÁN JOSÉ AGUILAR PINACHO**  
**ESTUDIANTE DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**  
**EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS**  
**P R E S E N T E**

Con base en los Lineamientos para la Operación de Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, respecto a la presentación del examen de grado, me es muy grato comunicarle que esta División de Estudios de Posgrado e Investigación a mi cargo, **AUTORIZA** la entrega del documento final de su tesis en formato digital (PDF) titulada: **"Producción de resina de pino en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca"**.

Cuyo contenido ha sido revisado y aprobado por su Comité Tutorial y cumple en lo general con el formato establecido para este documento, como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Productividad de Agroecosistemas.

Sin más por el momento le felicito cordialmente por el logro de esta meta y le reitero el respaldo institucional de su Alma Mater.

  
**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica*  
*Ciencia y Tecnología para el Campo*  
  
**DR. YURI VILLEGAS APARICIO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**  
**E INVESTIGACIÓN**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

C.p. Expediente.  
 Alumno interesado.  
 YVA/mglh

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), a través del número de becario (1238964), con el tema de investigación: Producción de resina de pino en San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca.

## ÍNDICE GENERAL

|   |            |
|---|------------|
| <b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....  | <b>iii</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....  | <b>iv</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>v</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>vi</b>  |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>2</b>   |
| 1.1 Objetivo general .....  | 5          |
| 1.2 Objetivo específico .....   | 5          |
| 1.3 Hipótesis .....   | 5          |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....   | <b>6</b>   |
| 2.1 Recursos forestales no maderables .....   | 6          |
| 2.2 Aprovechamiento de resina y productos derivados .....   | 8          |
| 2.3 Descripción de las especies resiníferas.....  | 11         |
| 2.3.1 <i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schlechtendal & Chamisso .....  | 12         |
| 2.3.2 <i>Pinus lawsonii</i> Gordon & Glendinning .....  | 14         |
| 2.4 Canales resiníferos .....   | 15         |
| 2.5 Factores que influyen en la producción de resina.....   | 16         |
| 2.6 Composición de la resina de pino.....   | 18         |
| 2.7 Medición forestal .....   | 20         |
| 2.8 Factores de sitio y dendrométricos en el crecimiento de los árboles .....   | 21         |
| <br>  |            |
| <b>CAPÍTULO III. INFLUENCIA DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS Y DE SITIO EN EL RENDIMIENTO DE RESINA DE <i>Pinus teocote</i> Y <i>P. lawsonii</i> EN OAXACA</b> ..... | <b>23</b>  |
| 3.1 RESUMEN .....   | 24         |
| 3.2 ABSTRACT .....  | 24         |
| 3.3 INTRODUCCIÓN .....  | 25         |
| 3.4 OBJETIVO .....  | 27         |
| 3.5 MATERIALES Y MÉTODOS .....  | 27         |
| 3.5.1 Características del área de estudio .....   | 27         |
| 3.5.2 Establecimiento de la parcela resinífera .....  | 29         |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.5.3 Variables evaluadas.....  | 29        |
| 3.5.4 Análisis estadístico .....  | 31        |
| 3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 32        |
| 3.6.1 Evaluación de variables dendrométricas y de sitio .....           | 32        |
| 3.6.2 Rendimiento de resina .....                                       | 33        |
| 3.6.3 Correlación de rendimiento de resina y variables analizadas ..... | 36        |
| 3.6.4 Pruebas de independencia .....                                    | 37        |
| 3.7 CONCLUSIONES.....   | 40        |
| 3.8 REFERENCIAS.....  | 41        |
| <b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES GENERALES .....</b>                        | <b>47</b> |
| <b>CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES .....</b>                                | <b>49</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA GENERAL .....</b>                          | <b>50</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

| <b>Cuadro</b> |  | <b>Página</b> |
|---------------|--|---------------|
| 1             | Rendimiento de resina por unidad experimental (UE) y variables dendrométricas y de sitio en San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca.....                                      | 33            |
| 2             | Rendimiento mensual de resina por especie, total por parcela y promedio por árbol, así como temperatura y precipitación mensual en Cuatro Venados, Oaxaca.....         | 34            |
| 3             | Correlación de Pearson entre variables dendrométricas y de sitio con el rendimiento de resina a través del tiempo.....   | 36            |
| 4             | Ji-cuadrada ( $\chi^2$ , $\alpha = 0.05$ ) entre variables dendrométricas y de sitio con el rendimiento de resina ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de dos especies de pino..... | 38            |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b> |   | <b>Página</b> |
|---------------|---|---------------|
| 1             | Localización del área de estudio.....   | 27            |
| 2             | Rendimiento medio mensual de resina por árbol de <i>P. teocote</i> y <i>P. lawsonii</i> ..... | 34            |

## RESUMEN

El aprovechamiento de resina de pino se realiza desde la antigüedad debido a su gran variedad de usos. Especies como *Pinus teocote* y *P. lawsonii* son importantes para la extracción de resina, sin embargo, no existe mucha información sobre los factores que influyen en su rendimiento resinífero. El objetivo fue analizar las condiciones de sitio y características dendrométricas del arbolado que influyen en la producción de resina por especie en San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. En 2023 se estableció una parcela de resinación mediante un muestreo dirigido, se seleccionaron 132 pinos, 90 de *P. teocote* y 42 de *P. lawsonii* para evaluar sus características dendrométricas: diámetro normal (DN, cm), altura total (m), altura de fuste limpio (m), edad y número de caras resiníferas; y variables de sitio: pendiente (%), altitud (m), exposición y profundidad de materia orgánica (cm). El trabajo se realizó bajo la NOM-SEMARNAT-026-2005. Se registró el peso mensual de resina (kg)/cara/árbol por sitio y por especie. Los datos se analizaron mediante correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ), pruebas t-Student, y Ji-Cuadrada ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Los árboles de ambas especies poseen características dendrométricas similares y se desarrollan en las mismas condiciones de sitio. El rendimiento de resina fue semejante en las dos especies, altitud y exposición fueron las variables de sitio que más influyeron en el rendimiento de resina, mientras que la variable DN mostró la mayor relación con el rendimiento de resina en ambas especies, convirtiéndola en la principal variable a usar para establecer nuevas parcelas resineras.

**Palabras clave:** *Pinus*, caras resiníferas, diámetro normal, producción, relación.

## ABSTRACT

Pine resin has been harvested since ancient times due to its wide variety of uses. Species such as *Pinus teocote* and *P. lawsonii* are important for resin extraction, however, there is not much information on the factors that influence their resin yield. The objective was to analyze the site conditions and dendrometric characteristics of the trees that influence resin production by species in San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. In 2023, a resin-producing plot was established through a directed sampling, 132 pines were selected, 90 of *P. teocote* and 42 of *P. lawsonii* to evaluate their dendrometric characteristics: normal diameter (DN, cm), total height (m), height of clean trunk (m), age and number of resiniferous faces; and site variables: slope (%), altitude (m), exposure and depth of organic matter (cm). The work was carried out under NOM-SEMARNAT-026-2005. Monthly resin weight (kg)/shell/tree was recorded by site and species. Data were analyzed by Pearson correlation ( $\alpha = 0.05$ ), t-Student, and Chi-Square tests ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Trees of both species have similar dendrometric characteristics and develop in the same site conditions. Resin yield was similar in the two species, altitude and exposure were the site variables that most influenced resin yield, while the DN variable showed the greatest relationship with resin yield in both species, making it the main variable to use to establish new resin plots.

**Index words:** *Pinus*, resiniferous faces, normal diameter, production, relationship.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los bosques tienen un papel importante en los medios de vida y economía rural, contribuyen a la diversificación de actividades, aumentan las oportunidades laborales y las fuentes de ingresos; además, se les considera como redes de seguridad durante los períodos de crisis (Mada, Anjulo, Gelaw, et al., 2023). Son proveedores de una amplia variedad recursos naturales, bienes y servicios ecosistémicos para el beneficio local, regional y global (Peralta-Kulik et al., 2023). Oaxaca es uno de los estados con mayor diversidad de recursos naturales, mismos que han sido el sustento de las poblaciones humanas que obtienen bienes y servicios como alimentos (carne, frutas, verduras y aceites), madera y fibras para la construcción, leña como fuente de energía, y pulpa de madera para papel y servicios ecosistémicos, entre otros (SEMARNAT, 2016).

La diversidad de productos obtenidos de los bosques se divide en dos grupos principales, los recursos forestales maderables (RFM) y los recursos forestales

no maderables (RFNM) (SEMARNAT, 2017). Los RFNM son bienes de origen biológico diferentes de la madera y los animales, derivados de los ecosistemas naturales o intervenidos, dentro de los principales se encuentran las gomas, resinas, látex, lacas, frutos, cortezas, semillas, flores, raíces, ramas, hojas, lianas, cogollos, yemas, fibras, exudados, follajes, rizomas, palmas y hongos (López y Murcia, 2020).

De acuerdo con Ayala (2011), la resina de pino es uno de los RFNM que más se aprovecha en algunos lugares de México, solo después de los productos maderables pues representa uno de los ingresos más seguros y permanentes para la población rural de las zonas con bosques de pino y pino-encino.

El aprovechamiento de resina de pino se realiza en diferentes partes del mundo, por ejemplo, en China, Brasil e Indonesia, donde se obtiene el 90.4% del aprovechamiento de resina de pino a nivel mundial, mientras que en India, México y Argentina se obtiene el 7.7% (Cunningham, 2009). En México, el aprovechamiento de la resina de pino con fines comerciales se realiza desde 1920 (DOF, 2006). Michoacán ocupa el primer lugar nacional en el aprovechamiento de resina, seguido de los estados de Jalisco, Oaxaca y Estado de México (Muñoz-Flores et al., 2022).

Todas las especies del género *Pinus* producen resina, ya que en los tejidos de sus tallos poseen grupos de células que forman canales resiníferos en donde sintetizan y almacenan estas sustancias, las que usan como principal medio de defensa ante daños físicos (Zas y Sampedro, 2015). Las especies más utilizadas para producción de resina varían en todo el mundo según sus condiciones climáticas y de sitio, por ejemplo, en China se obtiene principalmente de *P.*

*massoniana*, en Indonesia de *P. merkusii*, en España de *P. pinaster* y en Centro y Suramérica de *P. oocarpa*, *P. caribaea* y *P. elliotii*, principalmente (Soria y Sanz, 2009). De acuerdo con la CONAFOR (2013), las especies que presentan mayor producción de resina en México son: *P. oocarpa*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. teocote*, *P. herrerae*, *P. tenuifolia*, *P. montezumae* y *P. pringlei*.

La resina es una sustancia viscosa y pegajosa, constituida por una mezcla compleja de diferentes tipos de terpenos, que se sintetiza en células especializadas denominadas células resiníferas, fluye al exterior naturalmente cuando el árbol recibe un daño físico, su formación puede inducirse por medio de estrés biótico (fitófagos y patógenos), o abiótico (resinación, heridas e incendios). Cuando la resina emerge de los canales resiníferos se presenta en estado líquido y transparente con un olor característico y de sabor agrio, pero al entrar en contacto con el ambiente externo toma una consistencia viscosa y opaca que está formada en proporciones variables de una parte volátil que es la esencia de trementina, y de un residuo fijo llamado colofonia (Ortega et al., 2013). Es considerada como una de las materias primas preindustriales más versátiles del mundo y de gran importancia socioeconómica, pues de ella se obtienen una amplia gama de productos y subproductos utilizados en la vida cotidiana de las poblaciones humanas (Francisco-Arriaga et al., 2011).

El aprovechamiento de resina se regula a través de las especificaciones técnicas que se describen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento y la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005 (Fabián, 2020). En Oaxaca, la resina se obtiene de los bosques naturales a través del sistema de resinación francés o Hugues adaptado para México, implementado

desde 1937 por disposiciones oficiales, es una práctica compatible con la morfología y fisiología del árbol permitiendo que de un árbol se extraiga resina durante varios años (DOF, 2006).

El crecimiento y productividad maderable y no maderable de los árboles se ve afectado por diversas variables naturales, principalmente las edafoclimáticas como altitud, pendiente, clima, entre otras (Martínez-Zurimendi et al., 2015); y las dendrométricas, particulares a cada individuo en crecimiento, principalmente diámetro y altura, a partir de las cuales se genera información de interés para el manejo y aprovechamiento de recursos forestales (Guzmán et al., 2019).

Los bosques del estado de Oaxaca cuentan con gran variedad de especies del género *Pinus*, por ende, poseen buen potencial para el aprovechamiento de resina, sin embargo, no se aprovecha adecuadamente. La producción de resina en el estado es comercializada sin procesar hacia otros estados del país, lo que implica altos costos y bajo nivel de ingresos para los productores rurales (CONANP, 2014).

La comunidad de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca, cuenta con una extensión territorial de 5,500 ha de bosque de pino y pino-encino destinadas al manejo forestal, de las cuales aproximadamente 50 ha están designadas para el aprovechamiento de resina de pino. El aprovechamiento de resina de pino en la comunidad representa una opción efectiva de empleo y de mejorar de las condiciones socioeconómicas de las unidades de producción familiar de los comuneros involucrados en la resinación (Zentella y Martínez, 2014).

### **1.1 Objetivo general**

Analizar las condiciones de sitio y características dendrométricas del arbolado que influyen en la producción de resina por especie en el bosque de San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca.

### **1.2 Objetivo específico**

Analizar la influencia de las variables dendrométricas y de sitio sobre el rendimiento de resina de *P. teocote* y *P. lawsonii*.

### **1.3 Hipótesis**

El rendimiento de resina por especie en la comunidad de San Pablo Cuatro Venados está relacionado con al menos una variable de sitio y una variable dendrométrica.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Recursos forestales no maderables**

La diversidad de productos obtenidos de los bosques se divide principalmente en dos grupos, los RFM y los RFNM (SEMARNAT, 2017). Los RFNM son bienes de origen biológico distintos de la madera y la fauna, derivados del bosque natural o plantado, tales como gomas, resinas, látex, lacas, frutos, cortezas, semillas, flores, raíces, ramas, hojas, lianas, cogollos, yemas, fibras, exudados, follajes, rizomas, palmas y hongos (López y Murcia, 2020). Son la parte no maderable del bosque, referida a los materiales biológicos de la naturaleza (Martínez et al., 2016). Excluida la madera rolliza industrial y la madera para energía derivados de los bosques y otras tierras forestadas y de árboles fuera del bosque (Camacho y Murcia, 2020). Estos recursos son importantes para las personas que viven en las regiones rurales, ya que contribuyen a la generación de beneficios económicos para sus hogares (Martínez-López et al., 2022).

Son recolectados para uso artesanal, doméstico, industrial, y medicina, además, tienen gran valor social, cultural y ambiental, y constituyen una parte importante de los bienes y servicios que generan los ecosistemas forestales y que tienen gran relevancia en la subsistencia de las poblaciones humanas asentadas en sus colindancias. Estos recursos son importantes para el bienestar de muchas comunidades rurales y contribuyen a los procesos de conservación de los ecosistemas (Zamora, 2017).

Los exudados de las plantas son parte de los denominados RFNM o menores, algunos de los exudados de mayor importancia por su valor económico o tradicional son las gomas como el chicle, el caucho y el látex; las resinas de coníferas para elaboración de trementina o de *Burseras* como el copal, la mirra y el incienso; los aceites esenciales de lináloe, los taninos para la curtiduría, entre otros (Quiroz y Magaña, 2015).

En el 2016 la producción forestal no maderable, excluyendo la extracción de tierra de monte, fue de 88.2 miles de ton, lo que representa un decremento del 15% con respecto al año anterior. En la década del 2007 al 2017, la producción promedio más alta de resina fue de 112.1 miles de ton para el año 2012 y la más baja en el 2008 con 48.5 miles de toneladas (SEMARNAT, 2017).

La SEMARNAT (2018) reporta que durante el periodo 2010-2018 México produjo 1,582,075 ton de productos derivados de los RFNM, de ellas, prevalece la comercialización de resinas, tierra de monte, plantas medicinales, hongos comestibles y arbustos.

El suministro de RFNM está influenciado por la distancia al bosque, el cambio en el régimen de manejo forestal, la estacionalidad y el cambio en el patrón de lluvia (Balama et al., 2016).

## **2.2 Aprovechamiento de resina y productos derivados**

Todas las especies del género *Pinus* producen resina, pues en los tejidos de sus tallos tienen grupos de células que forman canales resiníferos en donde sintetizan estas sustancias, las que usan como principal medio de defensa.

La resina que fluye de los pinos es una sustancia viscosa y pegajosa, constituida por una mezcla compleja de diferentes tipos de terpenos que se produce en unas células especializadas que se denominan células resiníferas. Fluye al exterior naturalmente cuando el árbol recibe un daño físico, su formación puede inducirse por medio de estrés biótico (fitófagos y patógenos), o abiótico (resinación, heridas y elevadas temperaturas). Cuando la resina surge del árbol se endurece y protege a los árboles contra posibles daños (Puente-Villegas et al., 2017). Cuando la resina emerge de los canales resiníferos se presenta en estado líquido y transparente con un olor característico y de sabor agrio, pero al entrar en contacto con el ambiente del exterior se vuelve viscosa y opaca que está formada en proporciones variables de una parte volátil que es la esencia de trementina, y de un residuo fijo llamado colofonia (Ortega et al., 2013).

En China, Brasil e Indonesia se obtiene el 90.4% de la producción de resina de pino a nivel mundial, mientras que en India, México y Argentina se obtiene el 7.7% (Cunningham, 2009).

En México, Michoacán ocupa el primer lugar nacional en el aprovechamiento de resina, seguido de los estados de Jalisco, Oaxaca y Estado de México (Muñoz-Flores et al., 2022).

Las especies más utilizadas para producción de resina varían en todo el mundo según sus condiciones climáticas y de sitio, en China, por ejemplo, se obtiene principalmente de *P. massoniana*, en Indonesia de *P. merkusii*, en España de *P. pinaster* y en Centro y Suramérica de *P. oocarpa*, *P. caribaea* y *P. elliottii* (Soria y Sanz, 2009); mientras que en México la resina se obtiene principalmente de *P. pringlei*, *P. teocote*, *P. lawsonii*, *P. oocarpa*, *P. herrerae*, *P. tenuifolia*, *P. montezumae* y *P. leiophylla* (CONAFOR, 2013).

En México, el aprovechamiento de la resina de pino con fines comerciales se ha realizado desde 1920, se obtiene de los bosques naturales a través del sistema de resinación francés o Hugues adaptado para México, e implementado en 1937 por disposiciones oficiales (DOF, 2006). Es una práctica compatible con la morfología y fisiología del árbol permitiendo la extracción de resina durante varios años. Para esto, la extracción de resina está regulada por las especificaciones técnicas que se describen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento, y la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005 (Fabián, 2020). Este sistema es aplicable para árboles mayores a 30 cm de diámetro normal (DN), medida con la cual se determina el número de caras que

puede soportar un pino, cuya apertura se inicia a partir de los 20 años de edad del arbolado (Muñoz-Flores et al., 2022).

La producción se divide principalmente en dos temporadas, alta, que abarca de marzo a junio y la baja de julio a febrero, lo que cubre las cuatro estaciones del año (SEMARNAT, 2018).

Una vez recolectada la resina se transporta a fabricas industriales donde se somete a un proceso de destilación en el que se obtienen dos productos principales: aguarrás (o esencia de trementina) y colofonia. El rendimiento medio después de la transformación de la resina es de un 70% de colofonia, 20% de aguarrás, el 10% restante es agua e impurezas (Soria y Sanz, 2009; DOF, 2006).

Las resinas pueden clasificarse en resinas duras y suaves, las primeras como el copal y la resina de pino, son solubles en alcohol, aunque también hay solubles en aceites y agua, además, cuentan con un alto punto de fusión relativo; por otra parte, las resinas suaves u óleo-resinas son aquellas que tienen un alto contenido de aceites (Quiroz y Magaña, 2015). La colofonia, producto natural de la industria forestal no maderera, puede utilizarse de manera directa como material de partida ecológicamente sustentable, en la obtención de intermediarios avanzados para la industria farmacéutica (Arteaga, C. Y., Carballo, A. L., Tiomno, T. O., Casal, V. A., Tacoronte, M. J. E., Cruz, S. R.,2007).

Las resinas se pueden utilizar como polímeros naturales, conocidos en los últimos años como polímeros bioactivos, particularmente aquellos no hidrosolubles, porque además de impedir la adsorción del agua, limitan el crecimiento de microorganismos y podrían resolver diversos problemas relacionados con el

uso y durabilidad de la madera sin afectar el ambiente y la salud humana (Brand et al., 2006).

Se ha desarrollado el uso de resina como aglutinante sostenible e impermeable para refuerzo en elaboración de adobes de tierra (García, G. I., Alavéz, R. R., Morales, D. V. J., 2021), y de acuerdo con Díaz, A. I. J., Díaz, C. A., Rodríguez, P. A. J., Alfonso, A. A., Tamayo, M. E. (2020) también se puede utilizar en la fabricación de briquetas energéticas con aserrín y corteza de pino para su uso como biocombustible, utilizando como aglutinante un residuo de la destilación de la resina de pino.

Derivados del ácido abiético presente en la resina se han empleado en sistemas de liberación sostenida de fármacos, demostrando su gran utilidad, también se han sintetizado derivados de ácidos resínicos con estructuras tipo benzimidazol, quinoxalina, catecol e indol, los cuales han manifestado *in vitro* e *in vivo*, interesantes efectos antivirales y propiedades de reversotranscriptasa, potencialmente útiles en el tratamiento de VIH SIDA7 (Arteaga et al., 2007).

Desde la perspectiva ambiental, el aprovechamiento de resina de pino se reconoce como una herramienta de conservación activa que ayuda a garantizar el actual y futuro suministro de los servicios ambientales del bosque, pues al llevar a cabo la resinación los árboles no se derriban y todo su entorno permanece prácticamente intacto (Delgado, 2019).

### **2.3 Descripción de las especies resiníferas**

El género *Pinus* es uno de los más importantes componentes de los ecosistemas de clima templado en México por su amplia distribución y abundancia, ocupa un lugar fundamental desde los puntos de vista ecológico, forestal e industrial, tanto para la producción maderable como en la no maderable (Paz-Pérez y Davalos-Sotelo, 2016).

*P. teocote* y *P. lawsonii* son especies que se distribuyen en zonas de transición vegetativa en el estado de Oaxaca, son capaces de cohabitar en zonas con las mismas características edafoclimáticas, además sus características dendrométricas son similares, mismas que se describen a continuación:

#### 2.3.1 *Pinus teocote* Schiede ex Schlechtendal & Chamisso

Pertenece a la familia Pinaceae, subgénero *Pinus* Diploxylon, sección *Pinus*, subsección Oocarpae (Lira, 2020). Son árboles rectos de 20 a 25 m de altura, con hasta 75 cm de diámetro, copa de forma irregular formada por los conos ubicados de forma irregular en el fuste, las ramillas son ásperas de color moreno rojizo, frecuentemente con tinte ceniciento en sus partes tiernas, hojas en grupos de tres raramente en dos o cuatro en algunos fascículos, por lo general de 10 a 15 cm, fuertes y tiesas, anchas hasta cerca de dos milímetros, de bordes aserrados con dienteillos pequeños y próximos (Campos, 1993). Conos menores de 7 cm, hojas 13 a 18 cm de longitud, triangulares y delgadas, de 2 a 7 canales resiníferos medios, conos ovoides u ovoide-cónicos, de 5 a 7 cm de longitud pronto caedizos cortamente pedunculados, escamas del cono de 60 a 100, abriendo pronto, gruesas y lignificadas, rígidas; apófisis plana a ligeramente

levantada, de color café clara, con el umbo más oscuro que la apófisis, plano y obtuso (Farjon, A., Pérez de la Rosa, J. A., Styles, B. T., 1997).

Las semillas de estos árboles son muy pequeñas, 3 a 5 mm de longitud, de color gris-café oscuro, con ala articulada de color más claro, translúcida, de 12 a 18 por 6 a 8 mm (Farjon y Styles, 1997). Las escamas de los conos son pequeñas, de 15 a 20 mm de largo y 8 a 10 mm de ancho, aplanadas o ligeramente protuberantes (Martínez, 1948).

Esta especie se asocia a pinares o en bosques de pino-encino relativamente abiertos, usualmente en cordilleras secas y rocosas, también se le encuentra asociada con bosques de latifoliadas al sur de su área de distribución, en áreas con suelos poco profundos y eventualmente calcáreos (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014). Según Contreras-Medina y Luna-Vega (2007), parece ser la especie de las gimnospermas más ampliamente distribuida en el territorio mexicano, encontrándose en 23 estados, y representa los árboles dominantes en algunos bosques de México.

Se desarrollan en un rango altitudinal que va de 1,000 hasta los 3,300 m, ocupando lugares donde el régimen de precipitación es usualmente moderado, 500-1,000 mm. *P. teocote*, también es conocida por los nombres comunes de ocote, ocotl, pino real, pino chino, pino colorado, pino rosillo, teocotl, xakilche, ocotl y jalocote. Pimentel-Bribiesca, (2009) ha registrado 161,350 semillas kg<sup>-1</sup> de *P. teocote* y tiene un estado de conservación de preocupación menor según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

Sáenz-Esqueda et al. (2010) estudiaron el contenido fenólico y acción antioxidante de extractos de acículas de *P. teocote*, encontrando que esta especie tiene una actividad antioxidante muy importante, por su alto contenido de taninos, convirtiéndolo en un atractivo para la industria farmacéutica.

Esta especie tiene varios usos, entre los más importantes destacan los aprovechamientos maderables y resineros por igual, la madera es de buena calidad y se emplea para la industria de aserrío, chapa y pulpa para papel y también estos árboles se utilizan para el aprovechamiento de resina natural (Lira, 2020).

### 2.3.2 *Pinus lawsonii* Gordon & Glendinning

Pertenece a la familia Pinaceae, subgénero *Pinus* Diploxyton, sección *Pinus*, subsección Oocarpae, subespecies, variedad y formas reportadas var *lawsonii* (Lira, 2020). Es un árbol de 20 a 25 m de altura, con hasta 75 cm de diámetro, de tronco recto, algunas veces tortuoso con una corteza oscura y grisácea, algo escamosa e interiormente rojiza, las ramas son extendidas y están irregularmente colocadas, formando una copa irregular. Las ramillas son casi lisas, amarillentas y escamosas con tinte blanquizco en las partes más tiernas, la base de las brácteas es caediza. Acículas en fascículos de 3, 4 y hasta 5, rara vez 2, de 12 a 25 cm de longitud y 1 a 1.5 mm de ancho, rectas, rígidas, de color verde-glaucos (Farjon et al., 1997).

Los conos tienen forma ovado cónicos u oblongo cónicos, semipersistentes algo asimétricos y oblicuos, ligeramente encorvados, a veces erguidos, algo atenuados hacia la base, de cinco a siete cm de largo y en ocasiones hasta

nueve, de color moreno amarillento, algo rojizo u ocre verdoso, opacos dispuestos generalmente en pares y a veces en grupos de hasta cuatro en pedúnculos de 7 a 12 mm, escamas del cono en cantidades de 70 a 100, abriendo gradualmente, gruesas y lignificadas, rígidas, que se tornan recurvadas; apófisis ligeramente levantadas, transversalmente aquilladas, con el contorno rómbico, ligeramente café, con el umbo abruptamente levantado y curvado (Campos, 1993).

Las semillas son de color moreno oscuro de unos 5 mm de largo con alas de 15 a 18 mm de largo por 5 de ancho, provista de ganchos basales. Según Lira, (2020), es una especie de gran importancia resinera por ser de las más productivas y su madera es amarillenta a rojizo anaranjado, con propiedades mecánicas buenas.

Estos árboles que se desarrollan en zonas boscosas de pinares o bosques de pino-encino montañosos. Esta especie generalmente se encuentra dispersa creciendo con otras especies de los géneros *Pinus* y/o *Juniperus*, en lugares arenosos, en suelos pocos profundos o delgados, en altitudes que van de los 1,300 a 2,600 m, se le conoce con los nombres comunes de pino ocote y pino chino (Farjon et al., 1997).

## **2.4 Canales resiníferos**

Son espacios intercelulares delimitados por células de parénquima epitelial especializadas en la producción de resina, que vierten este contenido en los

mismos, se encuentran dentro de la madera en sentido transversal y en sentido axial o longitudinal, en el caso de los canales transversales forman parte de la estructura de los radios, por lo tanto, se les da el nombre de radios fusiformes. Los canales resiníferos constituyen un elemento importante en la diferenciación de las maderas, pues en algunas están siempre presentes (*Pinus* sp., *Picea* sp.), y en otras están ausentes (*Sequoia* sp., *Araucaria* sp.) (Vásquez y Ramírez, 2011).

Los canales resiníferos traumáticos surgen como resultado de heridas al árbol y presentan una distribución especial y características que los diferencian de los canales normales pues estos últimos aparecen irregularmente en todo el árbol, mientras que los canales resiníferos traumáticos aparecen en fajas regulares en los lugares correspondientes en los que se produce una herida que los originó, este es el principio en que se basa el aprovechamiento de resina en árboles vivos. Dentro de los caracteres macroscópicos de los canales resiníferos en el género *Pinus* sp. se pueden encontrar los canales de resina axiales y radiales (radios fusiformes), parénquima epitelial (asociado a los canales de resina) y sin parénquima axial (Rojas, 2019).

## **2.5 Factores que influyen en la producción de resina**

La producción de resina se ve influenciada por diferentes variables y dependiendo de la especie, debido a que cada especie presenta valores de rendimiento poco constantes durante el transcurso del año, estos están

condicionados a diversos factores como la edad de los árboles resineros, diámetro normal, diámetro de copa, diámetro del fuste, distribución y densidad de los canales resiníferos, la fertilidad del suelo, entre otros (Reyes-Ramos et al., 2019; Reynoso-Santos et al., 2018).

La especie de pino y sus características fisiológicas propias de cada una, además de la ubicación geográfica y clima no solo influyen en el rendimiento de la resina, sino que también determinan la composición de la resina como consistencia, color y olor (Silvestre y Gandini, 2008).

La composición de factores ambientales, bióticos y abióticos en espacio y tiempo y su interacción con la dinámica del rodal, han sido identificadas como causas de variabilidad en el rendimiento de la resina, esto se explica por las diferentes condiciones de índice de sitio presentes a diferentes altitudes, exposiciones, pendientes y demás variables ecológicas presentes en los rodales resiníferos (Rodríguez-García et al., 2014).

De acuerdo con Muñoz-Flores et al. (2022) las variables diámetro normal (DN), altura sobre el nivel del mar y temporada de colecta influyen en la producción de resina en un estudio realizado para la especie *P. pseudostrobus* Lindl., en Michoacán, México.

La altura de fuste limpio y el número de caras vivas por individuo, son variables que indudablemente influyen en la producción de resina de pino (Reyes-Ramos et al., 2019).

La producción se ve afectada por factores ecológicos como la influencia del clima (precipitación, temperatura y humedad, principalmente), factores naturales

(procesos fisiológicos complejos tales como la asignación de carbohidratos para el crecimiento), o factores que se relacionan con las características genéticas propias de cada especie, y aún más a fondo, la variabilidad dentro de cada árbol (Calama et al., 2010).

Otros factores que pueden afectar a la producción de resina de los pinos son los relacionados con el medio ambiente y, en particular, con el clima, la fisiografía y las condiciones edáficas del lugar donde crecen los árboles, se ha demostrado que muchos parámetros climáticos diferentes modulan la producción de resina, las variables climáticas que más afectan el flujo de resina y tienen los valores de correlación más altos con la producción de resina, son la temperatura y las relacionadas con el almacenamiento de agua en el suelo. El clima afecta positivamente el rendimiento de resina, mientras que el efecto del almacenamiento de agua en el suelo deja de ser lineal, aumentando el rendimiento de resina bajo un déficit hídrico moderado, pero decayendo cuando el estrés hídrico se vuelve más severo (López-Álvarez et al., 2023).

## **2.6 Composición de la resina de pino**

La resina es un producto natural de sorprendente importancia por su versatilidad y variación composicional, que permite obtener derivados con elevado valor agregado y extensa aplicabilidad. Está compuesta aproximadamente por un 90% de ácidos resínicos (series abietano-pimarano) y un 10% de sustancias no resinosas (Arteaga et al., 2007).

Combinación terpenoides, que se pueden fraccionar en trementina (monoterpenos y sesquiterpenos) y colofonia (diterpenos) a través de procesos de destilación simples. La colofonia se compone principalmente de varios isómeros de ácidos resinosos (como ácido abiético, ácido neoabiético, ácido paléstrico y levopimaradieno, etc.). La trementina se compone principalmente de monoterpenos (como  $\alpha$ -pineno,  $\beta$ -pineno, limoneno) y sesquiterpenos (longifoleno, cariofileno) (Liang et al., 2023).

Es una mezcla compleja de terpenos, lignanas, silbanas, flavonoides y otros compuestos aromáticos, grasas, ceras, ácidos grasos, alcoholes y esteroides, así como hidrocarburos de cadena larga, constituida de alrededor del 60-75% de ácidos resínicos, 10-15% de trementina y agua y de 5-10% de sustancias neutras. Los terpenos son compuestos volátiles que forman parte de los aceites esenciales, y son los responsables del olor característico del pino y la fracción volátil, trementina, consiste en una mezcla de terpenos con fórmula general  $C_{10}H_{16}$ , destacándose  $\alpha$ -pineno,  $\Delta^3$ careno, canfeno, felandreno y p-cimeno (Iñíguez et al., 2015).

Los ácidos resínicos son compuestos diterpenóicos de fórmula general  $C_{20}H_{30}O_2$ . Se clasifican de acuerdo a su estructura en dos series, abietano y pimarano. Los ácidos resínicos de la serie abietano tienen un sistema de dobles enlaces y un grupo isopropílico como sustituyente en el tercer anillo, mientras que en el caso de los ácidos resínicos de la serie pimarano tienen un grupo vinílico y un grupo metilo en la misma posición (Mancebo et al., 2016).

## 2.7 Medición forestal

Parte importante del manejo forestal radica en la información disponible sobre las condiciones en que se encuentra un bosque, esto se logra a través de la medición y registro de datos sobre las plantas que ahí habitan. La medición forestal es la determinación o estimación de las dimensiones de medida en los árboles a través de técnicas estandarizadas e instrumentos dendrométricos especializados, para su medición el árbol, arbusto o planta, es tratado como un ente numérico, es decir, un cuerpo sólido que se asemeja a un cilindro, en el cual se pueden medir variables como diámetro, altura, altura de fuste limpio, entre otras (Orozco y Brumér, 2002)

La dasimetría es la ciencia forestal que se encarga de estudiar la medición de los bosques o de sus productos, a través de las dimensiones de los elementos que los constituyen, considera sus componentes principales tales como los árboles y las partes de éstos susceptibles a ser aprovechados de alguna manera (recursos forestales maderables y no maderables). Implica la estimación del volumen ( $m^3$ ) de árboles completos y de sus partes, las existencias de madera en rodales, la edad y el incremento de árboles individuales y de rodales completos a través del tiempo, así como la magnitud y volumen de sus productos.

La dasimetría se divide en dos partes (Romahn y Ramírez, 2010)

La primera se denomina dendrometría, del griego *dendron*, que significa árbol, y *metrón* que se refiere a medida, se encarga de la medición, cálculo y/o estimación de las dimensiones de los árboles y sus diferentes partes; analiza las

dimensiones de árboles y bosques desde un punto de vista estático, incluyendo las técnicas de medición de los distintos componentes del árbol (diámetro, altura, corteza, copa, ramas, etc.), ya sea en pie o como madera en rollo de diferentes especies arbóreas (Juárez, 2014).

La segunda parte se conoce como epidimetría la cual proviene del griego *epidoma* que representa al crecimiento y *metrón* refiriéndose a medida. En conjunto se refiere a la medición, cálculo y/o estimación del crecimiento y producción primaria y secundaria de árboles individuales y en conjunto dentro de los bosques; analiza las dimensiones de los árboles y bosques desde un punto de vista dinámico. Tomando como base el crecimiento la epidimetría se encarga de determinar la rentabilidad en especie o producción de un ecosistema durante un tiempo concreto y conocido (Imaña y Encinas, 2008).

## **2.8 Factores de sitio y dendrométricos en el crecimiento de los árboles**

El conocimiento de la estructura, conformación, distribución y desarrollo de las masas arbóreas, así como de las plantas que ahí habitan es fundamental, pues ayuda a clasificar y entender la influencia de los procesos que se han presentado en las mismas ya sea por características del sitio o variables de desarrollo propios de cada árbol (Benavides y Fernández, 2012).

La producción y aprovechamiento de recursos forestales se debe entre otras cosas, a la respuesta de los árboles a la capacidad productiva de los sitios donde crecen, la cual está definida por una amplia gama de factores ambientales

fisiográficos, climáticos y edáficos que junto a la capacidad genética de las especies influyen sobre el crecimiento de los árboles y de las masas forestales, así como sobre su capacidad de producción (Bueno-López et al., 2015).

La capacidad de crecimiento de los árboles es función de las potencialidades definidas por su genotipo, cuyo nivel de expresión es directamente influenciado por la condición del sitio donde se desarrollan, por lo cual es importante conocer el impacto de los factores ambientales sobre el crecimiento y productividad de los árboles y las masas forestales debido a que son una alternativa para obtener bienes y servicios a corto plazo (Martínez-Salvador et al. 2013).

El crecimiento en diámetro de los árboles es un rasgo importante que se utiliza en la selección de especies y su uso potencial en la reforestación, la restauración ecológica y aprovechamiento de RFM y RFNM. Según Interián-Ku et al (2014) existe relación directa entre la tasa de crecimiento de los árboles con algunas variables tales como: los gradientes de elevación, la temperatura, la precipitación, la competencia por luz solar, cambios de estación y el tiempo.

Análisis ecológicos indican que se han encontrado relaciones entre el crecimiento de coníferas y los factores del sitio donde crecen como la profundidad de suelo, altitud, pendiente y exposición, otros trabajos mencionan que las propiedades físicas que más influyen en el crecimiento de algunas coníferas son pH, material muerto y contenido de limo en el suelo (Stoler y Relyea, 2011).

### **CAPÍTULO III**

#### **INFLUENCIA DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS Y DE SITIO EN EL RENDIMIENTO DE RESINA DE *Pinus teocote* Y *P. lawsonii* EN OAXACA**

#### **DENDROMETRIC AND SITE VARIABLES INFLUENCES RESIN YIELD OF *Pinus teocote* AND *P. lawsonii* IN OAXACA**

Iván José Aguilar-Pinacho<sup>1</sup>

Salvador Lozano-Trejo<sup>2</sup>

Gerardo Rodríguez-Ortiz<sup>2</sup>

Ernesto Castañeda-Hidalgo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Tecnológico Nacional de México. <sup>2</sup>Profesor investigador. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Tecnológico Nacional de México. Ex Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71233. Tel. 9515170444.

§Autor para correspondencia (lozanos2004@gmail.com).

### 3.1 RESUMEN

La resina de pino es un recurso forestal no maderable que se aprovecha en México desde hace más de un siglo. *Pinus teocote* y *P. lawsonii* se distribuyen ampliamente en Oaxaca y presentan buen potencial resinífero, por lo cual es importante conocer los factores que influyen en su rendimiento de resina. El objetivo fue analizar la influencia de variables dendrométricas y de sitio sobre el rendimiento de resina de *P. teocote* y *P. lawsonii* en San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. A inicios del 2023 se seleccionaron 132 árboles mediante un muestreo dirigido, 90 de *P. teocote* y 42 de *P. lawsonii*. Se registraron sus variables dendrométricas: altura total (m), diámetro normal (cm), altura de fuste limpio (m), edad y número de caras resiníferas; y variables de sitio: altitud (m), pendiente (%), exposición y profundidad de materia orgánica (cm). La resinación se realizó bajo la NOM-SEMARNAT-026-2005; se registró mensualmente el peso de resina (kg)/cara/árbol por sitio y por especie. Los datos se analizaron con pruebas t-Student, correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ) y ji-cuadrada ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ). El rendimiento resultó similar en ambas especies con un promedio mensual de 0.221 kg/árbol para *P. teocote* y 0.241 kg/árbol en *P. lawsonii*. La variable dendrométrica DN presentó mayor relación con la producción de resina, los árboles con mejor rendimiento tuvieron DN de 30 a 40 cm. Altitud superior a 2 080 m y exposición SE fueron las variables de sitio que más influyeron en el rendimiento de resina en ambas especies.

**Palabras clave:** *Pinus*, caras resiníferas, diámetro normal, producción, relación, resinación.

### 3.2 ABSTRACT

Pine resin is a non-timber forest resource that has been harvested in Mexico for more than a century. *Pinus teocote* and *P. lawsonii* are widely distributed in Oaxaca and have good resin potential, so it is important to know the factors that influence their resin yield. The objective was to analyze the influence of dendrometric and site variables on the resin yield of *P. teocote* and *P. lawsonii* in San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca. At the beginning of 2023, 132 trees were selected through a directed sampling, 90 of *P. teocote* and 42 of *P. lawsonii*. Their dendrometric variables were recorded: total height (m), normal diameter (cm), height of clean trunk (m), age and number of resiniferous faces; and site variables: altitude (m), slope (%), exposure and depth of organic matter (cm). Resination was carried out in accordance with NOM-SEMARNAT-026-2005; the weight of resin (kg)/shell/tree per site and per species was recorded monthly. Data were analyzed with Student's t-tests, Pearson's correlation ( $\alpha = 0.05$ ) and chi-square ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Yields were similar for both species with a monthly average of 0.221

kg/tree for *P. teocote* and 0.241 kg/tree for *P. lawsonii*. The dendrometric variable DN was most related to resin production; the trees with the best performance had a DN of 30 to 40 cm. Altitude higher than 2 080 m and SE exposure were the site variables that most influenced resin production in both species.

**Key words:** *Pinus*, resiniferous faces, normal diameter, production, resination, relationship.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales no maderables (RFNM) juegan un papel importante en las comunidades de Oaxaca, ya que de ellos obtienen bienes y servicios como alimentos (frutas, verduras, y hongos), fibras para la construcción, tierra de monte, plantas medicinales, aceites, gomas y resinas naturales principalmente (González-Molina et al., 2022; SEMARNAT, 2016;).

El aprovechamiento de resina de pino se realiza en varias partes del mundo, en China, Brasil e Indonesia se obtiene el 90.4% del aprovechamiento de resina de pino a nivel mundial, mientras que en India, México y Argentina se obtiene el 7.7% (Cunningham, 2009). En México, el aprovechamiento de resina de pino con fines comerciales se ha realizado desde 1920 (DOF, 2006). Michoacán ocupa el primer lugar nacional en el aprovechamiento de resina, seguido de los estados de Jalisco, Oaxaca y Estado de México (Muñoz-Flores et al., 2022 a; SEMARNAT, 2017).

Todas las especies del género *Pinus* producen resina, pues es el principal medio de defensa ante daños físicos (Zas y Sampedro, 2015). Las especies más utilizadas para producción de resina varían en todo el mundo según sus condiciones climáticas y de sitio (Soria y Sanz, 2009).

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2013), las especies que presentan mayor producción de resina en México son: *P. oocarpa* Schiede ex Schltdl, *P. leiophylla* Schltdl. & Cham, *P. lawsonii* Roezl ex Gordon, *P. teocote* Schiede ex Schltdl et Cham. *P. herrerae* Martínez, *P. tenuifolia* Benth, *P. montezumae* Lamb y *P. pringlei* Shaw.

La resina es una secreción de origen vegetal pegajosa compuesta por una mezcla compleja de mono y sesquiterpenos, trementina y una porción de colofonia no volátil, cuyos componentes principales son los terpenoides cuya biosíntesis juega un papel central en el rendimiento de la resina (Li et al., 2022; Rodrigues-Corrêa et al., 2013), la cual fluye al exterior cuando el árbol recibe un daño físico inducido por medio de estrés biótico (fitófagos y patógenos), o abiótico (resinación, heridas y elevadas temperaturas), desempeñando un papel importante en la protección de los pinos contra posibles daños al actuar como una barrera física para algunas plagas pequeñas y al esterilizar, sellar y aislar los tejidos dañados (Celedon y Bohlmann, 2019; Puente-Villegas et al., 2017; Ortega et al., 2013).

El aprovechamiento de resina se regula a través de las especificaciones técnicas que se describen en la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento y la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005 (Fabián, 2020). En Oaxaca la resina se obtiene de los bosques naturales a través del sistema de resinación francés o Hugues adaptado para México, e implementado desde 1937 por disposiciones oficiales, es una práctica compatible con la morfología y fisiología del árbol permitiendo que de un árbol se extraiga resina durante varios años (DOF, 2006).

Los bosques del estado de Oaxaca cuentan con gran variedad de especies del género *Pinus*, por ende, poseen buen potencial para el aprovechamiento de resina, sin embargo, no se está aprovechado adecuadamente. La producción de resina en el estado, se comercializa sin procesar hacia otros estados del país, lo que implica altos costos y bajo nivel de ingresos para los productores rurales (CONANP, 2014).

La comunidad de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca cuenta con una extensión territorial de 5,500 ha de bosque destinadas al manejo forestal, de las cuales, aproximadamente 50 ha están designadas para el aprovechamiento de resina de pino, actividad que representa una opción práctica de autoempleo, que permite mejorar las condiciones socioeconómicas de los comuneros involucrados en la resinación (Francisco-Arriaga et al., 2011).

### **3.4 OBJETIVO**

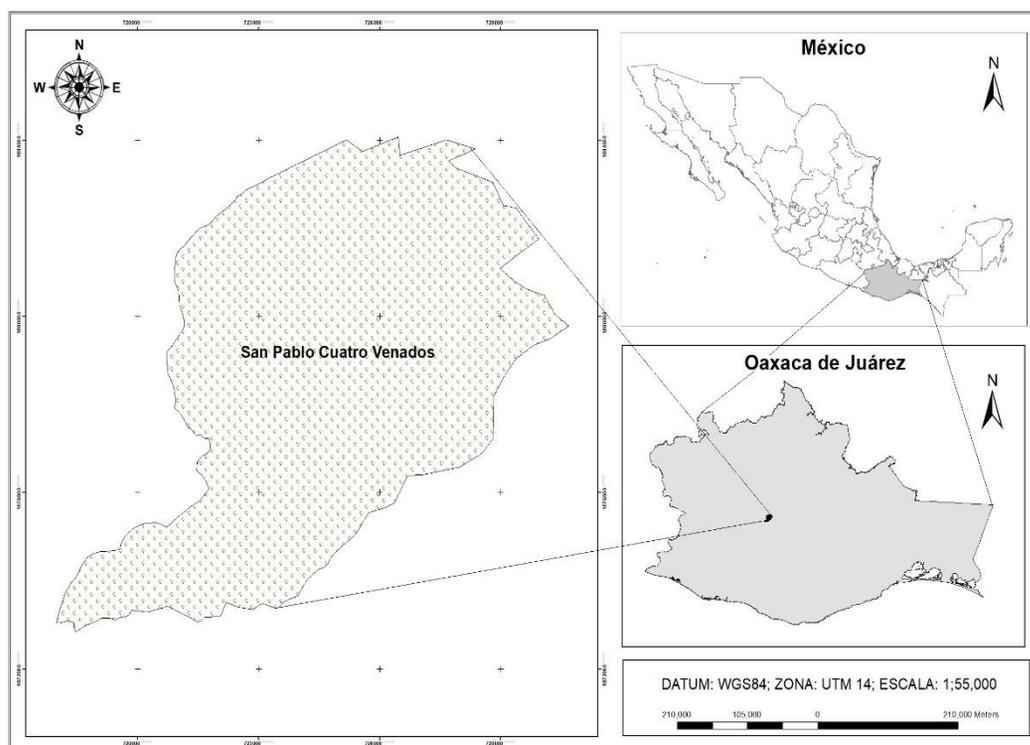
El objetivo de la investigación fue analizar la influencia de las variables dendrométricas y de sitio en el rendimiento de resina de *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl et Cham y *P. lawsonii* Roezl ex Gordon en San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca.

### **3.5 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.5.1 Características del área de estudio**

La investigación se realizó en la comunidad de San Pablo Cuatro Venados, Zaachila, Oaxaca ubicada a 16°30' a 17°20'N, 96°49' a 97°26'O, posee una superficie de 221,000 ha y se ubica a una altitud entre los 1,600 y 3,000 m. El clima es templado subhúmedo y semicálido subhúmedo.

Los tipos de vegetación predominantes son bosque de pino y pino-encino principalmente con especies arbóreas como *P. rudis* Endl, *P. pseudostrobus* Lindl, *P. douglasiana* Martínez, *P. pringlei* Shaw, *P. ayacahuite* Ehrenb. ex Schltld, *P. oaxacana* Mirov, *P. teocote* Schiede ex Schltld et Cham, *P. lawsonii* Roetzl ex Gordon, *P. patula* Schltld. & Cham, *P. oocarpa* Schiede ex Schltld y *P. montezumae* Lamb; y bosque de encino donde predominan *Q. crassifolia* Bonpl, *Q. elliptica* Née, *Q. acutifolia* Née, *Alnus* spp. y *Arbustus* spp (Lavariega et al., 2016) (Fig. 1).



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio.

### 3.5.2 Establecimiento de la parcela resinífera

En el año 2019 se inició un proyecto de aprovechamiento de resina de pino en la comunidad de San Pablo Cuatro Venados, por un grupo de comuneros en coordinación con el Comisariado de Bienes Comunales. A fines del año 2022 se rehabilitaron las áreas de resinación a través de actividades como censo de arbolado, etiquetado de árboles resiníferos, limpieza de cacharros (contenedores donde se almacena la resina) y rehabilitación de caras de resinación.

El área de resinación se ubica en el paraje El Portillo, donde se delimitó una parcela de 10 hectáreas de bosque templado, en la cual se eligieron 550 pinos como árboles resineros constituidos por dos de las especies más abundantes en la región *P. lawsonii* y *P. teocote*, distribuidos en diferentes proporciones debido a que es un área de bosque natural.

A través de un muestreo dirigido se establecieron 15 unidades experimentales (UE) circulares de 400 m<sup>2</sup> donde quedaron distribuidos los árboles muestra para el estudio, quedando en las siguientes proporciones: 90 individuos de la especie *P. teocote* y 42 de *P. lawsonii*, con un total de 132 árboles resiníferos libres de plagas y enfermedades con 224 caras de resinación vivas y en producción.

### 3.5.3 Variables evaluadas

Se registraron las principales variables dendrométricas de cada árbol resinero como diámetro normal (DN, cm) a 1.30 m del suelo con cinta diamétrica marca Forestry suppliers®, altura total (AT, m) y altura de fuste limpio

(AFL, m) con pistola Haga, diámetro de copa (DC, m) con cinta métrica, edad (años) con taladro de Pressler y número de caras de resinación.

Además, se registraron las principales variables de sitio como altitud (Al, m), exposición (Ex, X) y coordenadas geográficas (CG) con GPS Garmin 62S, pendiente (Pe, %) con clinómetro Suunto PM5/360PC, y profundidad de materia orgánica (PMO, cm) con flexómetro.gripper FH-5M. A cada árbol resinero se le estimó el volumen total árbol (VTA, m<sup>3</sup>) y Área basal (AB, m<sup>2</sup>)  $AB = (\pi * DN^2)/4$ , donde  $\pi = 3.1416$ , DN = diámetro normal.

Para obtener los datos del clima se utilizó el conjunto de datos vectoriales de efectos climáticos regionales Oaxaca de Juárez E14-9 y para el tipo de suelo el conjunto de datos vectoriales edafológico, escala 1:250 000, serie II, Oaxaca de Juárez E14-9 INEGI, (2007), a través del programa ArcMap 9.8 ®.

El método de resinación utilizado fue el que marca la NOM-SEMARNAT-026-2005, en la que se establecen los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino (DOF, 2006). El raspado de las caras de resinación se realizó semanalmente durante tres fines de semana y en el cuarto fin se realizó la recolección de resina almacenada en los recipientes (cosecha), con ayuda de una báscula digital gramera se cuantifico el peso de resina (kg) por cara, árbol y UE) y se separó por especie.

La resina recolectada se almacenó en recipientes de plástico con capacidad de 20 kg y se resguardó en el centro de transformación de productos forestales del Comisariado de Bienes Comunales para su adecuado manejo. La resina recolectada correspondió a dos estaciones del año con un promedio de tres

cosechas por estación, iniciando en invierno (enero, febrero y marzo) y posteriormente primavera (abril, mayo, junio y julio).

### 3.5.4 Análisis estadístico

Se comprobaron los supuestos de homogeneidad a través de una prueba de Bartlett ( $\alpha = 0.05$ ) y normalidad de varianzas de los errores mediante la prueba de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0.05$ ) (Muños-Flores et al., 2022 b). Debido a la variabilidad en algunos datos se transformaron con  $\text{tangente}(x)$  y  $\text{arcotangente}(x)$ , hasta que todas las variables presentarán normalidad. El rendimiento de resina se contrastó entre especies mediante la prueba t-Student (PROC TTEST,  $\alpha = 0.05$ ). Se obtuvo la relación entre el rendimiento de resina con las variables de sitio y rendimiento con variables dendrométricas mediante el procedimiento correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ) (Reyes-Ramos et al., 2019). Se realizó una prueba de independencia entre variables dendrométricas y de sitio con el rendimiento de resina por especie a través del procedimiento Ji-Cuadrada ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ). Para probar las diferencias de producción de resina entre meses se corrió un análisis de medidas repetidas usando el procedimiento REPEATED, esta prueba representa el efecto promedio de las especies sobre las medidas repetidas en el tiempo, es decir la producción de resina de enero a julio.

Todos los análisis estadísticos se desarrollaron con el software Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute Inc., 2014).

## 3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.6.1 Evaluación de variables dendrométricas y de sitio

Las variables dendrométricas del arbolado bajo estudio fueron DN de 20 a 56 cm, AT de 8 a 24 m, AFL de 3 a 8 m y edades de 39 a 85 años para *P. teocote*; mientras que para los individuos de *P. lawsonii* los resultados son similares presentando DN de 24 a 44 cm, AT de 8 a 17 m, AFL de 3 a 9 m con un rango de edad de 40 a 75 años. Para ambas especies el DN y AT fueron diferentes a los reportados por Muñoz-Flores et al. (2022 c), quienes encontraron individuos con DN que van de 48 a los 87 cm y AT de 24 a 38 m para *P.pseudostrobus*. Las variables de sitio registradas fueron exposiciones sur, sureste y suroeste, con una profundidad de materia orgánica de 2 a 8 cm y altitudes de 2 022 a 2 150 m; superiores a los encontrados por Sáenz et al. (2006), quienes reportaron altitudes que van de 1 075 a 1 789 m para *P. oocarpa* en Miachoacan, México, el tipo de suelo encontrado en el área de estudio corresponde al tipo regosol éutrico y el clima predominante es templado sub-humedo (Cw), con lluvias en verano e invierno seco.

La UE4 presentó un mayor rendimiento de resina con un promedio de 4.087 kg/mes y un total de 28.612 kg durante todo el experimento, se ubica a una altitud de 2 122 m en exposición SE, con pendiente de 50% y una profundidad de materia orgánica de 5 cm.

Se encontraron 11 árboles dentro del sitio, cinco de *P. teocote* y seis de *P. lawsonii* con DN promedio de 38.9 cm, AT promedio de 13.81 m, AFL promedio de 7 m y 28 caras de resinación en total (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Rendimiento de resina por unidad experimental (UE) y variables dendrométricas y de sitio en San Pablo Cuatro Venados, Oaxaca.

| UE   | PT (kg) | PM $\bar{X}$ (kg) | ALT (m) | EXP | PEN (%) | PMO (cm) | NA | DN $\bar{X}$ (cm) | AT $\bar{X}$ (m) | AFL $\bar{X}$ (m) | EDAD $\bar{X}$ (años) | NC |
|------|---------|-------------------|---------|-----|---------|----------|----|-------------------|------------------|-------------------|-----------------------|----|
| UE1  | 11.612  | 1.659             | 2136    | SE  | 50      | 5        | 4  | 42.75             | 12.5             | 4.37              | 67                    | 11 |
| UE2  | 8.405   | 1.201             | 2147    | SO  | 50      | 4        | 6  | 32.16             | 9.75             | 4.25              | 50                    | 7  |
| UE3  | 21.109  | 3.016             | 2120    | S   | 50      | 4.5      | 8  | 40                | 14.5             | 8.31              | 61                    | 20 |
| UE4  | 28.612  | 4.087             | 2122    | SE  | 30      | 3.5      | 11 | 38.9              | 13.81            | 7                 | 56                    | 28 |
| UE5  | 15.966  | 2.281             | 2130    | SO  | 45      | 5        | 10 | 30.6              | 14.4             | 8.05              | 48                    | 16 |
| UE6  | 14.141  | 2.020             | 2123    | SE  | 45      | 3        | 9  | 30.44             | 12               | 7.16              | 56                    | 13 |
| UE7  | 13.113  | 1.873             | 2138    | SE  | 40      | 4        | 10 | 32                | 12.5             | 7.3               | 54                    | 17 |
| UE8  | 14.561  | 2.080             | 2088    | SE  | 40      | 3        | 7  | 30.42             | 11.42            | 6.35              | 46                    | 10 |
| UE9  | 15.920  | 2.274             | 2069    | S   | 45      | 6        | 14 | 32.85             | 13               | 6.42              | 51                    | 25 |
| UE10 | 9.945   | 1.421             | 2044    | SE  | 30      | 6        | 6  | 29.5              | 14.66            | 8.41              | 49                    | 8  |
| UE11 | 8.709   | 1.244             | 2030    | SE  | 35      | 5        | 9  | 28.11             | 14.66            | 7.83              | 58                    | 12 |
| UE12 | 6.724   | 0.961             | 2022    | SE  | 45      | 5        | 9  | 29.77             | 10.05            | 5.22              | 50                    | 12 |
| UE13 | 6.340   | 0.906             | 2023    | SE  | 45      | 4        | 4  | 42.87             | 20.5             | 10.25             | 70                    | 8  |
| UE14 | 19.838  | 2.834             | 2115    | SE  | 47      | 3        | 13 | 30.15             | 11.23            | 5.76              | 54                    | 19 |
| UE15 | 15.288  | 2.184             | 2125    | SE  | 45      | 2        | 12 | 30.25             | 12.16            | 5.83              | 53                    | 18 |

PT = peso total, PM  $\bar{X}$  = peso mensual promedio, ALT = altitud, EXP = exposición, SE = sureste, SO = suroeste, S = sur, PEN = pendiente, PMO = profundidad de materia orgánica, NA = número de árboles, DN  $\bar{X}$  = diámetro normal promedio, AT  $\bar{X}$  = altura total promedio, AFL  $\bar{X}$  = altura de fuste limpio promedio, NC = número de caras de resinación.

### 3.6.2 Rendimiento de resina

La primera cosecha de resina se realizó el último sábado de enero de 2023 y se recolectó un total de 26.303 kg de las 15 UE. Los árboles de *P. teocote* produjeron 16.906 kg con un promedio de 0.1878 kg/árbol, mientras que los de *P. lawsonii* produjeron 9.397 kg en total, con un peso medio de 0.2237 kg/árbol. Estos datos de peso fueron menores a los reportados por Reyes-Ramos et al. (2019 b), quienes encontraron un rendimiento mensual de 0.52 a 1.09 kg/árbol en individuos de *P. oocarpa*.

Existen diferencias altamente significativas en el rendimiento de resina por especie a través del tiempo, en mayo se obtuvo la mayor cosecha, 45.193 kg, donde los individuos de *P. teocote* contribuyeron con el 66% (29.938 kg) del total; mientras que el 34% (15.255 kg) fueron producidos por árboles de *P. lawsonii*. Sin embargo, al extrapolar los datos a peso medio por árbol los individuos de *P. lawsonii* produjeron mayor volumen de resina con 0.363 kg/árbol ( $\pm 0.01747$ ), mientras los de *P. teocote* produjeron 0.332 kg/árbol ( $\pm 0.01212$ ) (Cuadro 2). El clima de este mes fue un factor importante en la producción de resina, pues a mayor temperatura la resina fluye con mayor rapidez, tal como lo reportan Rodrigues y Fett-Neto (2009) en un estudio realizado en *P. elliottii* y Esteban et al. 2012 en *P. nigra* Arn. subsp. *Salzmannii*.

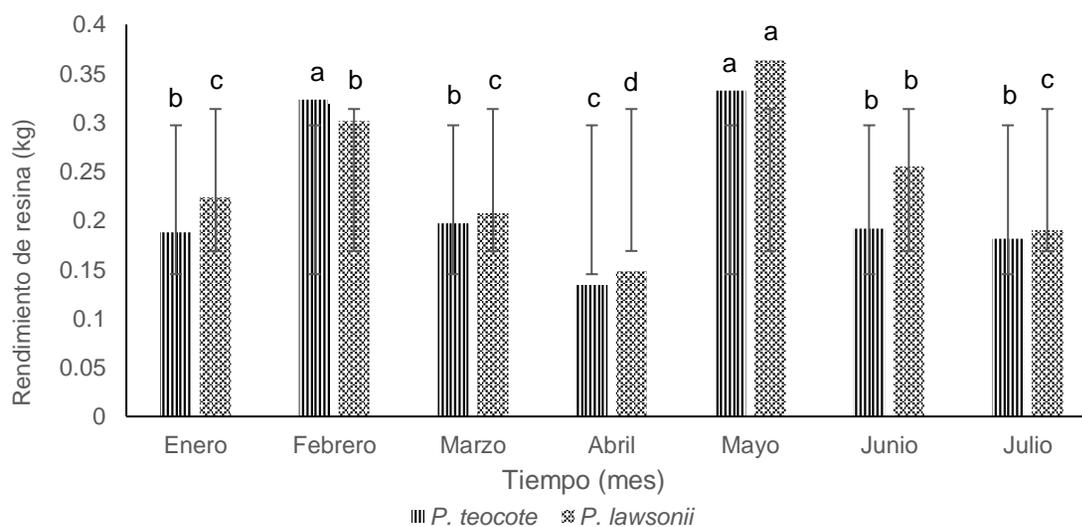
**Cuadro 2.** Rendimiento mensual de resina por especie, total por parcela y promedio por árbol, así como temperatura y precipitación mensual en Cuatro Venados, Oaxaca.

| Mes   | Peso de resina (kg) |                    |         | Peso promedio de resina (kg/árbol) |                      | Temperatura (°C) |     | PP (mm) |
|-------|---------------------|--------------------|---------|------------------------------------|----------------------|------------------|-----|---------|
|       | <i>P. teocote</i>   | <i>P. lawsonii</i> | Parcela | <i>P. teocote</i>                  | <i>P. lawsonii</i>   | Máx              | Mín |         |
| Enero | 16.906              | 9.397              | 26.303  | 0.188**<br>(0.00154)               | 0.224**<br>(0.00080) | 27               | 7   | 19.3    |

|         |        |        |        |                      |                      |    |    |       |
|---------|--------|--------|--------|----------------------|----------------------|----|----|-------|
| Febrero | 29.117 | 12.677 | 41.794 | 0.324**<br>(0.00117) | 0.302**<br>(0.00053) | 28 | 11 | 13.7  |
| Marzo   | 17.724 | 8.699  | 26.423 | 0.197**<br>(0.01741) | 0.207**<br>(0.00116) | 28 | 10 | 12    |
| Abril   | 12.060 | 6.226  | 18.286 | 0.134**<br>(0.02298) | 0.148**<br>(0.03097) | 30 | 14 | 24.2  |
| Mayo    | 29.938 | 15.255 | 45.193 | 0.333**<br>(0.01212) | 0.363**<br>(0.01747) | 32 | 17 | 87.5  |
| Junio   | 17.266 | 10.709 | 27.975 | 0.192**<br>(0.02348) | 0.255**<br>(0.02676) | 31 | 18 | 294.2 |
| Julio   | 16.325 | 7.984  | 24.309 | 0.181**<br>(0.00148) | 0.190**<br>(0.00158) | 28 | 17 | 278.1 |

PP = precipitación pluvial, \*\* Valores altamente significativos, se muestra entre paréntesis el error estándar.

En general el comportamiento del rendimiento mensual de resina por especie durante todo el estudio fue similar, enfatizando que en seis de los siete meses de cosecha los árboles de *P. lawsonii* produjeron mayor cantidad de resina con un promedio de (0.231kg/árbol) que los de *P. teocote* (0.204 kg/árbol), debajo del comportamiento reportando por Dvorak et al. (2002) con 0.6 kg/árbol en *P. tecunumanii* (Figura 2).



**Figura 2.** Rendimiento medio mensual de resina por árbol de *Pinus teocote* y *P. lawsonii*. Valores con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

### 3.6.3 Correlación de rendimiento de resina y variables analizadas

Los análisis de correlación para todas las variables bajo estudio presentaron variabilidad. En el Cuadro 3 se presentan las variables que mostraron niveles de correlación negativos con el rendimiento de resina a través del tiempo, como AFL, pendiente y MO. Asimismo, se presentan variables con valores de correlación bajos, pero estadísticamente significativos ( $p \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3.** Correlación de Pearson ( $\alpha = 0.05$ ) entre variables dendrométricas y de sitio con el rendimiento de resina a través del tiempo.

| Variable               | Enero                | Febrero              | Marzo                | Abril                | Mayo                 | Junio                | Julio               | Peso total           |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| DN                     | 0.447**              | 0.400**              | 0.380**              | 0.343**              | 0.623**              | 0.252*               | 0.574**             | 0.528**              |
| AT                     | 0.148 <sup>ns</sup>  | 0.125 <sup>ns</sup>  | 0.067 <sup>ns</sup>  | 0.057 <sup>ns</sup>  | 0.306*               | 0.139 <sup>ns</sup>  | 0.216*              | 0.187*               |
| AFL <sup>†</sup>       | 0.059 <sup>ns</sup>  | 0.045 <sup>ns</sup>  | -0.009 <sup>ns</sup> | -0.056 <sup>ns</sup> | 0.112 <sup>ns</sup>  | 0.073 <sup>ns</sup>  | 0.036 <sup>ns</sup> | 0.051 <sup>ns</sup>  |
| NC                     | 0.538**              | 0.426**              | 0.470**              | 0.419**              | 0.684**              | 0.348**              | 0.583**             | 0.611**              |
| VOL                    | 0.360**              | 0.305*               | 0.261*               | 0.251*               | 0.567**              | 0.199*               | 0.511**             | 0.425**              |
| AB                     | 0.435**              | 0.382**              | 0.377**              | 0.330**              | 0.620**              | 0.250*               | 0.582**             | 0.520**              |
| Altitud                | 0.222*               | 0.193*               | 0.280*               | 0.199*               | 0.201*               | 0.251*               | 0.016 <sup>ns</sup> | 0.260*               |
| Pendiente <sup>□</sup> | -0.141 <sup>ns</sup> | -0.114 <sup>ns</sup> | 0.016 <sup>ns</sup>  | -0.135 <sup>ns</sup> | -0.081 <sup>ns</sup> | 0.047 <sup>ns</sup>  | 0.011 <sup>ns</sup> | -0.070 <sup>ns</sup> |
| MO                     | -0.175*              | -0.050 <sup>ns</sup> | -0.111 <sup>ns</sup> | -0.114 <sup>ns</sup> | -0.097 <sup>ns</sup> | -0.045 <sup>ns</sup> | 0.057 <sup>ns</sup> | -0.097 <sup>ns</sup> |

DN = diámetro normal, AT = altura total, NC = número de caras, VOL = volumen, AB = área basal, \* = valores significativos ( $p \leq 0.05$ ), \*\* valores altamente significativos ( $p \leq 0.05$ ), <sup>ns</sup> valores no significativos, <sup>†</sup> = Datos transformados con *arcotangente(x)* y <sup>□</sup> *tangente(x)*.

Se encontró buen nivel de correlación entre el DN ( $r = 0.623$ ) y el rendimiento de resina, valor mayor al reportado por Muños-Flores et al. (2022), quienes encontraron correlación moderada positiva con el DN ( $r = 0.47$ ).

El VOL presentó correlación positiva con el respecto al peso total ( $r = 0.425$ ), resultado similar al reportado por Rodríguez-García et al. (2014), quienes encontraron correlación de  $r = 0.51$  entre en rendimiento de resina y VOL en *P. pinaster* en España. De las variables de sitio evaluadas la que mostro mejor correlación con el rendimiento de resina en ambas especies fue altitud con marzo ( $r = 0.280$ ) y peso total ( $r = 0.260$ ).

#### 3.6.4 Pruebas de independencia

Para realizar el análisis de Ji-cuadrada los datos de rendimiento de resina de la parcela de San Pablo Cuatro Venados se extrapolaron a  $\text{kg ha}^{-1}$  por especie, donde se obtuvo un rendimiento de  $1\,773.68 \text{ kg ha}^{-1}$  para *P. lawsonii* y  $3\,483.40 \text{ kg ha}^{-1}$  en *P. teocote* con un total de  $5\,257.08 \text{ kg ha}^{-1}$  entre ambas especies. Los árboles ubicados en exposición SE produjeron mayor cantidad resina, tanto para *P. lawsonii* con  $1\,380.65 \text{ kg ha}^{-1}$  (26% de la producción total), como para *P. teocote* con  $2\,341.43 \text{ kg ha}^{-1}$ , lo que representan el 44.54% del rendimiento total, difiriendo con Ballesteros et al. (2010), quienes consideran que las caras de resinación orientadas en exposición Este presentan mayor rendimiento de resina. Los individuos de ambas especies produjeron más resina en sitios ubicados a mayor altitud dentro de la parcela ( $> 2\,085 \text{ m}$ ) donde se concentró el 77.35% de la producción total ( $4\,066.13 \text{ kg ha}^{-1}$ ), coincidiendo con lo reportado por Sukarno et al. (2015), quienes indican el rendimiento de resina incrementa con el aumento de la altitud.

Pendientes  $\geq$  al 43% se encontraron en la mayoría de las UE, siendo en esas condiciones donde se acumuló la mayor cantidad de resina en ambas especies (64.36%), difiriendo de los resultados expuestos por Lukmandaru et al. (2021), quienes observaron que arboles situados en superficies planas pueden producir más resina.

Los individuos de *P. teocote* produjeron mayor cantidad de resina en sitios con más profundidad de materia orgánica (1 744.10 kg ha<sup>-1</sup>), mientras que para *P. lawsonii* se encontró mayor rendimiento en sitios con menor PMO con 1 268.15 kg ha<sup>-1</sup> (24.12%) (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Ji-cuadrada ( $\chi^2$ ,  $\alpha = 0.05$ ) entre variables dendrométricas y de sitio con el rendimiento de resina (kg ha<sup>-1</sup>) de dos especies de pino.

| Variables                                   | Especies                 |                   | Total            |
|---|--------------------------|-------------------|------------------|
|   | <i>Pinus lawsonii</i>    | <i>P. teocote</i> |                  |
| <b>Exposición</b>                           | $\chi^2 = 64.9227^{**}$  |                   |                  |
| Sur   | 229.17 (4.36)            | 696.55 (13.25)    | 925.72 (17.61)   |
| Sureste                                     | 1 380.65 (26.26)         | 2 341.43 (44.54)  | 3 722.08 (70.8)  |
| Suroeste                                    | 163.85 (3.12)            | 445.42 (8.47)     | 609.27 (11.59)   |
| <b>Altitud (m)</b>                          | $\chi^2 = 701.9943^{**}$ |                   |                  |
| Alta  | 1 752.08 (33.33)         | 2 314.05 (44.02)  | 4 066.13 (77.35) |
| Baja  | 21.60 (0.41)             | 1 169.35 (22.24)  | 1 190.95 (22.65) |
| <b>Pendiente (%)</b>                        | $\chi^2 = 430.0447^{**}$ |                   |                  |
| Alta  | 1 383.68 (26.32)         | 1 999.90 (38.04)  | 3 383.58 (64.36) |
| Media                                       | 0 (0)                    | 691.85 (13.16)    | 691.85 (13.16)   |
| Baja  | 390.0 (7.42)             | 791.65 (15.06)    | 1 181.65 (22.48) |
| <b>Profundidad de materia orgánica (cm)</b> | $\chi^2 = 223.3090^{**}$ |                   |                  |
| Mayor                                       | 505.52 (9.62)            | 1 744.10 (33.18)  | 2 249.63 (42.79) |
| Menor                                       | 1 268.15 (24.12)         | 1 739.30 (33.08)  | 3 007.45 (57.21) |
| <b>Categorías diamétricas</b>               | $\chi^2 = 401.4644^{**}$ |                   |                  |
| 20  | 0                        | 68.72 (1.31)      | 68.72 (1.31)     |
| 25  | 320.17 (6.09)            | 424.22 (8.07)     | 744.40 (14.16)   |
| 30  | 331.95 (6.31)            | 801.65 (15.25)    | 1 133.60 (21.56) |
| 35  | 359.27 (6.83)            | 1 183.98 (22.52)  | 1 543.25 (29.36) |
| 40  | 498.65 (9.49)            | 577.75 (10.99)    | 1 076.40 (20.48) |
| 45  | 263.62 (5.01)            | 237.77 (4.52)     | 501.40 (9.54)    |
| 50  | 0                        | 84.77 (1.61)      | 84.77 (1.61)     |
| 55  | 0                        | 104.52 (1.99)     | 104.52 (1.99)    |

|                                   |                         |                          |                       |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>Altura total (m)</b>           |                         | $\chi^2 = 182.0911^{**}$ |                       |
| Alto                              | 0                       | 160.15 (3.05)            | 160.15 (3.05)         |
| Medio                             | 559.05 (10.63)          | 1 519.33 (28.9)          | 2 078.38 (39.53)      |
| Bajo                              | 1 214.63 (23.1)         | 1 803.93 (34.31)         | 3 018.55 (57.42)      |
| <b>Altura de fuste limpio (m)</b> |                         | $\chi^2 = 71.7319^{**}$  |                       |
| Alto                              | 631.97 (12.02)          | 1 431.75 (27.23)         | 2 063.73 (39.26)      |
| Medio                             | 184.50 (3.51)           | 571.32 (10.87)           | 755.82 (14.38)        |
| Bajo                              | 957.20 (18.21)          | 1 480.33 (28.16)         | 2 437.53 (46.37)      |
| <b>Número de caras</b>            |                         | $\chi^2 = 494.3898^{**}$ |                       |
| Uno                               | 631.45 (12.01)          | 891.85 (16.96)           | 1 523.30 (28.98)      |
| Dos                               | 469.55 (8.93)           | 1 878.98 (35.74)         | 2 348.53 (44.67)      |
| Tres                              | 672.67 (12.8)           | 608.05 (11.57)           | 1 280.73 (24.36)      |
| Cuatro                            | 0 (0)                   | 104.52 (1.99)            | 104.52 (1.99)         |
| <b>Total</b>                      | <b>1 773.68 (33.74)</b> | <b>3 483.40 (66.26)</b>  | <b>5 257.08 (100)</b> |

Categorías altitud: Alta > 2085 m, Baja < 2050 m, categorías pendiente: alta  $\geq$  43%, media = 36-42%, baja  $\leq$  35%; Categorías profundidad de materia orgánica: Mayor  $\geq$  4 cm, Menor  $\leq$  3.9 cm; Categorías altura: Alto  $\geq$  18.6, Medio = 13.3-18.5 m, Bajo  $\leq$  13.2 m; Categorías altura de fuste limpio: Alto  $\geq$  9.6, Medio = 6.3-9.5 m, Bajo  $\leq$  6.2 m.

Para *P. lawsonii* hubo mayor producción de resina en árboles dentro de la categoría diamétrica de 40 cm, mientras en *P. teocote* se concentró en individuos de la categoría de 35 cm, aunque el rendimiento de ambas especies se concentró dentro de las categorías de 30-35-40 cm acumulando el 71.4% del rendimiento total, coincidiendo con los resultados de Hadiyane et al (2015), quienes encontraron mayor producción de resina en árboles de 30 a 40 cm de DN en *P. merkusii*, confirmando que cuanto mayor sea el diámetro del árbol mayor es el rendimiento de resina.

Los árboles de *P. lawsonii* con tres caras de resinación produjeron más resina con 672.67 kg ha<sup>-1</sup>, mientras que la producción de *P. teocote* se concentró en árboles con dos caras de resinación (1 878.98 kg ha<sup>-1</sup>), valores por encima de lo reportado por Heinze et al. (2021) de 146 kg cara<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> en árboles de *P. oocarpa*.

### 3.7 CONCLUSIONES

El rendimiento de resina por árbol fue similar en las especies *P. teocote* y *P. lawsonii* mismas que presentaron características dendrométricas parecidas, además individuos de las dos especies son capaces de coexistir en las mismas condiciones de sitio. Mayor altitud, pendientes pronunciadas y altas temperaturas son las condiciones de sitio en las que los árboles de ambas especies presentaron mayor rendimiento de resina.

Los resultados indican que DN fue la variable dendrométrica que presentó mayor influencia en el rendimiento de resina en ambas especies, los individuos con mayor producción de resina se encontraron dentro de las categorías diamétricas de 30 cm para *P. teocote* y 40 cm en *P. lawsonii*, además es la variable de la que depende el número de caras resineras a establecer por árbol, reafirmando que a mayor DN incrementa el número de caras resiníferas y mayor rendimiento de resina, por lo cual DN podría ser la principal variable en la que se enfocaría la selección de árboles al momento de establecer nuevas parcelas de resinación de estas dos especies.

#### **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo mediante la beca otorgada al primer autor (CVU 1238964).

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Iván Jose Aguilar-Pinacho: Toma de datos en campo, elaboración de manuscrito; Salvador Lozano-Trejo: Dirección de la investigación, estructura y revisión de manuscrito; Gerardo Rodríguez-Ortiz: Análisis estadísticos y revisión de manuscrito; Ernesto Castañeda-Hidalgo: Estructura y revisión de manuscrito. Todos los autores participaron en la revisión final del trabajo y su discusión.

## **3.8 REFERENCIAS**

- Ballesteros, J. A., M. Stoffel., J. M. Bodoque., M. Bollschweiler., O. Hitz., A. Diez-Herrero. 2010. Changes in wood anatomy in tree rings of *Pinus pinaster* ait. Following wounding by flash floods. *Tree-Ring Res.* 66 (2): 93–103. Doi: <https://doi.org/10.3959/2009-4.1>
- Celedon, J. M. y J. Bohlmann. 2019. Oleoresin defenses in conifers: chemical diversity, terpene synthases and limitations of oleoresin defense under climate change. *New Phytologist*, 224: 1444–1463. Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.15984>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2014. Manual para la extracción sustentable de resina de pino en la Mixteca Oaxaqueña. CdMx. México. p. 57.

- Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR). 2013. La producción de resina de pino en México. Primera edición. México. p. 92. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6046La%20producci%C3%B3n%20de%20resina%20de%20pino%20en%20M%C3%A9xico.pdf> (10 de abril de 2024).
- Cunningham, A. P. 2009. Estado actual de la resinación. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. p.7 [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0). (10 de marzo de 2024).
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2006). NORMA Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005. Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0)
- Dvorak, W. S., E. A. Gutiérrez., L. F. Osorio., H. R. Hodge., J. T. Brawner. 2000. *Pinus oocarpa*. In: CAMCORE Cooperative. Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species. College of Natural Resources. North California State University. Raleigh. N. C. USA. pp: 129-147.
- Esteban, L. G., J. A. Martín., P. de Palacios., F. G. Fernández. 2012. Influence of region of provenance and climate factors on wood anatomical traits of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii*. European Journal of Forest Research. 131(3): 633-645. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0537-x>
- Fabián, P. I. 2020. Estudio de caracteres que intervienen en la producción de resina y su posible control genético en *Pinus oocarpa*. Tesis de doctorado.

- Instituto de Investigaciones Agropecuarias y forestales. Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. p. p. 5-10.
- Francisco, A. F., H. R. G. Garcia R., A. Kido C., M. T. Cortés Z. 2011. Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 8(1): 107-117. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v8n1/v8n1a6.pdf> .
- Hadiyane, A., E. Sulistyawati., W. P. Asharina y R. Dungani. 2015. A Study on Production of Resin from *Pinus merkusii* Jungh. Et De Vriese in the Bosscha Observatory Area, West Java-Indonesia. School of Life Sciences and Technology. Institut Teknologi Bandung. Indonesia. 14(2): 89-93. Doi: 10.3923/ajps.2015.89.93
- Heinze, A., T. W. Kuyper., L. E. García B., N. Ramírez M. y F. Bongers. 2021. Tapping into nature's benefits: values, effort and the struggle to co-produce pine resin. *Ecosystems and people*. 17(1): 69-86. Doi: 10.1080/26395916.2021.1892827
- Lavariaga, M. C., Martín-Regalado, N., Gómez-Ugalde, R. M., Aragón, J. (2016). Avifauna de la Sierra de Cuatro Venados, Oaxaca, México. *Huitzil, Revista Mexicana de Ornitología*, 17(2): 198-214. Doi: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2016.17.2.247>
- Li, Z C., L. Shen., Q. Hou., Z. Zhou., L. Mai., H. Zhao., y P. W. Xiao. 2022. Identification of Genes and Metabolic Pathways Involved in Resin Yield in Masson Pine by Integrative Analysis of Transcriptome, Proteome and

- Biochemical Characteristics. International Journal of Molecular Sciences. 23 (19). Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms231911420>
- Lukmandaru, G., S. Sunarta., R. Pujiarti., T. Listyano. 2021. The effect of stimulants and environmental factors on resin yield of *Pinus merkusii* tapping. Department of Forest Products Technology. Faculty of Forestry. Universitas Gadjah Mada. Indonesia. 16(1): 163-175. Doi: 10.15376/biores.16.1.163-175
- Muñoz-Flores, H. J., J. Hernández-Ramos., J. T. Sáenz-Reyes., R. Reynoso-Santos., R. Barrera-Ramírez. 2022. Modelos predictivos de producción de resina en *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Michoacán, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 13(73): 128-154. Doi: 10.29298/rmcf.v13i73.1188
- Ortega M. A., S. B. Garrido., S. M. Ángeles., P. Camacho y S. Martínez. 2013. Guía básica de trabajos de resinación en pinares. Asociación Promoción y Desarrollo Serrano (PRODESE). España. p.27. <https://www.adema.es/multimedia/web/adema/archivos/adema-1073421419.pdf>
- Reyes-Ramos, A., J. Cruz de León., A. Martínez-Palacios., P. C. Marc L., J. E. Ambríz-Parra y N. M. Sánchez-Vargas 2019. Caracteres ecológicos y dendrométricos que influyen en la producción de resina en *Pinus oocarpa* de Michoacán, México. Madera y Bosques 25(1):1-13. Doi: 10.21829/myb.2019.2511414
- Rissanen., K., T. Hölttä., L.F.M. Barreira., N. Hyttinen., T. Kurtén., J. Bäck. 2019. Temporal and Spatial Variation in Scots Pine Resin Pressure and Composition Front. For. Global Change. p. 23. Doi: 10.3389/FFGC.2019.00023

- 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. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.06.004>
- Rodrigues-Corrêa, K. C. da S., J. C. de Lima., A. G. Fett-Neto. 2013. Pine oleoresin: tapping green chemicals, biofuels, food protection, and carbon sequestration from multipurpose trees. *Food and energy security*, 1(81): 81-93. Doi: <https://doi.org/10.1002/fes3.13>
- Rodríguez-García, A., R. López., J. A. Martín., F. Pinillos., L. Gil. 2014. Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. *Forest Ecology and Management* 313(2):47-54. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.038>
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2016. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. Semarnat. Miguel Hidalgo, CdMx, México. p. 228. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf>. (15 de abril de 2023).
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2017. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2017. Semarnat. Miguel Hidalgo, CdMx, México. p. 284. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf>. (25 de abril de 2022).
- Soria, B. E. y C. A. Sanz. 2009. La resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares. Centro de Servicios y promoción Forestal y de su Industria

de Castilla y León (CESEFOR). España. p.75.  
[https://www.resinacyl.es/sites/default/files/publicaciones/la\\_resina\\_sustforest.pdf](https://www.resinacyl.es/sites/default/files/publicaciones/la_resina_sustforest.pdf). (15 de marzo de 2024).

Sukarno, A., E. B. Hardiyanto., S. N. Marsoem y M. Na'iem. 2015. Oleoresin production, turpentine yield and components of *Pinus merkusii* from various Indonesian provenances. Journal of Tropical Forest Science. Faculty of Forestry Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Indonesia. 27(1): 136–141.

Zas, A. R., y P. L. Sampedro. 2015. Resistencia de los pinos a plagas y enfermedades: nuevas oportunidades de control fitosanitario. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 39. 259-273. Doi: 10.31167/csef.v0i39.17466

Zentella, C. A. y Martínez, M. A. 2014. Aprovechamiento de resina de pino en la zona oriente de San Miguel Chimalapa, Oaxaca: de la conservación de recursos naturales al desarrollo sustentable. Oaxaca. México. P. 16.

Zindón, G. B. A., y A. Jimenez G. 2022. Aprovechamiento de los productos forestales no maderables en localidades de la parroquia El Anegado. ALCANCE. Revista Científica del Instituto de Posgrado UNESUM. 5 (1). Doi: <https://doi.org/10.47230/ra.v1i5.23>

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES GENERALES

El rendimiento de resina por árbol fue similar en las especies *P. teocote* y *P. lawsonii*, sobresaliendo por un mínimo la producción de *P. lawsonii*, los árboles de las dos especies presentaron características dendrométricas semejantes; además son capaces de coexistir en las mismas condiciones de sitio como altitud, pendiente, exposición y clima. En general, mayor altitud, pendientes pronunciadas y altas temperaturas son las condiciones de sitio en las que los árboles de ambas especies presentaron mayor rendimiento de resina.

Los resultados sugieren que DN fue la variable dendrométrica que presentó mayor influencia en el rendimiento de resina en ambas especies, los individuos con mayor producción de resina se encontraron dentro de las categorías diamétricas de 30 cm para *P. teocote* y 40 cm en *P. lawsonii*, además es la variable de la que depende el número de caras resineras a establecer por árbol, por lo cual DN podría ser la principal variable en la que se enfocaría la selección

de árboles al momento de establecer nuevas parcelas de resinación de estas especies con la finalidad de ahorrar costos y tiempo.

## CAPITULO V

### RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer estudios de rendimiento de resina en diferentes condiciones de sitio tratando de añadir más variables, además de un análisis químico de la resina por especie y un análisis de los componentes de la madera de *Pinus*.

Es necesario hacer pruebas de investigación en otras comunidades de Oaxaca ya sea con las mismas especies o con otras y con diferentes condiciones de sitio, además de otras temporadas del año.

Los resineros a cargo del trabajo de campo deben contar con buena experiencia en el método de raspado y cosecha de resina, de esta manera las buenas prácticas influirán positivamente en los resultados de los análisis de rendimiento de resina de pino.

## **CAPÍTULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

- Arteaga, C. Y., Carballo, A. L., Tiomno, T. O., Casal, V. A., Tacoronte, M. J. E., Cruz, S. R. (2007). Resina de pino: química verde y potencialidades biológicas. Revista cubana de química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 19(1): 91-93. Doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543706028>
- Ayala, S. J. C. (2011). Diagnóstico de la situación actual y perspectivas de desarrollo en la producción de la resina de pino en México. In: Foro de intercambio de experiencias: Manejo, aprovechamiento y comercialización de los principales productos forestales no maderables (PFNM) en ecosistemas de bosques templados. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Guadalajara, Jalisco, México. p. 37.
- Balama, C., Augustino, S., Mwaiteleke, D., Lusambo, L. P., Makonda, F. B. S. (2016). Economic valuation of nontimber forest products under the changing

- climate in Kilombero district. Tanzania. International Journal of forestry research, (1):1-13. Doi:10.1155/2016/7893143
- Brand, M. A., Aznaldo, J. y Moreschi, J. C. (2006). Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. Perspectivas da pesquisa e utilização. Floresta, 36(1): 29-138. Doi: 10.5380/rf.v36i1.5600
- Benavides, M. H. M. y Fernández G. D. Y. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. Madera y bosques, 8(2): 51-71. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2012.182352>
- Bueno-López, S. W., Torres H. J. G., García, M. (2015). Factores edáficos-fisiográficos y calidad de sitio del *Pinus occidentalis* Sw. Madera y bosques, 21(3): 83-93. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213458>
- Calama, R., Tomé, M., Sánchez-González, M., Miina, J., Spanos, K., Palahí, M. (2010). Modelling non-wood forest products in Europe: a review. Forest Systems 49(SI):69-85. Doi: <https://doi.org/10.5424/fs/201019S-9324>
- Camacho, L. R. y Murcia, O. G. O. (2020). Productos forestales no maderables - PFMN- en Colombia: consideraciones para su desarrollo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. p 178.
- Campos, D. J. L. 1993. Claves para la determinación de los pinos mexicanos. Universidad Autónoma de Chapingo. Primera edición. Texcoco, México. p. 37.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2014). Manual para la extracción sustentable de resina de pino en la Mixteca Oaxaqueña. Cd de México. México. p. 57.

- Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR). (2013). La producción de resina de pino en México. Primera edición. México. p. 92. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/43/6046La%20producci%C3%B3n%20de%20resina%20de%20pino%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- Contreras-Medina, R., y Luna-Vega, I. (2007). Species richness, endemism and conservation of Mexican gymnosperms. *Biodiversity and Conservation*. Vol. 6: 229-247. Doi: <http://hdl.handle.net/11154/140990>
- Cunningham, A. P. (2009). Estado actual de la resinación en el mundo. XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. p.7. [https://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/2009\\_Estado\\_actual\\_resinagem\\_mundo.pdf](https://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/2009_Estado_actual_resinagem_mundo.pdf)
- Delgado, M. J. L. (2019). Transferencia tecnológica y conservación forestal en la industrialización de la resina de pino en la Sierra de Tapalpa, Jalisco, México. *Estudios de Historia y Sociedad*, 41(162): 34-61. Doi: <https://doi.org/10.24901/rehs.v41i162.710>
- Diario Oficial de la Federación (DOF) (2006). NORMA Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005. Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4932788&fecha=28/09/2006#gsc.tab=0)
- Díaz, A. I. J., Díaz, C. A., Rodríguez, P. A. J., Alfonso, A. A., Tamayo, M. E. (2020). Briquetas energéticas con aserrín y corteza de pino. *Ingeniería Energética*. Universidad Tecnológica de La Habana. Cuba. 41: (1):1-6.
- Fabián, P. I. (2020). Estudio de caracteres que intervienen en la producción de resina y su posible control genético en *Pinus oocarpa*. Tesis de doctorado.

- Instituto de Investigaciones Agropecuarias y forestales. Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. p. 5-10.
- Farjon, A. y Styles, B. T. (1997). *Pinus* (Pinaceae). The New York Botanical Garden, Bronx: Flora Neotropica monograph. p 75.
- Farjon, A., Pérez de la Rosa, J. A., Styles, B. T. (1997). Guía de campo de los pinos de México y América central. The royal botanic gardens, kew. Universidad de Oxford. p. 45
- Francisco-Arriaga, F., García-Rojas, 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. Doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360533087006>
- García, G. I., Alavéz, R. R., Morales, D. V. J. (2021). Resina de pino como aglutinante sostenible para el refuerzo del adobe. Universidad y Ciencia. 10(21): 179-190.
- Gernandt, D. S. y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85: 126–133. Doi: 10.7550/rmb.32195
- Guzmán, S. J. C., Aguirre, C. O. A., Gonzales, T. M. A., Treviño, G. E. J., Jimenez, P. J., Vargas, L. B., De los Santos, P. H. M. (2019). Relación altura-diámetro para *Abies religiosa* Kunth Schldl. & Cham. en el centro y sur de México. Revista mexicana de ciencias forestales, 10(52). Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i52.483>

- Iníguez, G. R. M., Esqueda R. H. C., Escoto G. T., Ochoa, H G., Rodríguez R. A., Contreras Q. H. J. (2014). Caracterización química de aceites esenciales y extractos de madera de dos especies de pinos del bosque La Primavera. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(28): 42-57.
- Interián-Ku, V. M., Vaquera-Huerta, H., Valdez-Hernández, J. I., Garcia-Moya, E., Romero-Manzanares, A., Borja-De la Rosa, A. (2014). Influencia de factores morfológicos y ambientales sobre el crecimiento en diámetro de *Caesalpinia gaumeri* Greenm en un bosque tropical caducifolio, en México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 20(3): 255-270. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.05.018>
- Juárez, F. Y. (2014). *Dasometría, apuntes de clases y guía de actividades prácticas*. Primera edición. Cochabamba, Bolivia. [https://peim-arbolado.semaqroo.gob.mx/wp-content/uploads/2023/01/DASOMETRIA\\_Apuntes\\_de\\_Clase\\_y\\_Guia\\_de\\_Ac.pdf](https://peim-arbolado.semaqroo.gob.mx/wp-content/uploads/2023/01/DASOMETRIA_Apuntes_de_Clase_y_Guia_de_Ac.pdf)
- Liang, J., Chen, X., Wang, L., Wei, X., Mo, K., Xiong, Z., Liang, J. (2023). Influence of a novel resin tapping method on the resin yield and turpentine chemical composition of Masson pine (*Pinus massoniana*). *Industrial crops and products*, 204(12): 117-377. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117377>
- Lira, G. D. E. (2020). *Guía Básica de Pinos Mexicanos*. Boskia. p.74
- López-Álvarez, Ó., Zas, R., Marey-Pérez, M. (2023). Resin tapping: A review of the main factors modulating pine resin yield. *Industrial Crops and Products*, (202). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117105>

- López, C. R. y Murcia, O. G. O. (2020). Productos forestales no maderables - PFSM- en Colombia consideraciones para su desarrollo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. p. 178.
- Mada, G., Anjulo, A., Gelaw, A. (2023). Physical and economic valuation for nontimber forest products (NTFPs) of surra government plantation in the upper hare-baso rivers catchment, Southwestern Ethiopia. *International Journal of Ecology*. 2023(3), 1-15. Doi:10.1155/2023/6192340
- Mancebo, D. B., Regalado V. A. I., Lorenzo H. E., Diaz A. S., Cordero M. E., Sanchez P. L. M. (2016). Actividad citostática, citotóxica, antibacteriana y cicatrizante de extractos de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* (pino macho). *Revista cubana de plantas medicinales*, 21(1): 96-107.
- Martínez, L. J., Acosta, R. A., Martínez y O, E., Manzano, M. F. (2016). Recursos forestales no maderables en dos comunidades zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7 (35): 37-52. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i35.73>
- Martínez-Salvador, M., Valdez-Cepeda, R. D. y Pompa G. M. (2013). Influencia de variables físicas en la productividad de *Pinus arizonica* y *Pinus engelmannii* en el sur de Chihuahua, México. *Madera y Bosques* 19(3): 35-49. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2013.193326>
- Martínez-López, J., Molina-Luna, N.G. (2022). Valor cultural de los recursos forestales no maderables en comunidades Zapotecas de la Sierra Juárez de Oaxaca. *Polibotánica*. 53(27):239-259. Doi: <https://doi.org/10.18387/polibotanica.53.16>
- Martínez, M. (1948). Los pinos mexicanos. Ed. Botas. México. 366 p.

- Martínez-Zurimendi, P., Domínguez-Domínguez, M., Juárez-García, A., López-López, L. M., de-la-Cruz-Arias, V. y Álvarez-Martínez, J. (2015). Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(4): 415-425.
- Muñoz-Flores, H. J., Hernández-Ramos, J., Sáenz-Reyes, J. T., Reynoso-Santos, R., Barrera-Ramírez, R. (2022). Modelos predictivos de producción de resina en *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 13(73): 128-154. Doi: 10.29298/rmcf.v13i73.1188
- Orozco, L. y Brumér, E. (2002). Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba, Costa Rica. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2600>
- Ortega, M. A., Garrido, S. B., Ángeles, S. M., Camacho, P. y Martínez, S. (2013). Guía básica de trabajos de resinación en pinares. Asociación Promoción y Desarrollo Serrano (PRODESE). España. p.27. <https://www.adema.es/multimedia/web/adema/archivos/adema-1073421419.pdf>
- Paz-Pérez, O. C. y Davalos-Sotelo, R. (2016). Anatomía de la madera de seis especies de *Pinus* (Pinaceae) del estado de Durango, México. *Madera y bosques*. 22(3): 113-132. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2016.2231460>
- Peralta-Kulik, N., Amarilla, S., Pérez de M, L. (2023). Aproximaciones a la valoración económica de productos no maderables del Bosque Atlántico del

- Alto Paraná, Paraguay. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente. 29(3):61-76. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2022.12.085
- Pimentel-Bribiesca, L. (2009). Producción de árboles y arbustos de uso múltiple (1a. Edició). D. F, México: Mundi Prensa México, S.A. de C.V.
- Puente-Villegas, S. M. Moreno-González, V. Labarga, V. D. Martínez, V. E. Acebes, A. J. L. (2017). El hombre y la resina de pino: desde su uso pasado hasta la actualidad con especial atención en España. *Ambiociencias*. 15: 21-30. Doi: <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i0.5556>
- Quiroz, C. J. A., Magaña, A. M. A. (2015). Resinas naturales de especies vegetales mexicanas: usos actuales y potenciales. *Madera bosque*. Querétaro, México. 21(3):171-183. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.213466>
- Reyes-Ramos, A., Cruz de León, J., Martínez-Palacios, A., Marc L. P. C., Ambríz-Parra, J. E. y 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):1-13. Doi: [10.21829/myb.2019.2511414](https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511414)
- Reynoso-Santos, R., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., López-Báez, W., Cadena-Iñiguez, P., Cruz S. E., Rodríguez, C. E. A. 2018. Modelo para predecir la producción de resina de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en el ejido Jorge de la Vega, Chiapas, México. *Investigaciones Científicas y Agrotecnológicas para la Seguridad Alimentaria*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Villahermosa, Tab., México, 546-551.

- Rodríguez-García, A., López, R., Martín, J. A., Pinillos., F., Gil, L. (2014). Resin yield in *Pinus pinaster* is related to tree dendrometry, stand density and tapping-induced systemic changes in xylem anatomy. *Forest ecology and management*, 313(2):47-54. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.038>
- Rojas, R. G. (2019). Evaluación de dos estimulantes de baja toxicidad, en la resinación de *Pinus pringlei* Shaw. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Romahn, de la Vega. C. F. y Ramírez M. H. (2010). Dendrometría. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. <https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/dendrometria.pdf>.
- Sáenz-Esqueda, M., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N., GallegosInfante, J., & González-Laredo, R. (2010). Contenido fenólico y acción antioxidante de extractos de acículas de *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. teocote*. *Madera y Bosques*, 16(3): 37–48. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1631165>
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. SEMARNAT. Miguel Hidalgo, Cd. de México, México. p. 228. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf>.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2017). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2017. SEMARNAT. Miguel Hidalgo, Cd. de México, México. p. 284. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf>.

- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2018). Producción maderable y no maderable. Anuario Estadístico de la Producción Forestal. Edición 2018, 69-94. <https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf>
- Silvestre, A. J. D. y Gandini, A. (2008). Chapter 2 - Terpenes: major sources, properties and applications. Monomers polymers and composites from renewable resources, 17-38. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00002-8>,
- Soria, B. E. y C. A. Sanz. (2009). La resina: Herramienta de conservación de nuestros pinares. Centro de Servicios y promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR). España. p.75. [https://www.resinacyl.es/sites/default/files/publicaciones/la\\_resina\\_sustforest.pdf](https://www.resinacyl.es/sites/default/files/publicaciones/la_resina_sustforest.pdf)
- Stoler, A. B. y Relyea, R. A. (2011). Living in the litter: the influence of tree leaf litter on wetland communities. *Oikos*, (120): 862-872. Doi: [doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18625.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18625.x)
- Vásquez, C. A. M. y Ramírez, A. A. M. (2011). Curso anatomía e identificación de maderas. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. p. 70.
- Zamora, M. M. C. (2017). Los productos forestales no maderables: una opción para el manejo forestal ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7 (34): 4-16.
- Zas, A. R., y Sampedro, P. L. (2015). Resistencia de los pinos a plagas y enfermedades: nuevas oportunidades de control fitosanitario. Cuadernos de la

Sociedad Española de Ciencias Forestales, 39. 259-273. Doi:  
<https://doi.org/10.31167/csef.v0i39.17466>

Zentella, C. A. y Martínez, M. A. (2014). Aprovechamiento de resina de pino en la zona oriente de San Miguel Chimalapa, Oaxaca: de la conservación de recursos naturales al desarrollo sustentable. Oaxaca. México. P. 16.  
[https://www.redeamerica.org/transformadores/es/formulario/public/archivos/16/1/ASRN\\_Fundacion%20Comunitaria%20Oaxaca.pdf](https://www.redeamerica.org/transformadores/es/formulario/public/archivos/16/1/ASRN_Fundacion%20Comunitaria%20Oaxaca.pdf)