



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN

NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

TECNOLOGÍA DE LA MADERA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

***“Obtención y evaluación de estimulantes orgánicos
para la resinación de *Pinus pseudostrobus* en
plantaciones forestales.”***

Tesis para obtener el título de:

Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta:

Q.F.B. Edgar Manuel Ruíz Pimentel

Directora de Tesis:

M. en C. Abril Munro Rojas



Morelia, Mich., Febrero 2021.

UMSNH

Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

Resumen

En este trabajo de investigación se resinaron 120 pinos de la especie *Pinus pseudostrobus* por un periodo de 30 días, divididos en dos técnicas diferentes, la técnica americana y la técnica tradicional francesa. Se diseñaron dos bio-estimulantes, uno con cofactores metálicos y el otro con extracto de levadura, además se utilizó un tercer estimulante al 20% de ácido sulfúrico, y un testigo. Posterior a la recolección de la resina, se caracterizaron los productos de destilación de acuerdo a la determinación del punto de ablandamiento, de color Gardner, del número de ácido y del índice de refracción. Se obtuvieron rendimientos superiores de resina cruda en comparación con los controles, sin afectación de los parámetros de calidad de los productos de destilación.

PALABRAS CLAVE: Oleoresina, Pino, Rendimiento, Bio-estimulante.

UMSNH

Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

Abstract

In this work, 120 pines of the *Pinus pseudostrabus* species were resined for a period of 30 days, divided into two different techniques, the American technique and the traditional French technique. Two bio-stimulants were designed, one with metal co-factors and the other with yeast extract. A third stimulant was used, 20% sulphuric acid, and a control. After collecting the resin, the distillation products were characterized according to the determination of the softening point, Gardner colour, acid number and refractive index. Higher yields of raw resin were obtained in comparison with the controls, without affecting the quality parameters of the distillation products

KEY WORDS: Oleoresin, Pine, Yield, Bio-stimulant.

UMSNH
Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

Dedicatoria

Obtención y evaluación de estimulantes orgánicos
para la resinación de *Pinus pseudostrobus* en plantaciones forestales.

UMSNH
Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

Agradecimiento

ÍNDICE

Índice de tablas	9
Índice de gráficos	10
Índice de Imágenes	11
Abreviaturas	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes	14
2.2 Michoacán en la producción de resina.....	15
2.3 Generalidades de la especie <i>Pinus pseudostrobus</i>	16
2.4 Especies resineras del estado de Michoacán.....	16
2.5 Normatividad para la recolección de resina	17
2.6 La resina de pino	17
2.7 Formación de la resina	17
2.7.1 Formación de terpenos dentro del árbol	18
2.7.2 Estimulantes de baja toxicidad en pasta.....	19
2.8 Toxicidad de los estimulantes.....	19
2.9 Bio-acumulación y residualidad	21
2.9.1 Funciones fisiológicas de elementos minerales	21
2.9.2 Absorción y metabolismo mineral	22
2.10 Técnicas de resinación	23
2.10.1 Técnica francesa o hughes.....	23
2.10.2 Técnica americana.....	24
2.10.3 Brea o colofonia	26
2.10.4 Composición química de la brea.....	26
2.10.5 Aguarrás	27
2.10.5.1 Composición química del aguarrás.....	28
2.11 Glosario.	30
3. JUSTIFICACIÓN	31

UMSNH

Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

4. OBJETIVOS.....	32
4.1 Objetivo general:.....	32
4.2 Objetivos particulares:	32
5. HIPÓTESIS:.....	32
6. MATERIALES Y METODOS:	33
6.1 Localización de predio:	33
6.2 Identificación y selección de individuos:	34
6.3 Materiales y equipos utilizados.	34
6.3.1 Reactivos utilizados.	35
6.4 Preparación de estimulantes	35
6.4.1 Estimulante 1	35
6.4.2 Estimulante 2	36
6.5 Elaboración de base cáscara de linaza.	36
6.6 Proceso de limpieza de cáscara de linaza.....	36
6.7 Método tradicional francés (Hughes)	37
6.7.1 Método americano tradicional.....	37
6.8 Aplicación del estimulante.	37
6.9 Método de destilación laboratorio:	37
7. PRUEBAS DE CALIDAD DE LA BREA.....	38
7.1 Punto de ablandamiento:.....	38
7.2 Índice de acidez (número de ácido):.....	38
7.3 Color Gardner:	38
8. ÍNDICE DE REFRACCIÓN:	39
9. RESULTADOS:	39
9.1 Producción general de resina de pino.....	40
9.2 Estadística descriptiva de producción de resina total.	42
9.3 Análisis de varianza de producción de resina total.	43
9.3.1 Prueba de Tukey para producción de resina total.	44
9.4 Fase de purificación.....	46
9.5 Fase de destilación.....	46
9.5.1 Producción de brea.....	48
9.5.2 Análisis de varianza de producción de brea.	48

UMSNH

Edgar Manuel Ruiz Pimentel.

9.5.2.1 Prueba de Tukey para producción de brea.....	49
9.5.3 Producción de aguarrás.....	51
9.5.3.1 Análisis de varianza de producción de aguarrás.	53
9.5.3.2 Prueba de Tukey para producción de aguarrás.....	53
9.6 Fase de caracterización.....	55
9.6.1 Pruebas de calidad de la brea.	55
9.6.2 Ring and ball.....	55
9.6.2.1 Gráfica de caja de punto de ablandamiento (ring and ball).....	56
9.6.3 Número de ácido.	56
9.6.3.1 Gráfica de caja de número de ácido.	58
9.6.4 Color Gardner	59
9.6.4.1 Gráfica de caja de color Gardner.....	60
9.7 Rendimiento general de destilados.....	61
9.7.1 Rendimiento de brea.....	62
9.7.2 Rendimiento de aguarrás.....	62
9.7.2.1. Índice de refracción.....	63
9.7.2.2 Gráfica de caja de índice de refracción.....	63
10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
10.1 Comparación de rendimiento de destilados entre especies diferentes.....	68
10.2 Comparación de rendimiento de brea.....	69
10.3 Comparación de rendimiento de aguarrás.....	74
10.4 Análisis de regresión.....	76
11. CONCLUSIONES.....	77
12. RECOMENDACIONES.....	77
12. BIBLIOGRAFÍA.....	78

Índice de tablas.

Tabla 1 Datos de recolección de resina de 15 individuos de <i>Pinus pseudostrobus</i> en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	42
Tabla 2 Estadística descriptiva de rendimiento general de resina en 30 días de resinación aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	43
Tabla 3 Análisis de varianza de producción de resina total, en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de estimulante de bajo riesgo, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán.....	43
Tabla 4 Prueba de Tukey para la producción de resina total en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	44
Tabla 5 Datos generales de rendimiento de brea en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	47
Tabla 6 Estadística descriptiva de brea en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	48
Tabla 7 Análisis de varianza de brea en 30 días de resinación.	48
Tabla 8 Prueba de Tukey para la producción de brea, en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	49
Tabla 9 Producción de aguarrás de todos los tratamientos en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	51
Tabla 10 Estadística descriptiva de aguarrás en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	52
Tabla 11 Análisis de varianza aguarrás en 30 días de resinación, aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	53
Tabla 12 Prueba de Tukey para la producción total de aguarrás en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	53
Tabla 14 Número de ácido de las muestras de brea, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	56
Tabla 17 Rendimientos de brea en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	62
Tabla 18 Rendimiento de aguarrás expresado en porcentaje en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	62
Tabla 20 Parámetros de calidad empleados en PRORESOL S.A. De C.V.....	65
Tabla 19 Clasificación de la brea, de acuerdo a los parámetros industriales de PRORESOL. SA. DE C.V.	65
Tabla 21 Rendimiento en porcentaje % de diferentes estimulantes. en comparación con los tratamientos aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> . Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).....	68

Tabla 22 Rendimiento de brea en porcentaje %, de diferentes especies, en comparación con los tratamientos aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> . Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).	69
Tabla 23 Punto de ablandamiento de <i>Pinus pseudostrobus</i> , en comparación con otras especies.....	70
Tabla 24 Comparación de resultados de Punto de ablandamiento que se obtuvieron y los consultados en la literatura. Datos de rendimientos de punto de ablandamiento en comparación con los tratamientos aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> . Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).	71
Tabla 25 Índice de acidez reportada en diversos trabajos de investigación en comparación con esta investigación. Nota: Datos de rendimientos de colorimetría en comparación con los tratamientos aplicados en <i>Pinus pseudostrobus</i> . Tomado a partir de Rojas- Rodríguez (2019).	72
Tabla 26 Comparación de la colorimetría de Gardner Datos de color Gardner de los tratamientos en comparación con los obtenidos en <i>Pinus pseudostrobus</i> . Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).	73
Tabla 27 Comparación de rendimiento de aguarrás expresado en (%). Comparación de datos de rendimiento de aguarrás de <i>Pinus pseudostrobus</i> y otras especies de <i>Pinus</i> elaborado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).....	74

Índice de gráficos

Gráfico 1 Producción de resina de pino en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	44
Gráfico 2 Grafica de caja de producción de resina total de pino en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	45
Gráfico 3 Producción de brea en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	49
Gráfico 4 Gráfica de caja de producción de brea en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	50
Gráfico 5 Producción de aguarrás en 30 días de resinación.....	52
Gráfico 6 Producción total de aguarrás en 30 días de resinación.	54
Gráfico 7 Datos de Ring and Ball en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	55
Gráfico 8 Gráfica de caja de Ring and Ball en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	56

Gráfico 9 Datos promedio de número de ácido en 30 días de resinación, en <i>Pinus pseudostrabus</i> Lindl.....	57
Gráfico 10 Número de ácido en 30 días de resinación.....	58
Gráfico 11 Color Gardner Número de color Gardner en 30 días de resinación.....	59
Gráfico 12 Gráfica de color Gardner en 30 días de resinación.....	60
Gráfico 13 Rendimiento general de productos de destilación en 30 días de resinación	61
Gráfico 16 Refractometrías obtenidas de aguarrás en 30 días de resinación....	63

Índice de figuras

Figura 1. Árbol y conos de <i>Pinus pseudostrabus</i>	16
Figura 2 Formación bioquímica de metabolitos secundarios.....	18
Figura 3 Técnica tradicional francesa con aplicación de estimulante.....	23
Figura 4 Preparación del árbol para la realización de técnica americana.	24
Figura 5 Cara de resinación por el método americano, con aplicación de estimulante.	25
Figura 6 Estructuras químicas tipo Abiético Zinkel & Russell (1989).....	27
Figura 7 Estructuras químicas tipo pimárico Zinkel & Russell (1989).....	27
Figura 8 Composición típica del aguarrás.	28
Figura 9 Principales componentes del aguarrás, y sus principales usos por la industria.	29
Figura 10 Ubicación de la plantación. El triángulo en color amarillo, denota el área total del sitio de la plantación.....	33
Figura 11 Diferencias en la purificación. Del lado derecho se observa la primera formulación y del lado izquierdo se aprecian los resultados de la nueva formulación.	46
Figura 12. Brea cristalizada, obtenida por destilación	66

Abreviaturas

- **rend:** Variable rendimiento.
- **erend:** Error de variable rendimiento.
- **mrend:** Media de variable rendimiento.
- **mirend:** Mínimo de variable rendimiento.
- **srend:** Desviación estándar de variable rendimiento.
- **cvrend:** Coeficiente de variación de variable rendimiento.
- **nrend:** Número de datos de variable rendimiento.
- **marend:** Máximo de variable rendimiento.
- **he2:** Método Hughes estimulante número 2
- **he1:** Método Hughes estimulante número 1
- **hc1:** Método Hughes estimulante control 1
- **hc2:** Método Hughes control 2.
- **ac2:** Método Americano control 2.
- **ac1:** Método Americano control 1.
- **ae1:** Método Americano estimulante 1.
- **ae2:** Método Americano estimulante 2.
- **mL:** Mililitros.
- **g:** Gramos.
- **trat:** Tratamientos usados en ensayo de resinación.
- **obs:** Clave de tratamiento.

1. INTRODUCCIÓN

En recientes años, el proceso de resinación mundial incrementó notablemente. Se estima que se producen 1'300,000 toneladas de resina de pino que se utiliza para la producción de colofonía y aguarrás. La producción se concentra en tres países: China, Brasil e Indonesia y juntos producen más del 90% del total. México aporta a la producción mundial aproximadamente 25,000 toneladas de resina de pino por año **(Cunningham, 2009)**. Los pinos representan uno de los recursos naturales más valiosos para México, existen 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades de pinos, que representan 42% de las especies de este género conocidas en el mundo **(Braga de Carvalho, 2014)**. México ocupa el puesto número seis a nivel mundial en la obtención de productos no maderables. A nivel nacional, y Michoacán el lugar número uno **(CONAFOR, 2013)**. En el estado de Michoacán, se tiene registro de 20 especies del género *Pinus*, de las cuales 11 se encuentran en Morelia. La resina de pino aporta mayor ingreso familiar **(Francisco-Arriaga, 2011)**. La trementina se produce en las coníferas y es el producto del proceso de homeostasis vegetal, en el cual un individuo de especie maderable produce metabolitos secundarios como mecanismo de respuesta ante heridas, fisuras o ataques ocasionadas en el tronco y follaje por insectos y hongos. **(Rodrigues K. C.-N., 2009)**. La trementina se encuentra constituida por mono-terpenos y sesquí-terpenos, así como también de ácidos di-terpénicos. Se produce en las células epiteliales especializadas, y por medio de los canales resiníferos se excreta a la corteza en forma de exudado (Adams, 2011). El proceso de resinación en México se realiza por el método tradicional francés en árboles mayores a 30 centímetros de diámetro **(Rodrigues K. C.-N., 2008)**. El proceso de destilación de resina de pino produce dos productos, aguarrás y colofonía. El aguarrás es un líquido claro con un olor acre y sabor amargo. Se compone de fracciones volátiles. La colofonía es el residuo no volátil que permanece después de la destilación de la trementina. Es un sólido quebradizo, transparente, vítreo, insoluble en agua, pero soluble en varios compuestos orgánicos **(Cielsa, 1998)**. La colofonía y el aguarrás, se utilizan para la elaboración de solventes, limpiadores, barnices y acrílicos, así como también saborizantes y fragancias que usan en la industria alimenticia.

2. MARCO TEÓRICO

El proceso de resinación en México es una actividad productiva que genera empleos y sustento en las áreas forestales del estado de Michoacán. La trementina, era utilizada como adhesivo en objetos ceremoniales y como combustible en antorchas para iluminación (**Arias, 2006**). Es importante considerar que, en México, diversas especies son aprovechadas con este propósito, mismas que se desarrollan en una amplia gama de condiciones ambientales (tipos de suelo, precipitación, temperatura, fotoperiodo, etc.). Algunas de las principales especies aprovechadas para resinar en México son *P. ocarpa* y *P. leiophylla* (**CONAFOR, 2013**). El método de resinación que actualmente se implementa en México es el método francés de pica y corteza.

2.1 Antecedentes

A partir de la época de los 80's se optó por la implementación de estimulantes, uno de los primeros Gambliel, el cual en su trabajo "Pineno ciclases I and II two enzymes from sage (*salvia officinalis*) which catalyze stereospecific cyclizations of geranyl pyrophosphate to monoterpene olefins of opposite configuration" iniciaba la carrera para demostrar la actividad enzimática de los pinos y su interacción con estimulantes orgánicos que se elaboran a partir de iones metálicos. (**Gambliel, 1984**).

Más tarde Rodney croteauf en su trabajo Monoterpene Synthases of *Pinus contortu* and Related Conifers, mencionaba: "Las Mono terpeno sintasas son un subconjunto de ciclasas terpenoides que convierten los pirofosfatos alílicos, geranilo, farnesilo, y pirofosfato de Geranilgeranilo, a los respectivos monos, sesquí y di terpenos que se encuentran en plantas y microorganismos" (Savage, 1994).

Años más tarde en 1997, en Turrialba Costa Rica; se realizó un estudio comparativo entre cinco especies de coníferas y tres técnicas de resinación diferentes. Existe la posibilidad de que haya interacciones entre el diámetro a la altura de pecho de las coníferas y el rendimiento resultante del ensayo (**López-Rucuch, 1996**).

Kelly C.S. Rodrigues y Arthur G. Fett-Neto, mediante su trabajo "Rendimiento de oleorresina de *Pinus elliottii* en un clima subtropical: variación estacional y efecto de la pasta estimulante a base de auxina y ácido salicílico", siguieron el camino en la implementación de estimulantes orgánicos de baja toxicidad en el año 2009 (**Rodrigues K. C.-N., 2009**). Kelly C. da Silva Rodrigues y asociados en coordinación con el Centro de Biotecnología, UFRGS (Programa de

Posgraduación em Biología Celular y Molecular) Porto Alegre, RS, Brasil, en el año 2011 menciona: “la utilización de cofactores metálicos y ácido sulfúrico en pasta como estimulante, aplicándolo de manera local sobre las caras recién abiertas lograba obtener una mayor interacción en la estimulación de la terpeno sintasa”; menciona de manera precisa “*El uso de potasio, cobre y hierro no afectó la composición de mono terpenos*” (da Silva Rodrigues, 2011).

2.2 Michoacán en la producción de resina.

La producción de resina de pino en el mundo asciende a poco más de 1 millón de toneladas al año. Países como China, Brasil e Indonesia son los principales productores de este bien no maderable (Cunningham, 2009). De este último país ingresa a México mayores cantidades de productos a precios similares e incluso menores que los del mercado nacional. Esto resulta de la baja calidad con la que cuentan los productos de colofonia (brea) y aguarrás que se importan, respecto a los productos que se producen en México (Arias, 2006). La producción de resina nacional, tiene a Michoacán en el primer lugar de manera histórica con números que fluctúan entre las veinte mil y treinta mil toneladas anuales, lo que representa entre 70 y 90% de la producción nacional (SEMARNAT, 2016). El resto de la producción se obtiene en Jalisco, Oaxaca y el Estado de México; aunque se tienen registros de tipo histórico de que en Guerrero y Durango se lleva a cabo la actividad de manera intermitente. La dinámica del sector resinero a lo largo del siglo pasado y principios de este es que a pesar de ser una actividad primaria con importancia social ya que provee de ingresos adicionales a los dueños y poseedores del bosque, se encuentra en una situación de rezago por cuestiones relacionadas a la baja inversión en todas las etapas del proceso (desde la cosecha como la posterior transformación y comercialización); poca investigación y divulgación en la materia y eventual abandono de la actividad por parte de los productores (CONAFOR, 2013). El proceso de resinación en México se realiza por el método tradicional francés en árboles mayores a 30 centímetros de diámetro. El diámetro determina el número de caras que puede soportar el árbol, consiste en realizar una incisión de 10 cm x 19.5 cm y la posterior colocación de un recipiente colector por un periodo de 10 días (Rodrigues K. C.-N., 2008). La extracción de resina cruda ocupa un lugar dentro de los aprovechamientos del sector forestal, sin embargo, desde el siglo pasado, a partir de la década de los años sesenta, el sector de la resina sufre una serie de alteraciones y/o modificaciones que provocan una crisis importante (Justes, 2018).

2.3 Generalidades de la especie *Pinus pseudostrabus*

La especie de *Pinus pseudostrabus* pertenece a la familia **Pinaceae**, algunos de los sinónimos con los que se puede identificar a la especie es *Pinus orizabae*, *Pinus pseudostrabus*, *Pinus pseudostrabus lindl.* A esta especie también se le conoce como pino blanco, ocote, y pinabete (**Perry Jr, 1991**).

Presenta una altura de 15 a 40m y diámetros de 40 a 80 cm. Tiene un fuste recto, libre de ramas de 30 a 50 % de su altura. Las ramas a menudo son horizontales, la copa es espesa; cerca de la copa, la corteza se hace suave y rojiza a café grisáceo. Las acículas en grupos de 5 raramente 4 a 6; de 16 a 35 cm de largo y 0.75 a 1.25 cm de ancho extendidas o péndulos, con vainas persistentes de 15 a 25 mm de largo. Los canales resiníferos de 2 a 4, usualmente medios, su madera es de color amarillo claro, grano recto, textura fina. Su peso específico varía de 0.44 a 0.48 g/cm³. Se distribuye escasamente en el norte de México de Sinaloa a Jalisco, pero es común encontrarlo en la planicie central y en el estado de Chiapas. Crece a una altura sobre nivel del mar entre 2400 y 2800, en suelos profundos que resultan de material volcánico, ácidos a moderadamente ácidos con un pH de 5.5 a 6.5. (**Rzedowski, 1978**).

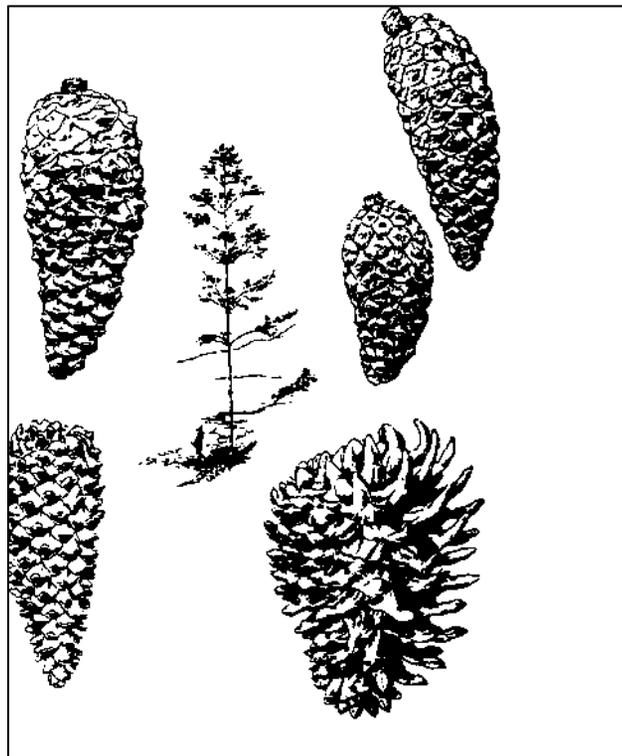


Figura 1. Árbol y conos de *Pinus pseudostrabus*.

2.4 Especies resineras del estado de Michoacán

La producción y aprovechamiento de la resina de pino en México, data de finales del siglo XIX, las especies de pinos de mayor producción de resina son: *P. ocarpa*, *P. leiophylla*, *P. lawsoni*, *P. teocote*, *P. herrerae*, *P. tenuifolia*, *P. montezumae*, *P. ponderosa* y *P. pringlei*. La resina se produce fundamentalmente en la región central del país, en los estados de Michoacán, Jalisco, México y Oaxaca; destaca la producción de Michoacán, que representa poco más de 90% de la producción nacional (**CONAFOR, 2013**).

2.5 Normatividad para la recolección de resina

La normatividad vigente para la recolección de la resina de pino y los aprovechamientos forestales se dictaminan por la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento, y la Norma Oficial Mexicana **NOM-026-SEMARNAT-2005**. Se regulan por la Ley general de desarrollo forestal sustentable vigente publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de febrero del 2003, reglamentaria del artículo 27 constitucional y el Reglamento de la Ley Forestal vigente que se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 25 de septiembre de 1998. En materia de aprovechamiento forestal de no maderables con fines comerciales, en los Art. 97 al 100° de la Ley forestal y en el Art. 26° en sus fracciones I al XV de su Reglamento se establecen los requerimientos para su aprovechamiento, mientras que en el Art. 20° de la Ley y los Arts. 61° y 69° de su Reglamento se establecen los requerimientos para el transporte, transformación o almacenamiento de las materias primas forestales, entre ellos la resina de pino. (Anexos 6 y 7) (**SEMARNAT, 2006**).

2.6 La resina de pino

La resina de pino, es el producto de la actividad de tejidos que forman células vivas denominadas “parenquimatosas”, las cuales pueden encontrarse en las raíces, las hojas, la corteza interior y la madera del tronco. Cuando un grupo de estas células, se separa por alguna influencia extraña, se forman inmediatamente conductos por donde fluye la trementina, de ahí que baste hacer una incisión en las capas exteriores leñosas a través de la corteza del pino (**Valdivia, 1970**).

2.7 Formación de la resina

Cualquier herida o lesión que logre penetrar la corteza del árbol dejara al descubierto los rayos de parénquima lo que provoca la salida de la resina almacenada de los mismos. Este tipo de exudado forma parte del proceso fisiológico de defensa, que, a su vez, constituyen un proceso de cicatrización para evitar el ataque de insectos, hongos y otros daños traumáticos para que la oleorresina comience a exudar (**Valdivia, 1970**). Estos elementos anatómicos a menudo suelen entrecruzarse periódicamente, hasta formar una conexión continua que comunica a todas las partes del árbol (**Bandera-Molina, 1943**).

2.7.1 Bioquímica de los terpenos

La formación bioquímica de los terpenos inicia con la fotosíntesis mediante una molécula de CO_2 y dos de H_2O , se transforman en acetil coenzima A, la cual a su vez es transformada a hidroxigeranil coenzima A por acción de una hidratación y posterior decoenzimación. Mediante una reducción se obtiene el ácido mevalónico, el cual es precursor de la mayoría de los terpenos. El proceso completo se muestra en la **Figura 2**. La resina de pino, después de salir de la herida se solidifica por cristalización. La fracción volátil (aguarrás) está

constituida por cuatro sustancias: Ácidos resínicos que tienen a fórmula empírica $\text{C}_{20}\text{H}_{30}\text{O}_2$ y que se subdivide en ácidos terpentínicos (entre ellos el ácido pimárico en sus dos formas ópticamente diferentes), ácidos sapínicos y ácidos colofónicos (entre ellos ácido abiético); ésteres de resina, alcoholes de resina (resinoles) y resenos en pequeñas dosis. La esencia de la trementina a su vez está formada en su mayor parte por hidrocarburos terpénicos monocíclicos y bicíclicos y por terpenos oxigenados. La trementina es soluble en la mayoría de los solventes orgánicos como el alcohol, éter, cloroformo, ácido acético glacial, etc.; es combustible, poco tóxica y por contener ácidos resínicos libres su solución alcohólica tiene reacción ácida.

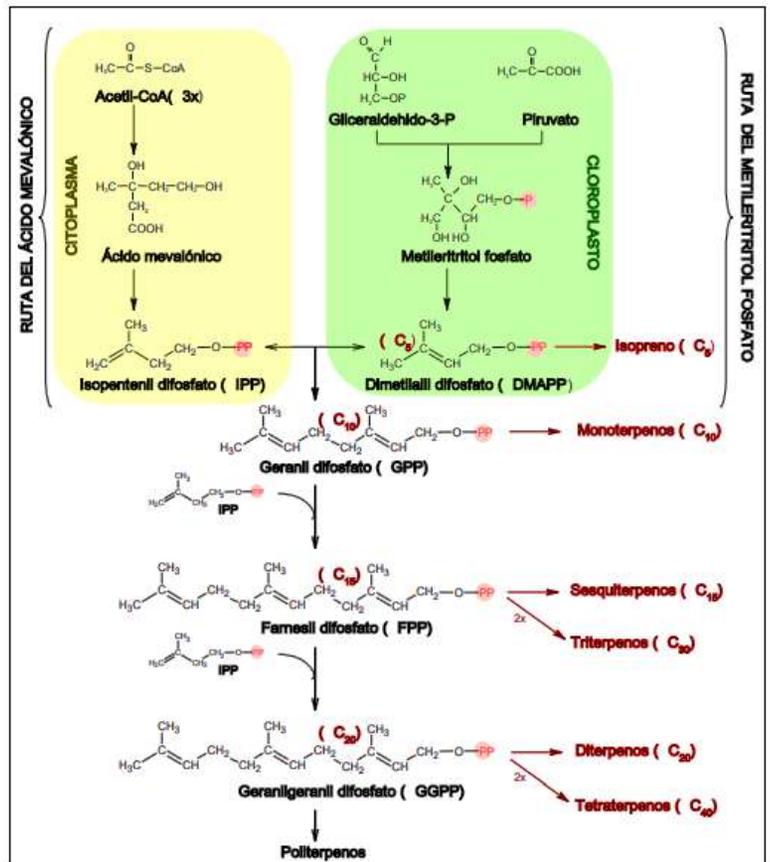


Figura 2 Formación bioquímica de metabolitos secundarios. Tomado de (García A. Á., 2011).

El índice de acidez de la trementina común oscila entre 105 y 125 y su índice de saponificación, coincide con el índice ácido. El contenido de componentes (brea y aguarrás) en la trementina es variable y puede oscilar entre 60 y 80% de brea y 10 y 30% de aguarrás **(Romahn de la Vega, 1982)**.

Hay un aumento en la producción de canales resiníferos como medida de regeneración ante la respuesta de activación de alguna amenaza o herida, dicho proceso recibe el nombre de canales resiníferos traumáticos. El aumento que se induce en los canales mediante heridas es de gran importancia gracias al aumento en la producción de resina. La producción es mayor en sentido longitudinal y menos en sentido radial haciendo que el número de canales verticales pueda aumentar hasta diez veces más que el número normal en la madera nueva, arriba de la herida o cara de resinación. La especie de *Pinus pseudostrabus* presenta 60 canales resiníferos verticales por centímetro cuadrado de corte radial **(Romahn de la Vega, 1982)**.

2.7.2 Estimulantes de baja toxicidad en pasta

El ácido sulfúrico principal componente de los estimulantes, aumenta el rendimiento de oleorresina al ascender desde el cambium hasta las células leñosas por osmosis y por avidez que tiene con las soluciones acuosas. Produce un colapso en las células epiteliales, que logra que la resina almacenada brote (Arias, 2006). Este procedimiento impide la cristalización de los ácidos resínicos y mejora el efecto del estimulante sobre la herida. Para prolongar el flujo de oleorresina, las pastas pueden tener diferentes rendimientos de acuerdo con intervalos de tiempo entre cortes y con la dirección de las caras en cada árbol, Por lo tanto, se estima conveniente considerar la interacción del tipo de estimulante con cada uno de estos factores, para establecer así bajo qué condiciones es más favorable el uso de uno u otro tipo de pasta **(Alarcón-Araya, 1987)**.

2.8 Toxicidad de los estimulantes

Ácido sulfúrico.

En forma pura, el ácido sulfúrico es un líquido aceitoso, sin color y sin olor. Es corrosivo. En su forma comercial está usualmente impuro y su coloración es pardusca. Puede formar soluciones con el agua en cualquier proporción. Las soluciones acuosas de ácido sulfúrico se nombran de acuerdo con el porcentaje en peso de ácido en la solución; el ácido sulfúrico concentrado es entonces H₂SO₄ 100%, que se conoce como anhídrido o como monohidrato de trióxido de Azufre. Gracias a la naturaleza de ácido fuerte del ácido sulfúrico, está presente en el medio ambiente en forma disociada. Esta propiedad también implica que el

ácido sulfúrico no se acumule a lo largo de las cadenas alimenticias. Su uso corresponde al tratamiento de suelos básicos, su forma activa como ácido posee una corta vida. Los derrames de este material a concentración entre bajas y moderadamente altas sobre el suelo se contrarrestan por la presencia de otros químicos como el amoníaco. En el suelo la presencia de ácido sulfúrico se da como su ion sulfato, el que se reduce en algunos casos por la acción de bacterias anaeróbicas que lo llevan a azufre y a sulfuro de hidrógeno **(Bidwell, 1993)**.

Sales metálicas.

Las sales metálicas constituyen una parte fundamental del sistema de metabolismo vegetal, dichos elementos se pueden encontrar como base de formulación de diversos fertilizantes. Los metales se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. Las plantas utilizan en su nutrición pequeñas cantidades de micro elementos, oligoelementos o elementos trazas. Los vegetales los requieren en cantidades pequeñas que oscilan entre 0,01 a 0,5 ppm. Los micronutrientes tienen varias propiedades en común, algunas son las de activar enzimas esenciales para la vida vegetal. Cuando se encuentran en cantidades elevadas en las soluciones nutritivas o solución del suelo, producen toxicidad. No pueden degradarse o destruirse fácilmente de forma natural o biológica ya que tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos. **(Abollino, 2002)**

En pequeñas cantidades, se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento, a través del agua y el aire como medios de translocación y al depender de su movilidad en dichos medios **(Lucho-Constantino, 2005)**. Por otro lado, en los suelos se pueden encontrar diferentes metales, que forman parte de los minerales propios, que generalmente se presentan en el suelo como óxido y/o hidróxido, y al formar mezclas junto con otros elementos metálicos **(Van Metre, 2003)**. La contaminación en suelos por metales ocurre, cuando se irrigan con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales **(Batzle, 1992)**.

Semilla de linaza.

La linaza es una fuente de grasa vegetal omega-3, fibra dietética y otros nutrientes. Los nutrientes de las semillas se constituyen de proteínas, carbohidratos y lípidos. La cantidad de estos compuestos depende de la especie. En general las semillas, son fuente de grasas. Los omega-3, son nutrientes importantes en la alimentación (**Jiménez, 2013**).

2.9 Bio-acumulación y residualidad

La mayoría de los compuestos que se mencionan anteriormente se encuentran en las estructuras primarias de la pared celular de la semilla de linaza, constituye membranas ricas en aceites esenciales. Los aceites esenciales se absorben por las plantas al formar parte esencial de su nutrición. Posteriormente se metabolizan en compuestos más complejos. Uno de estos mecanismos consiste en la acumulación y emisión de sustancias volátiles, los terpenos. Igual que las espinas urticantes, que defienden a las plantas frente a la agresión de los herbívoros, los terpenos ejercen numerosas funciones protectoras. Las plantas emiten cantidades elevadas de terpenos al aumentar la luz y la temperatura, también en situaciones de contaminación atmosférica y de sequía moderada. En la región mediterránea, la incidencia de la luz solar resulta notable durante la mayor parte del año; además, en esta zona los veranos son cada vez más calurosos, las sequías más pronunciadas y frecuentes, y las concentraciones de ozono de la baja atmósfera (troposfera) sobrepasan decenas de veces al año los límites que tolera la legislación europea. Los terpenos constituyen por tanto un sistema defensivo crucial para la supervivencia de las especies vegetales (**Buckeridge, 2007**).

2.9.1 Funciones fisiológicas de elementos minerales

La importancia de los elementos minerales está determinada por la influencia que ejercen sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos en la planta.

Las funciones de los elementos minerales pueden agruparse en tres grandes clases (**Guardiola-Barcena, 1990**) .

- a) **Función de constitución** : Son elementos constituyentes de estructuras orgánicas y moléculas imprescindibles para la vida. El nitrógeno, el fósforo y el azufre son constituyentes de proteínas y ácidos nucleicos.

- b) **Activadores o reguladores de la actividad enzimática:** Esta función implica la participación de elementos minerales, como coenzima o grupo prostético, al modular la actividad enzimática por modificación de la molécula de proteína.
- c) **Osmo-regulación y/o mantenimiento del equilibrio electroquímico:** Los elementos minerales se acumulan en forma iónica como Cl^- , K^+ y Mg^{2+} y participan en esta función. El K^+ en la mayoría de las plantas juega un papel central en la regulación del potencial osmótico, función en la que se reemplaza parcialmente el sodio en algunos casos. **(Guardiola-Barcena, 1990)**

2.9.2 Absorción y metabolismo mineral

Las plantas al ser un elemento vivo constituyen una parte fundamental para la reducción de elementos contaminantes en el ecosistema terrestre. Toman el CO_2 del medio ambiente para producir los nutrientes necesarios por medio de la fotosíntesis. Los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos. Los primeros representan entre el 90 y el 95% del peso seco de las plantas. Se constituyen por carbono, oxígeno e hidrógeno, que se obtienen a partir del CO_2 de la atmósfera y del agua del suelo **(Bonilla-Ildefonso, 2013)**.

El azufre se absorbe en forma de anión sulfato (SO_4^{2-}) y, en esta forma, se transporta por la xilema. Se absorbe por las estomas de las hojas bajo la forma de dióxido de azufre (SO_2), contaminante atmosférico resultante de la combustión del carbón, la madera y el petróleo. El SO_2 reacciona con el agua en el interior de las células al formar bisulfito (HSO_3^-), que desplaza el magnesio de la clorofila y disminuye, en consecuencia, la fotosíntesis (Bonilla-Ildefonso, 2013). El azufre como sulfato forma parte de los sulfolípidos y los hetero-polisacáridos y, en forma reducida, reducción que tiene lugar en los cloroplastos. Se encuentra en aminoácidos como la cisteína y la metionina. Los grupos $-\text{SH}$ son clave en multitud de reacciones enzimáticas, al determinar, según su forma (oxidada o reducida), su actividad. Por otro lado, elementos estructurales como lo es el fósforo se encuentra disponible para la planta como ion fosfato, y se absorbe preferentemente como H_2PO_4^- en suelos con un pH inferior a 7, y como anión divalente HPO_4^{2-} en suelos básicos, con un pH por encima de 7. En contraste con el nitrógeno, el fósforo no se encuentra en forma reducida en las plantas, sino que permanece como fosfato, ya sea en forma libre como éster fosfórico con grupos hidroxilos, o al formar enlaces anhídridos ricos en energía, como es el caso del ATP o del ADP. Desempeña, por tanto, un papel clave en la fotosíntesis, en la respiración, y en todo el metabolismo energético **(Bonilla-Ildefonso, 2013)**.

2.10 Técnicas de resinación

El conjunto de operaciones practicadas al árbol para que fluya resina hacia el exterior se le nombra técnica de resinación **Rucuch (1997)**. Los sistemas de resinación que se han aplicado en México son:

- Técnica de cajete o americano primitivo
- Técnica de resinación de espina de pescado
- Técnica de resinación francés o de Hughes modificado
- Técnica franco americano

2.10.1 Técnica francesa o Hughes

La técnica está diseñada para aprovechar tanto la resina de pino como también la madera. El método consiste en hacer una incisión (cara de resinación) en el árbol de 10 cm de ancho, 10 a 15 mm de profundidad y altura de 50 cm por año. La cara se inicia en la base del fuste y se prolongan hacia arriba. Se realizan las picas o rebanas para avivar la estimulación y producción de la resina (**García L. G., 2004**). Esta técnica consta de varios pasos preparativos, los cuales se describen a continuación:

Desroñe. Retirar lo áspero de la corteza en una superficie no mayor de un rectángulo de 30 x 60 cm. a partir del nivel del suelo. Su objetivo es facilitar las picas y aumentar la fluidez de la resina en los canales resiníferos.

Des frente. Se retira la corteza para hacer un espejo en cuadro de 15 cm por lado.

Instalación. Colocación del dispositivo para recibir la resina que se produce de las picas, el cual consiste en la visera, el cacharro y el clavo.



Figura 3 Técnica tradicional francesa con aplicación de estimulante.

A) Preparación de cara de resinación, B) Realización de pica, C) Colocación de cacharro, D) Cara de resinación con la aplicación del estimulante.

Primera pica. Después de ocho días de la instalación se inicia la pica o rebanado, sirve para dar forma a la cara de resinación y abrir los canales resiníferos cada 7 días.

Pica. Consiste en desprender laminillas de madera llamadas "serojas", el avance de la cara es en sentido vertical hacia arriba en forma de arco.

Frecuencia de picas. Se recomienda una vez por semana para cada cara, con recorrido siempre en dirección vertical, además se debe evitar que se ensucie con los recortes de corteza y madera. La recolección queda a juicio del resinero, por lo general es cada mes, al cabo de cuatro picas por cara.



Figura 4 Preparación del árbol para la realización de técnica americana.

Alza de la instalación. Al pasar un año distancia es de más de 50 cm de la visera por lo que en su trayectoria parte de ella se solidifica, depositándose sobre la madera, esta resina endurecida se denomina "Barrasco", por lo que se debe alzar la instalación; enseguida se procede a limpiar el barbasco, posteriormente se retira la instalación. **(García L. G., 2004).**

2.10.2 Técnica americana.

En México se estima que por el método de resinación americano se obtiene una producción de 4.2 Kg/año/cara. Se efectúa una pica semanal durante 40 semanas, con una cara de 25 cm. de ancho y 40 cm de altura. Este sistema tiene diferentes recomendaciones según la región, tradición y costumbre **Romahn de la Vega (1982).** las más importantes son:

- Se recomienda la resinación de árboles vigorosos con diámetro normal superior a 25 cm, o bien por selección del árbol con base en una conformación defectuosa.

- La intensidad de resinación es aproximadamente de dos caras para árboles con 40 cm de diámetro normal, con una entre cara de 10 a 15 cm.

- La altura de las caras no debe exceder de 45 cm y el ancho nunca mayor al diámetro normal. La profundidad de la pica es de 0.87 a 1.75 cm, las picas son semanales.

Dentro de la técnica americana; la operación más importante dentro del proceso de resinación es la ejecución de los cortes, y consiste en eliminar en cada corte, fajas de corteza, liber y cambium, sin comprometer la albura, ello se logra mediante el empleo de una herramienta diseñada para este fin y que recibe el nombre de escoda.

La parte superior del corte se debe limpiar con el propósito que la corteza no se desprenda, lo cual produce a la entrada de humedad y aire. Esta acción produce rápidamente la cristalización y por consiguiente la obstrucción de los canales resiníferos. Inmediatamente después de realizar el corte de una anchura que corresponde a 1/3 de perímetro del DAP, se efectúa la aplicación de la pasta o solución de ácido sulfúrico (**Largo-Arenas, 1973**). El equipo a utilizar para la realización de esta técnica es el siguiente:

- **Escoda.** Para realizar los cortes.
- **Raspador de corteza.** Sirve para eliminar parte de la corteza.
- **Frasco pulverizador.** Se utiliza para la aplicación del ácido sulfúrico.
- **Serrucho cola de zorro.** Se usa para la limpieza del fuste.
- **Hacha martillo.** Se emplea para diversas actividades, entre ellas, la colocación de canales, frascos, etc.
- **Raspador de resina.** Se utiliza para raspar la resina adherida.
- **Espátula.** Es utilizada para la extracción de la resina de frascos.



Figura 5 Cara de resinación por el método americano, con aplicación de estimulante.

- **Canaletas.** Se utiliza para facilitar el escurrimiento de la resina.
- **Balde de plástico.** Se emplea para colectar la resina.

2.10.3 Brea o colofonia

La colofonia o brea es la fracción resinosa ácida de la oleoresina, está constituida hasta en un 90%, por ácidos resínicos, los más importantes son el abiético ($C_{20}H_{30}O_2$) y pimárico. La parte neutra de la colofonia que representa un 10%, está constituida por esterres, ácidos resínicos y grasos” menciona **Romahn de la Vega (1982)**. Tiene una estructura dura y quebradiza a temperatura ambiente, pero es blanda y pegajosa al calentarla, es aspecto vítreo y fragmentos angulosos, traslucidos, casi inodoras e insípidas. Su peso específico es de 1.07-1.08, se ablanda a temperaturas de 70-80 °C. Es insoluble en agua y libremente soluble en alcohol, benceno, éter, ácido acético glacial, aceites, di sulfuro de carbono, soluciones diluidas de hidróxidos alcalinos fijos. Combustible, poco tóxica y desprende gases inflamables al calentarla (**Romahn de la Vega, 1982**). Los mejores aspectos de calidad se favorecen de acuerdo al tipo de coloración de la brea, los tonos más claros son de mejor calidad, tienen los mejores precios, ya que el color de la colofonia tiene importancia en muchas de las industrias, tanto alimentarias como del calzado.

2.10.4 Composición química de la brea.

Los diferentes tipos de colofonia varían su composición según la especie de pino de la cual provengan, pero todos son una mezcla compleja de ácidos orgánicos y materiales neutros. Los ácidos resínicos son ácidos mono carboxílicos hidrogenantrénicos alcoholados (**Martínez-Olvera, 2017**). La mayor parte de los ácidos resínicos presentan una doble insaturación y tienen como fórmulas empíricas $C_{19}H_{29}COOH$. Hay dos tipos de ácidos resínicos: el que se constituye por el ácido abiético (**Figura 6**) y el correspondiente al pimárico (**Figura 7**). El ácido abiético se caracteriza por la presencia de un grupo isopropílico en la posición 7, mientras que el tipo pimárico tiene grupos vinilo y metilo en la posición 7. El ácido abiético tiene dobles enlaces que se conjugan en las posiciones 7-8 y 8 -9 (**Zinkel & Russell, 1989**).

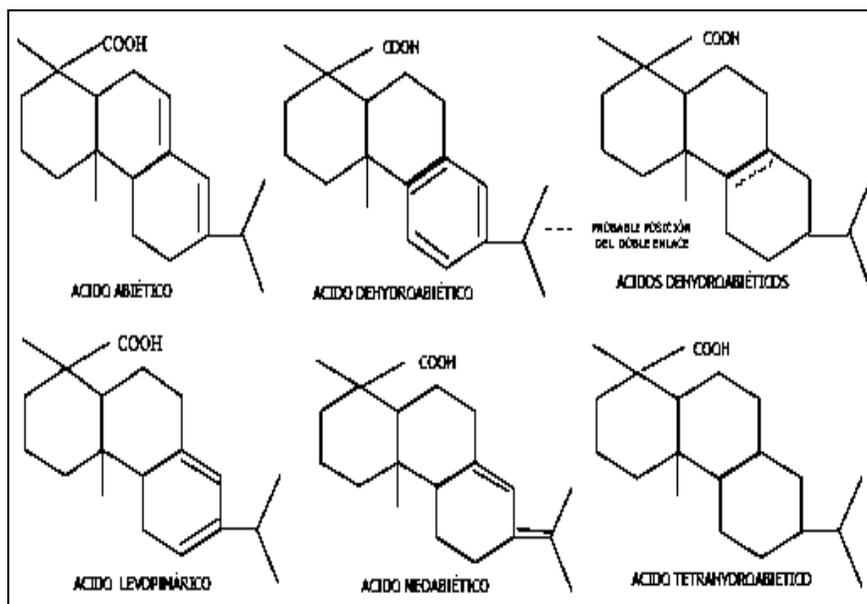


Figura 6 Estructuras químicas tipo Abiético (Zinkel & Russell 1989).

Nota. En la Figura 6, se observan las principales estructuras químicas que conforman el ácido abiético.

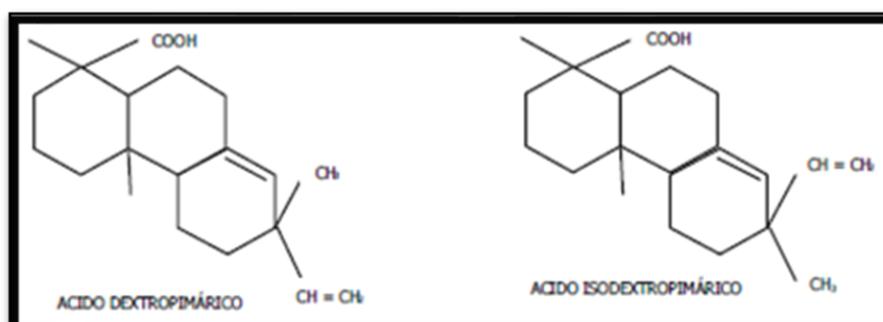


Figura 7 Estructuras químicas tipo pimarico (Zinkel & Russell 1989).

2.10.5 Aguarrás

La fracción volátil de la resina se conoce como aguarrás, está conformada por una mezcla de hidrocarburos monoterpénicos, de las cuales los dos más importantes son alfa pineno y beta pineno. (Véase Figura 8). En general, es un líquido incoloro o amarillo pálido, aromático, que a veces presenta una ligera coloración que se ocasiona por iones férricos o cuprosos, al depender de los materiales con que estén hechos los aparatos en que se obtiene. La relación que existe entre los componentes de la trementina está determinada por la especie de pino que se utiliza y, en el caso de la trementina al sulfato, también por el método de procesamiento, que influye significativamente (Alarcón-Araya, 1987).

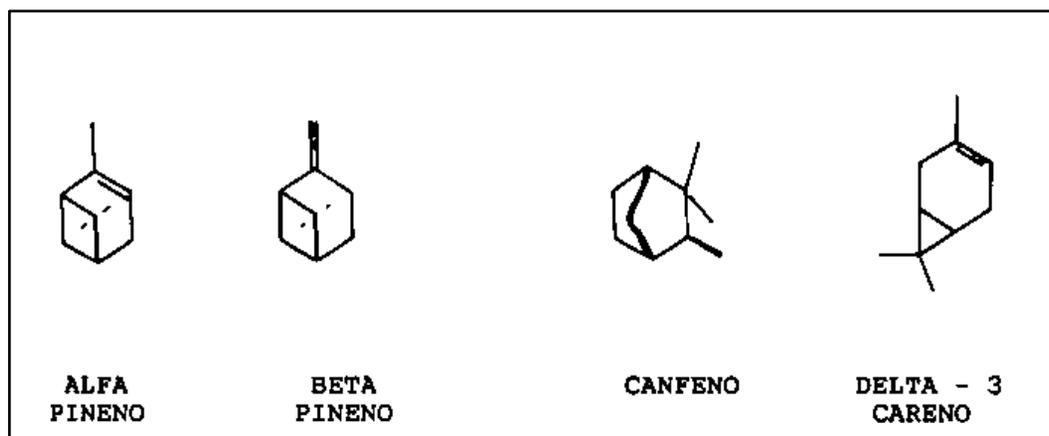


Figura 8 Composición típica del aguarrás.

10.5.1 Composición química del aguarrás

La trementina se oxida por la acción del aire y de la luz, factores ante los cuales se altera su viscosidad disminuye su poder rotario y se colorea. Su margen de ebullición está entre 152°C y 156°C. Alrededor del 80% de su volumen se destila antes de 165°C. Su densidad varía entre 0,85 y 0,87. Es insoluble en agua y completamente soluble en alcohol, éter o bencina. Una vez oxidada, la trementina puede comportarse como oxidante, propiedad que es utilizada para la fabricación de lacas y barnices, en los que la trementina actúa como acelerante de la oxidación del aceite de linaza (**Alarcón-Araya, 1987**).

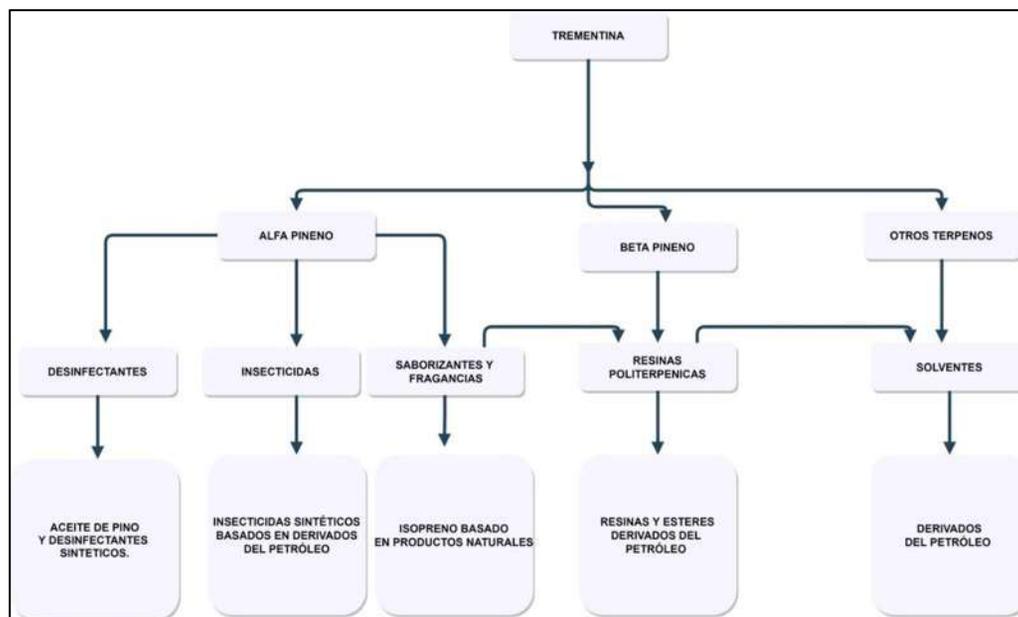


Figura 9 Principales componentes del aguarrás, y sus principales usos por la industria.

Hasta hace algunas décadas el aguarrás se usaba en forma natural, hoy en día se usan sus distintos componentes fraccionados, que se utilizan en muchas industrias, el alfa-pineno, por ejemplo, se emplea en la síntesis del alfa-terpinol, componente primario del aceite de pino (Alarcón-Araya, 1987). Estos aceites de pino se usan como espumantes en la flotación de minerales, en procesos textiles, como solventes, como desodorantes y como bactericidas. El alfa-pineno tiene otro uso importante, se utiliza en una variedad de saborizantes, y en la elaboración de isobornil, que se usa con un menor costo, como jabón y perfume (Alarcón-Araya, 1987).

Otros componentes menores que se obtienen de los terpenos se utilizan en la producción de 1-menthol, solventes, productos sanitarios. Entre estos compuestos, los más importantes son: beta-felandreno, (para mentol), delta-careno (solvente), limoneno (para resinas alcalinas y usos en síntesis de compuestos), di penteno (fragancias), estragol y anetol (perfumes y saborizantes) (Alarcón-Araya, 1987). La trementina, al igual que la colofonia, es una materia prima versátil obteniéndose una amplia variedad de productos y derivados, como se indica en la Figura 9.

2.11 Glosario.

- **Toxicidad:** Es el estado en el que una sustancia química o biológica puede dañar un organismo vivo. Puede hacer referencia al daño que causa a órganos, tejidos, células o a todo el organismo.
- **Absorción Mineral:** La absorción es el proceso mediante el cual los minerales se transportan o transfieren desde el punto de administración, hasta la sabia a través de la acción capilar, osmótica, disolvente o química de las células.
- **Bio-acumulación:** Proporción de la dosis que una sustancia absorbida por cualquier vía alcanza en la circulación sistémica.
- **Canales resiníferos:** Tejidos que forman células vivas denominadas "parenquimatosas", las cuales pueden encontrarse en las raíces, las hojas, la corteza interior y la madera del tronco.
- **Método tradicional francés:** técnica diseñada para aprovechar tanto la resina de pino como también la madera. El método consiste en hacer una incisión (cara de resinación) en el árbol de 10 cm ancho, 10mm a 15 mm de profundidad y altura de 50 cm por año. La cara se inicia en la base del fuste y se prolonga hacia arriba con motivo de las "picas o rebanas" que se hacen para avivar la estimulación y producción de la resina (**García L. G., 2004**).
- **Trementina:** La resina de pino, también llamada trementina, es el producto de la actividad de los canales resiníferos. Como lo menciona Valdivia, "Los canales resiníferos se localizan dentro de las colonias de células vivas del parénquima".

3. JUSTIFICACIÓN

Para aumentar la producción y acortar el ciclo de resinación, se implementan los bio-estimulantes orgánicos de baja toxicidad. Son amigables con la especie de pino y con el medio ambiente. El uso de estimulantes en el proceso de resinación contribuye al sector industrial al modular las condiciones de oferta y demanda en la industria. El método americano, demuestra tener buenos resultados con ayuda de estimulantes de baja toxicidad (**Rodrigues K. C.-N., 2009**). Por esta razón, él proyecto evaluó, para una plantación de *Pinus pseudostrobus*, ubicada en el municipio de Cherán Michoacán, rendimiento de resina y pruebas de calidad de los productos que derivan de la destilación de resina. Cabe mencionar que se trabaja en conjunto con **Ejido Verde**, una empresa forestal mexicana que opera como una asociación entre la industria química mexicana del pino y las comunidades indígenas. Uno de los objetivos de esta empresa es aumentar la oferta de resina de pino. Si bien es un producto del que pocos han oído hablar, la resina de pino se encuentra, de hecho, en muchos tipos diferentes de productos. los productos que resultan de la resina de pino se pueden encontrar de manera estructural en barnices, grasa para zapatos, pastas para soldadura electrónica, lacas, pinturas para el recubrimiento de superficies, algunos pegamentos, así como también en la industria de los alimentos, como el chicle, los colorantes, saborizantes, espesantes entre otros **Coca (2017)**. Ejido Verde pretende que, este modelo estimule innovaciones en otras cadenas de suministro de productos básicos, al crear nuevos modelos para asegurar un suministro más confiable, mejores oportunidades económicas para las comunidades rurales y beneficios ambientales significativos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

- Evaluar el efecto de la utilización de la técnicas americana y tradicional francesa con bio estimulantes en la resinación de *Pinus pseudostrobus* de plantaciones forestales.

4.2 Objetivos particulares:

- Determinar el rendimiento de oleoresina obtenida mediante diferentes tratamientos de las técnicas de resinación americana y tradicional francesa con y sin bio-estimulantes.
- Caracterizar la brea obtenida de las técnicas americana y tradicional francesa, con y sin bio-estimulantes, de acuerdo con los parámetros de calidad; número de ácido, color Gardner y punto de ablandamiento.
- Caracterizar el aguarrás destilado a partir de resina de pino obtenida con las técnicas americana y tradicional francesa, con estimulante y sin usar estimulante de acuerdo con el índice de refracción.

5. HIPÓTESIS:

- El uso de bio-estimulantes de baja toxicidad incrementa el rendimiento de oleoresina de la técnica americana y la técnica tradicional francesa en *Pinus pseudostrobus* de plantaciones forestales.
- El uso de bio-estimulantes de baja toxicidad no afecta los parámetros de calidad de los productos de destilación de las técnicas tradicional francesa y americana.

6. MATERIALES Y MÉTODOS:

La metodología se basa en la utilización de la técnica americana y la técnica tradicional francesa, se contempla por una parte un sistema de estimulación continua. Se incluyen formas ensayadas (Alarcón-Araya, 1987). Las principales diferencias con el anterior son de comparación reducida del mes de junio al mes de julio; el estimulante en forma de pasta con una acidez activa que representa un ahorro de ácido sulfúrico y una disminución del riesgo en su utilización. La posibilidad de realizar una sola remasa mediante la asignación de un solo corte (cara de resinación) por individuo. Espaciamiento medio entre picas de 15 días por tratarse de una estimulación mucho más efectiva.

6.1 Localización de predio:

Este trabajo de investigación se realizó en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán Michoacán, con localización 19°41'56.6" Latitud **N**, 101°56'26.8" Longitud **W**. La superficie donde se encuentra la parcela presenta un área de 4.8 ha, a una altitud de 2481 msnm. Presentó condiciones climatológicas lluviosas para los meses de junio y Julio, meses en los cuales se realizó el ensayo de resinación, con una temperatura máxima de 22°C y una mínima de 9°C (SAMN, 2019).

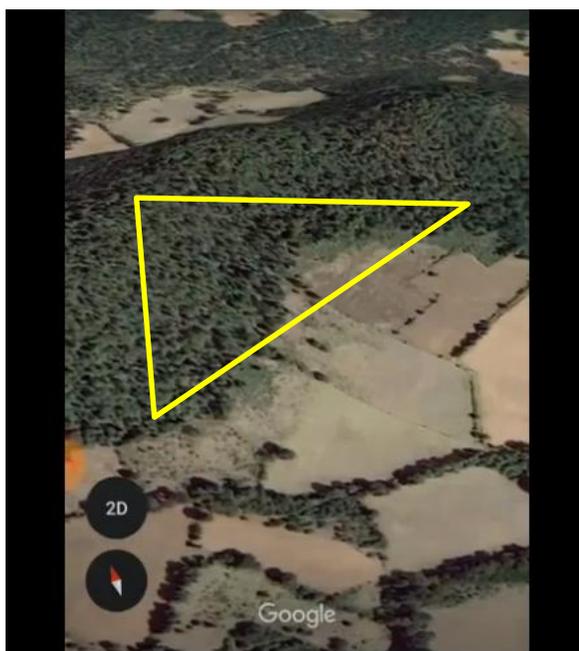


Figura 10 Ubicación de la plantación. El triángulo en color amarillo, denota el área total del sitio de la plantación.

Obtención y evaluación de estimulantes orgánicos para la resinación de *Pinus pseudostrobus* en plantaciones forestales.

6.2 Identificación y selección de individuos:

Se realizaron 4 tratamientos diferentes de la identificación y selección de 15 individuos por tratamiento de *Pinus pseudostrobus* sanos en una plantación. Posteriormente se destilarán por triplicado, las mezclas de las oleorresinas de cada tratamiento

- Hughes tradicional sin estimulante(HC2)
- Hughes tradicional con estimulante 1 (HE1)
- Hughes tradicional con estimulante 2(HE2)
- Hughes tradicional con vehículo (HC1)
- Americano tradicional sin estimulante (AC2)
- Americano tradicional con estimulante 1 (AE1)
- Americano tradicional con estimulante 2 (HE2)
- Americano tradicional con vehículo (AC1)

6.3 Materiales y equipos utilizados.

- Vasos de precipitado de 30 y 1000 mL marca KIMAX
- Matraz Erlenmeyer 250 mL marca KIMAX
- Pipeta de 10 x 10/1 mL marca PYREX
- Bureta semiautomática de 50 x 1/10 mL, marca BRAND
- Probeta graduada 500 mL marca PYREX
- Placa de calentamiento con agitación, (marca BARNSTEAD, modelo SP131325, 120 v, rango de 0-540 °C, 0-1200 rpm.)
- Agitadores Magnéticos
- Bascula electrónica de precisión 0.001 g., (marca, æADAM, 310 g. Max)
- Aparato para determinación de punto de reblandecimiento (Modelo H1570, marca HUMBOLT).
- Colorímetro GARDNER-HELLIGE, marca DAYLITE
- Termómetros ASTM 1C-99, rango de -5 °C a 150 °C
- Mantilla de calentamiento

6.3.1 Reactivos utilizados.

- Meta bisulfito de sodio marca sigma-Aldrichs.
- Fenolftaleína al 1%, marca Jalmek.
- Ácido oxálico, marca Jalmek.
- Hidróxido de sodio
- Aguarrás o esencia de trementina
- Xilol, marca J.T. Baker.
- Metanol, marca J.T. Baker.
- Etanol
- Acetona, marca J.T. Baker.
- Glicerol
- Agua destilada
- Extracto de levadura marca BIOXON.
- Sulfato ferroso marca HICEL.
- Sulfato de manganeso marca HICEL.
- Sulfato de cobre marca HICEL.
- Sulfato de potasio marca HICEL.
- Ácido salicílico marca HICEL.
- Ácido sulfúrico concentrado, marca HICEL.
- 1 kg de semilla de linaza.

6.4 Preparación de estimulantes

Para este ensayo de resinación se elaboraron 2 estimulantes, que se denominan 1 y 2 respectivamente. Sé elaboró a partir de una rigurosa investigación, mediante la cual se obtuvieron los componentes necesarios, así como también las concentraciones a las cuales, tienen un mayor rendimiento.

6.4.1 Estimulante 1

El estimulante llamado 1, se prepara de la siguiente manera:

1. Vaciar en un vaso de precipitados de 250 mL, 80 mL de agua destilada (medida en una probeta graduada de 100mL). Se colocó sobre la parrilla eléctrica con agitación de 6 rpm.
2. Se pesan en una balanza digital marca æADAMº:

- Fe_4SO_4 al 10 mM

- K_2SO_4 al 50 mM
 - $MnSO_4$ al 10 mM
 - Cu_2SO_4 al 1mM
 - cascara de linaza molida 50 g
3. Posteriormente se adicionan al vaso de precipitados los reactivos que se pesaron. mantener agitación vigorosa hasta que se integren de manera uniforme todos los reactivos.
 4. Agregar ácido sulfúrico al 20%
 5. Por último, se envasa en frasco ámbar de 150mL, con dosificador

6.4.2 Estimulante 2

Para la elaboración del estimulante 2, se sigue el procedimiento siguiente;

1. Vaciar en un vaso de precipitados de 250 mL, 10 mL de agua destilada (medida en una probeta graduada de 100mL) y colocarlo sobre la parrilla eléctrica (calentar a 50°C). agitación de 6 rpm.
2. Pesar en una balanza digital marca æADAM^o
 - $C_7H_6O_3$ al 50 mM
 - Cu_2SO_4 al 1mM
 - NaOH 0.1 g
 - Extracto de levadura al 50 ppm
 - cascara de linaza molida 50 g
3. Disolver primero el ácido salicílico y posteriormente se adiciona al vaso de precipitados. Agregar los reactivos que se pesaron con anterioridad. mantener agitación vigorosamente hasta que se integren de manera uniforme todos los reactivos.
4. Agregar 70 mL de agua destilada al vaso de precipitados.
5. Agregar ácido sulfúrico al 20%
6. Por último, se envasa en frasco ámbar de 150 mL, con dosificador.

6.5 Elaboración de base cáscara de linaza.

Para la elaboración de la cascara de linaza, se molió en un molino comercial de la marca estrella©, 1 kg de semilla de linaza, la cual antes de ser molida paso por un proceso de sanitización.

6.6 Proceso de limpieza de cáscara de linaza.

Para realizar el proceso de limpieza de la cascara de linaza, se depositó en una bandeja de plástico 1 kg de semilla de linaza. Se lava tres veces con agua

destilada, posteriormente se dejó secar por 3 días a temperatura ambiente. Una vez seca la semilla de linaza se procedió a molerla en el molino manual de la marca estrella©.

6.7 Método tradicional francés (Hughes)

El método tradicional que se utiliza en México actualmente es el método francés o Hughes. Este método utiliza como herramientas una laminilla galvanizada, con la cual se realiza una incisión. Un recipiente, el cual tiene como función la recolección de la resina. Este procedimiento inicia cuando se elimina corteza y se talla una cara en forma de "U" invertida, de 10 cm de ancho, una longitud inicial de 10cm y una profundidad de 1,5 cm en la albura, cada 7 días **(Cabrera-Castañeda, 2016)**.

6.7.1 Método americano tradicional

Este método se conoce como Tradicional, cajete, americano primitivo, "box sistema", rústico, sus principales materiales son, hacha o huaca, profunda y larga en forma de hoz. El procedimiento se inicia con una incisión de 2,5 m de altura en la Parte inferior del fuste a más de la mitad del diámetro.

Posteriormente se coloca un recipiente para recolectar la trementina. Este proceso se repite en un periodo Cada 4 o 6 Días **(Cabrera-Castañeda, 2016)**.

6.8 Aplicación del estimulante

Para la realización del ensayo de resinación se tomaron en cuenta 2 técnicas de resinación, la técnica tradicional Hughes y la técnica americana. Para aplicación del estimulante se seleccionaron 15 individuos por estimulante, el procedimiento de la técnica o **Método tradicional Hughes** inicio cuando se eliminó la corteza y se tallo una cara en forma de "U" invertida, de 10 cm de ancho, con una longitud inicial de 10cm y una profundidad de 1,5 cm en la albura, cada 15 días, a 30 cm del suelo. Posterior a esto, se aplica sobre $\frac{3}{4}$ partes de la cara alrededor de 1 mL de la pasta estimulante, esto para que los componentes de la formulación del estimulante interaccionen con los parénquimas o rayos de la cara expuesta. El procedimiento para la técnica o **Método americano tradicional** inicio con la limpieza de la cara del árbol, se quita la corteza hasta una altura de 130cm DAP, se realizó una incisión de 5 cm de altura y 25cm de longitud, en la Parte inferior del fuste con la huaca, a 30 cm del suelo, se colocó una bolsa para recolectar la trementina. De inmediato se aplicó el estimulante en forma de pasta al dibujar una línea recta de aproximadamente 1 mL a lo largo del corte, por último, se repite el procedimiento cada 15 días durante 1 mes.

6.9 Método de destilación laboratorio

Para la destilación de la resina, se colocan 100g de oleorresina en un matraz balón de 250 mL, el cual se conecta a través de un condensador, a un vaso de

precipitados de 250 mL. Finalmente, se destila la muestra al controlar la temperatura no mayor a 167°C. Posterior a la destilación se continúa con la evaluación de los parámetros de calidad para colofonia y aguarrás. Las determinaciones de calidad se realizan por triplicado de acuerdo con las normas internacionales ASTM para las siguientes determinaciones: índice de acidez, número de ácido y color Gardner. **(Corredor, 2013)**

7. PRUEBAS DE CALIDAD DE LA BREA

Las pruebas de calidad de la brea se realizaron en relación a las normas **ASTM E28-92**, para la determinación del punto de ablandamiento, **ASTM D1544** para la determinación de color Gardner, así como también para la determinación del número de ácido **ASTM D 974**.

7.1 Punto de ablandamiento

Dicha metodología está basada en la norma **ASTM E28-92**, este método abarca la determinación del punto de ablandamiento de resinas sólidas, breas y materiales sólidos, se usa el aparato de bola y anillo. En este método el punto de ablandamiento se define por la temperatura a la cual un disco de muestra dentro de un anillo horizontal, desciende de una distancia de 2.54 cm, con el peso de un balín de acero, cuando la muestra es calentada a una velocidad de 5°C/min, en un baño de agua o glicerina **(ASTM-E28, 2018)**.

7.2 Índice de acidez (número de ácido)

Este procedimiento se utilizó la norma **ASTM D 974** para determinar el índice de acidez o número de ácido de colofonias, resinas y materiales relativos se utiliza el método de indicador interno. El procedimiento inicia al pesar 0.5g de muestra con precisión de 0.01g, en un vaso de precipitados de 100 o 150 mL (procurar que toda la muestra se deposite en el fondo del vaso) y adicionar de 25 a 50 mL de solvente neutro. Si la muestra es resina solida triturarla previamente. Si es necesario, disolver la muestra en el solvente. Aplicar calentamiento suave y agitación manual para homogenizar, posteriormente enfriar la solución a temperatura ambiente. A continuación, titular la solución con la muestra, y adicionar con la bureta la solución de KOH de título 0.1N, procure una velocidad de titulación hasta la aparición de una tonalidad rosa tenue **(ASTM-D974, 2014)**.

7.3 Color Gardner

La escala de colores Gardner, como se especifica en la norma **ASTM D1544**, es una escala de colores de un solo número para clasificar la transmisión de luz. Las muestras de escala tienen características de color que van desde amarillo claro a rojo parduzco. se utiliza para aceites, pinturas y productos

químicos, como resinas, barnices, lacas, aceites de secado, ácidos grasos, lecitina, aceite de girasol, aceite de linaza. La escala se define por las cromaticidades de los estándares de vidrio numerados de 1 para los más claros y 18 para los más oscuros. La muestra se vierte en un tubo de ensayo de 10,65 mm de diámetro y se coloca en el orificio de la muestra y se realiza la comparación. La muestra es vista a través de un prisma que lleva la muestra y los estándares de color a los campos de visión adyacentes. Los dos discos que contienen los estándares de color se giran al rodar las perillas de control en la parte frontal del comparador hasta que el color de la muestra se encuentra entre dos estándares que se separan por una unidad de color Gardner, o hasta que coincida exactamente con uno de las normas. La lectura dada directamente como color Gardner se toma de la escala en los mandos de control (**ASTM-D1544, 2004**).

8. ÍNDICE DE REFRACCIÓN

El índice de refracción se define como la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción del haz de luz al pasar de un medio a otros de diferente densidad (**Asociados, 2008**). A las muestras de aguarrás obtenidas por destilación, se les realizó la determinación del índice de refracción, al colocar solo una gota de aguarrás en el refractómetro digital, da un índice de refracción en promedio de 1.4564.

9. RESULTADOS

Como resultado de la formulación y trabajo de investigación se obtuvieron una serie de datos acerca de la producción de resina de pino en un periodo de 30 días. Dichos datos se describen en dos métodos, el **americano** y el **tradicional**, al contar cada uno con 15 individuos de la especie *Pseudostrobus* que se seleccionan de acuerdo con criterios de edad, altura y diámetro no mayor a 30 cm. Se procesan los datos mediante el paquete estadístico **SAS-stat, edición 9.4 versión libre para estudiantes**.

9.1 Producción general de resina de pino.

Individuo	Tratamiento	Altura (m)	Diametro (cm)	Edad (Años)	Coordenadas	Peso Resina 30 Días (g)	Orientación de la cara
1	he2	10	28	28	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	92.6	NE
2	he2	12	24	22	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	76.4	NE
3	he2	14	20	19	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	130	NE
4	he2	14	26	23	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	113.8	NE
5	he2	16	22	20	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	42.6	NE
6	he2	15	25	24	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	24.4	NE
7	he2	15	20	20	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	127.4	NE
8	he2	17	23	22	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	136.8	NE
9	he2	12	27	25	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	109.8	NE
10	he2	19	21	19	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	15.6	NE
11	he2	14	20	20	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	74.8	NE
12	he2	15	25	25	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	134.6	NE
13	he2	16	23	23	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.3"	38.2	NE
14	he2	10	21	21	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.2"	21.4	NE
15	he2	19	19	18	19° 38' 11.8" -101° 48' 12.3"	52.6	NE
1	he1	14	29	30	19° 38' 10.1" -101° 48' 15.1"	59.8	NE
2	he1	15	27	26	19° 38' 10.4" -101° 48' 13.5"	35.8	NE
3	he1	10	27	24	19° 38' 10.5" -101° 48' 13.9"	113.4	NE
4	he1	16	32	33	19° 38' 10.7" -101° 48' 13.9"	70.8	NE
5	he1	14	39	40	19° 38' 10.7" -101° 48' 13.9"	128.4	N
6	he1	14	21	21	19° 38' 10.4" -101° 48' 13.9"	140.2	N
7	he1	18	33	31	19° 38' 10.0" -101° 48' 14.3"	93.2	N
8	he1	15	19	20	19° 38' 10.1" -101° 48' 14.3"	27.2	N
9	he1	13	29	28	19° 38' 10.3" -101° 48' 14.4"	28.6	N
10	he1	13	22	22	19° 38' 10.9" -101° 48' 14.6"	154.6	NE
11	he1	6	23	21	19° 38' 10.0" -101° 48' 14.7"	60.2	NE
12	he1	13	23	22	19° 38' 10.1" -101° 48' 14.8"	116.4	NE
13	he1	16	25	25	19° 38' 10.1" -101° 48' 15.0"	51.4	NO
14	he1	17	21	22	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.0"	63.4	NO
15	he1	16	25	26	19° 38' 10.8" -101° 48' 15.1"	43.8	NO
1	hc1	16	20	20	19° 38' 12.6" -101° 48' 12.3"	33.8	NO
2	hc1	12	39	37	19° 38' 11.7" -101° 48' 13.4"	128.6	NO

Individuo	Tratamiento	Altura (m)	Diametro (cm)	Edad (Años)	Coordenadas	Peso Resina 30 Días (g)	Orientación de la cara
3	hc1	12	37	35	19° 38' 11.3" -101° 48' 11.6"	63	NO
4	hc1	17	33	33	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.2"	41.6	NO
5	hc1	16	36	36	19° 38' 10.7" -101° 48' 15.8"	106	NO
6	hc1	14	33	31	19° 38' 11.0" -101° 48' 16.2"	35.2	NO
7	hc1	17	32	31	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.7"	51.8	NO
8	hc1	11	25	24	19° 38' 11.2" -101° 48' 15.8"	325.8	NE
9	hc1	17	39	39	19° 38' 10.5" -101° 48' 15.6"	368.8	NE
10	hc1	7	20	20	19° 38' 11.4" -101° 48' 13.6"	137.8	NE
11	hc1	13	38	39	19° 38' 12.3" -101° 48' 12.1"	74.8	NE
12	hc1	12	37	35	19° 38' 12.1" -101° 48' 12.8"	60.8	NE
13	hc1	14	33	30	19° 38' 11.5" -101° 48' 12.8"	12.8	NE
14	hc1	12	39	39	19° 38' 11.7" -101° 48' 13.1"	197.2	NE
15	hc1	14	24	23	19° 38' 11.7" -101° 48' 12.6"	71.2	NE
1	hc2	17	22	22	19° 38' 12" -101° 48' 11.8"	64.2	NE
2	hc2	17	39	41	19° 38' 11.8" -101° 48' 11.7"	26.6	NE
3	hc2	14	31	30	19° 38' 11.3" -101° 48' 12.6"	8.8	NE
4	hc2	13	21	21	19° 38' 11.9" -101° 48' 12.8"	46.2	NE
5	hc2	11	28	26	19° 38' 10.8" -101° 48' 13.8"	47	NE
6	hc2	7	19	18	19° 38' 10.8" -101° 48' 14.7"	49.4	NE
7	hc2	15	43	42	19° 38' 11.3" -101° 48' 16.5"	72.4	NE
8	hc2	6	27	27	19° 38' 11.3" -101° 48' 15.6"	41.8	NE
9	hc2	9	21	22	19° 38' 11.5" -101° 48' 15.7"	2.6	NE
10	hc2	6	25	25	19° 38' 11.0" -101° 48' 15.6"	3.8	NE
11	hc2	13	22	21	19° 38' 11.0" -101° 48' 15.6"	26.6	NE
12	hc2	9	22	20	19° 38' 11.1" -101° 48' 15.2"	76.2	NE
13	hc2	8	21	20	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.2"	19.8	NE
14	hc2	8	22	23	19° 38' 11.2" -101° 48' 15.4"	20.2	NE
15	hc2	15	21	21	19° 38' 11.2" -101° 48' 15.4"	10.2	NE
1	ae1	12	23	23	19° 38' 10.6" -101° 48' 14.2"	181.4	NE
2	ae1	10	23	22	19° 38' 10.4" -101° 48' 13.7"	84	NE
3	ae1	17	31	32	19° 38' 10.5" -101° 48' 13.6"	186	NE
4	ae1	17	35	35	19° 38' 10.3" -101° 48' 14"	112.3	NE
5	ae1	17	31	30	19° 38' 10.3" -101° 48' 14.2"	111	NE
6	ae1	20	30	30	19° 38' 11.6" -101° 48' 12"	65.6	NE
7	ae1	20	19	18	19° 38' 11.4" -101° 48' 11.9"	61.5	NE
8	ae1	14	19	17	19° 38' 11.3" -101° 48' 12.4"	207.5	NE
9	ae1	6	23	22	19° 38' 10.5" -101° 48' 14.0"	53.3	NE
10	ae1	11	23	25	19° 38' 10.4" -101° 48' 14.1"	41.8	NE
11	ae1	18	36	36	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.2"	62.7	NE
12	ae1	18	29	30	19° 38' 10.3" -101° 48' 14.3"	231.2	NE
13	ae1	13	19	19	19° 38' 14.0" -101° 48' 14.5"	62.9	NE
14	ae1	15	22	22	19° 38' 10.0" -101° 48' 14.6"	56	NE
15	ae1	12	23	22	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	149.8	NE
1	ae2	13	22	22	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	63.6	NE
2	ae2	12	22	21	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	112.8	NE

Individuo	Tratamiento	Altura (m)	Diámetro (cm)	Edad (Años)	Coordenadas	Peso Resina 30 Días (g)	Orientación de la cara
4	ae2	14	21	21	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	26.4	NE
5	ae2	14	20	20	20° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	111.2	NE
6	ae2	9	21	20	21° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	50.8	NE
7	ae2	8	21	21	22° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	97.5	NE
8	ae2	16	18	19	19° 38' 10.1" -101° 48' 14.8"	153.3	NE
9	ae2	12	22	22	19° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	61.9	NE
10	ae2	18	22	21	20° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	96.8	NE
11	ae2	18	20.5	20	21° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	146.3	NE
12	ae2	18	21	21	22° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	117	NE
13	ae2	16	20	20	23° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	113.7	NE
14	ae2	18	21	21	24° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	89.4	NE
15	ae2	16	22	22	25° 38' 10.2" -101° 48' 14.8"	104.8	NE
1	ac1	17	18	18	19° 38' 11.7" -101° 48' 12.2"	35.7	NE
2	ac1	16	21	21	19° 38' 11.6" -101° 48' 12.4"	60.3	NE
3	ac1	12	25	25	19° 38' 11.7" -101° 48' 12.7"	31	NE
4	ac1	16	19	19	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.2"	29.5	SE
5	ac1	20	35	35	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.1"	21.8	SE
6	ac1	18	39	38	19° 38' 10.5" -101° 48' 15.5"	116.9	SE
7	ac1	13	21	20	19° 38' 10.8" -101° 48' 15.8"	38.8	SE
8	ac1	17	29	30	19° 38' 10.9" -101° 48' 16.1"	39	SE
9	ac1	10	22	21	19° 38' 11.5" -101° 48' 16.2"	78.4	SE
10	ac1	16	31	31	19° 38' 10.4" -101° 48' 15.4"	132.8	SE
11	ac1	10	26	26	19° 38' 10.8" -101° 48' 16.3"	105.2	SE
12	ac1	11	20	19	19° 38' 11.2" -101° 48' 15.7"	54.1	SE
13	ac1	11	23	22	19° 38' 11.0" -101° 48' 15.0"	55.8	SE
14	ac1	11	21	23	19° 38' 11.4" -101° 48' 15.9"	124.4	SE
15	ac1	15	26	27	19° 38' 11.0" -101° 48' 16.1"	45.3	SE
1	ac2	20	19	20	19° 38' 11.8" -101° 48' 12.2"	31.9	SE
2	ac2	18	22	21	19° 38' 11.8" -101° 48' 12.4"	43.5	SE
3	ac2	17	25	25	19° 38' 11.7" -101° 48' 12.4"	45.4	SE
4	ac2	20	22	22	19° 38' 11.7" -101° 48' 12.4"	61.1	SE
5	ac2	17	18	19	19° 38' 11.6" -101° 48' 12.5"	118.8	SE
6	ac2	19	30	30	19° 38' 11.5" -101° 48' 12.3"	78.8	SE
7	ac2	15	16	17	19° 38' 11.1" -101° 48' 12.4"	8.2	SE
8	ac2	14	24	23	19° 38' 10.8" -101° 48' 15.3"	28	SE
9	ac2	10	20	20	19° 38' 10.7" -101° 48' 15.5"	40.5	SE
10	ac2	10	17	18	19° 38' 10.0" -101° 48' 15.4"	62	SE
11	ac2	15	25	25	19° 38' 10.9" -101° 48' 15.8"	45.4	SE
12	ac2	16	28	28	19° 38' 11.0" -101° 48' 16.2"	33.8	SE
13	ac2	10	25	26	19° 38' 11.1" -101° 48' 16.2"	92.3	SE
14	ac2	13	22	21	19° 38' 11.1" -101° 48' 16.1"	10.2	SE
15	ac2	10	20	21	19° 38' 11.4" -101° 48' 16.2"	116.1	SE

Tabla 1 Datos de recolección de resina de 15 individuos de *Pinus pseudostrobus* en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de Bio-estimulante de bajo riesgo, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán.

9.2 Estadística descriptiva de producción de resina total.

tratamiento	mrend	erend	mirend	marend	srend	cvrend	nrend
HC2	202.691	18.3508	116.6	329.8	71.072	35.0645	15
HC1	167.600	17.3639	65.6	268.4	67.250	40.1254	15
HE1	174.147	16.2573	73.2	275.4	62.964	36.1559	15
HE2	93.847	14.2391	32.2	264.4	55.148	58.7637	15
AC2	206.073	28.0048	70.0	458.4	108.462	52.6327	15
AC1	212.640	20.6745	107.8	401.6	80.072	37.6560	15
AE1	149.240	15.4909	53.8	265.6	59.996	40.2009	15
AE2	109.547	17.3796	20.4	237.6	67.311	61.4450	15

Tabla 2 Estadística descriptiva de rendimiento general de resina en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de Bio-estimulante de bajo riesgo, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza); mrend, erend, mirend, marend, srend, cvrend, nrend: promedio, error estándar, mínimo, máximo, desviación estándar, coeficiente de variación y número de observaciones del rendimiento de resina, respectivamente.

9.3 Análisis de varianza de producción de resina total.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	7	207774.3145	29682.0449	5.54	<.0001
Error	112	600395.9716	5360.6783		
Total, corregido	119	808170.2861			

Tabla 3 Análisis de varianza de producción de resina total, en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de estimulante de bajo riesgo, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán.

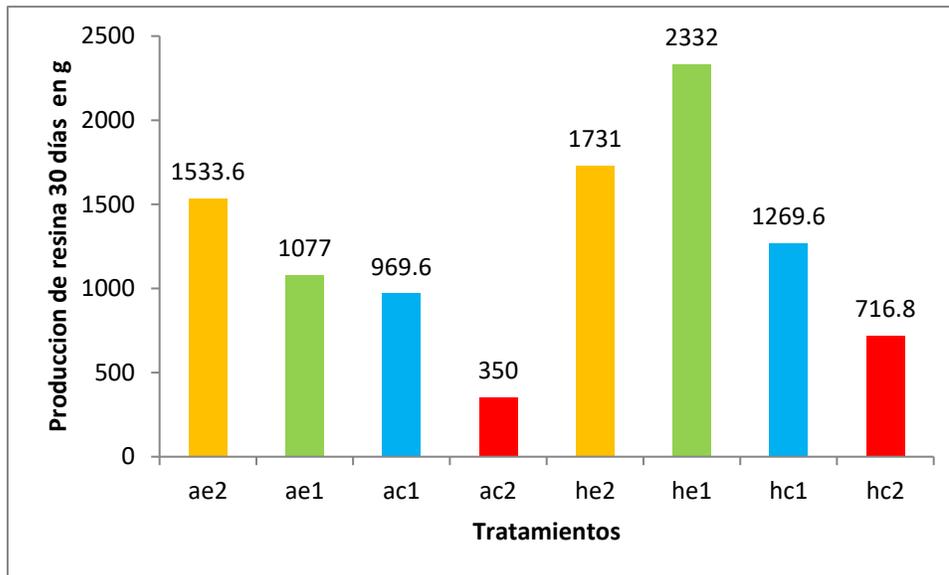


Gráfico 1 Producción de resina de pino en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.3.1 Prueba de Tukey para producción de resina total.

Tukey Agrupamiento		Media	N	tratamiento
A		212.64	15	AE2
A		206.07	15	AE1
A		202.69	15	HE1
B	A	174.15	15	HC1
B	A	167.60	15	HE2
B	A	149.24	15	AC1
B		109.55	15	AC2
B		93.85	15	HC2

Tabla 4 Prueba de Tukey para la producción de resina total en 30 días de resinación, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

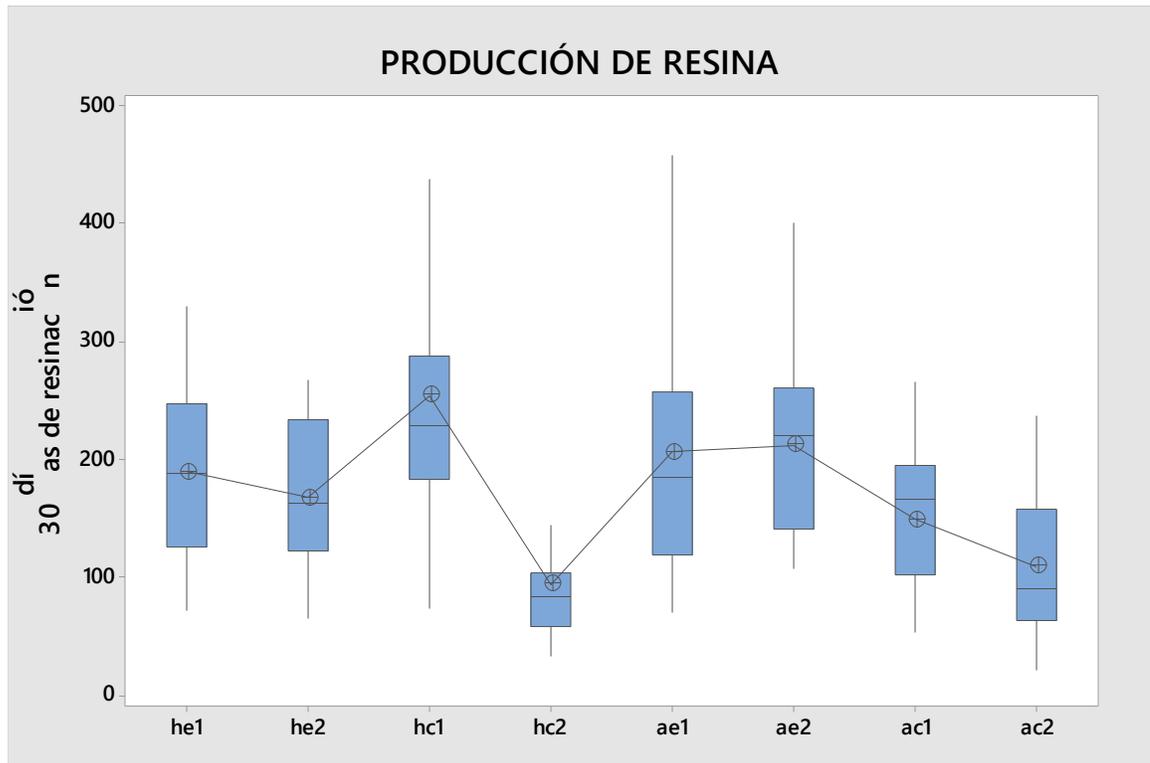


Gráfico 2 Grafica de caja de producción de resina total de pino en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americana; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

En la gráfica de caja número dos, se muestra la producción de resina total en treinta días de resinación. Se aprecia una diferencia entre el testigo, de las dos técnicas con respecto a los estimulantes 1, y 2. El estimulante que produce mayor cantidad de resina es el estimulante 1, en las técnicas americana y técnica francesa. El estimulante 2, en las técnicas americana y técnica francesa, también incrementa el rendimiento de resina. Las diferencias de producción de resina entre el estimulante 1 y el 2, son mínimas, destacando el estimulante 2.

9.4 Fase de purificación.

La resina purificada bajo esta formulación, fue deficiente. Presentó una apariencia dura y seca, por lo cual se procedió a realizar un ajuste en la formulación para purificar. Se llevo al doble de cada uno de los compuestos, a excepción de resina de pino. Los resultados mejoraron significativamente al tener en cuenta que la cantidad de ácido oxálico puede aumentar si la oleoresina presenta muchos elementos contaminantes. Sin embargo, disminuir la cantidad de meta bisulfito acorta el tiempo de reposo de la oleoresina.

formulación utilizada:

- 56 mL aguarrás
- 0.20 g de ácido oxálico.
- 0.5 g de Meta bisulfito
- 30 mL de agua destilada.
- 350g de resina de pino.



Figura 11 Diferencias en la purificación. Del lado derecho se observa la primera formulación y del lado izquierdo se aprecian los resultados de la nueva formulación.

9.5 Fase de destilación.

De esta fase, se tomaron 100 g de resina purificada con anterioridad, se colocaron en un matraz de bola de doble boca. Se destilo la resina por un periodo de tiempo de 2h 30min, obteniéndose dos principales componentes, la brea y el aguarrás.

Algunos de los datos de rendimiento se presentan a continuación:

Tratamiento	Producción (g)
AC1	75.3
AC1	78.7
AC1	65.5
AC2	47.0
AC2	38.9
AC2	50.2
AE1	59.7
AE1	71.1
AE1	81.4
AE2	77.3
AE2	63.5
AE2	62.9
HC1	70.7
HC1	58.9
HC1	70.2
HC2	65.7
HC2	50.9
HC2	76.8
HE1	62.6
HE1	70.6
HE1	72.7
HE2	51.7
HE2	62.8
HE2	77.2

Tabla 5 Datos generales de rendimiento de brea en 30 días de resinación, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las muestras se procesaron por triplicado. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.5.1 Producción de brea

Tratamiento	mrend	erend	mirend	marend	srend	cvrend	nrend
AC1	59.8633	2.99483	55.3394	65.5249	5.18719	8.6651	3
AC2	57.3944	0.80015	56.2433	58.9327	1.38589	2.4147	3
AE1	74.1157	2.8172	71.1408	79.7471	4.87953	6.5837	3
AE2	74.614	1.38153	72.9391	77.3546	2.39287	3.207	3
HC1	57.8102	4.29447	50.9267	65.7006	7.43825	12.8667	3
HC2	66.6554	3.86456	58.9327	70.7901	6.69361	10.0421	3
HE1	72.0348	0.66855	70.6982	72.7337	1.15796	1.6075	3
HE2	60.6199	1.72477	57.2329	62.8796	2.98739	4.9281	3

Tabla 6 Estadística descriptiva de brea en 30 días de resinación, aplicados en *Pinus pseudostrabus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza); mrend, erend, mirend, marend, srend, cvrend, nrend: promedio, error estándar, mínimo, máximo, desviación estándar, coeficiente de variación y número de observaciones del rendimiento de resina, respectivamente.

9.5.2 Análisis de varianza de producción de brea.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	7	1144.973755	163.567679	7.75	0.0004
Error	16	337.521437	21.09509		
Total, corregido	23	1482.495192			

Tabla 7 Análisis de varianza de brea en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de Bio-estimulante de bajo riesgo, aplicados en *Pinus pseudostrabus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán.

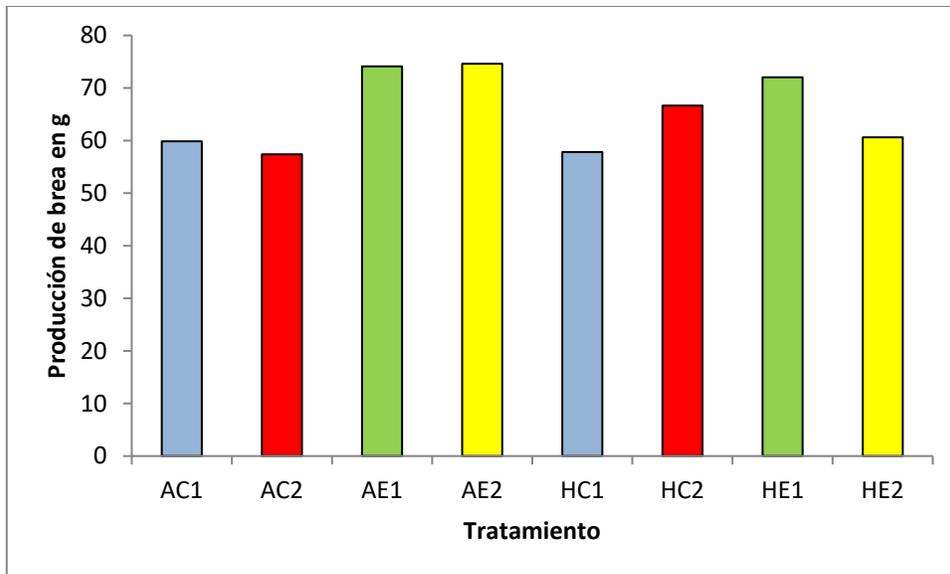


Gráfico 3 Producción de brea en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrabus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

9.5.2.1 Prueba de Tukey para producción de brea.

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, con P≤0.05			
Tukey Agrupamiento		Media	N trat
	A	74.614	3 AE2
	A	74.116	3 AE1
B	A	72.035	3 HE1
B	A	C	66.655 3 HC2
B		C	60.62 3 HE2
B		C	59.863 3 AC1
		C	57.81 3 HC1
		C	57.394 3 AC2

Tabla 8 Prueba de Tukey para la producción de brea, en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrabus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

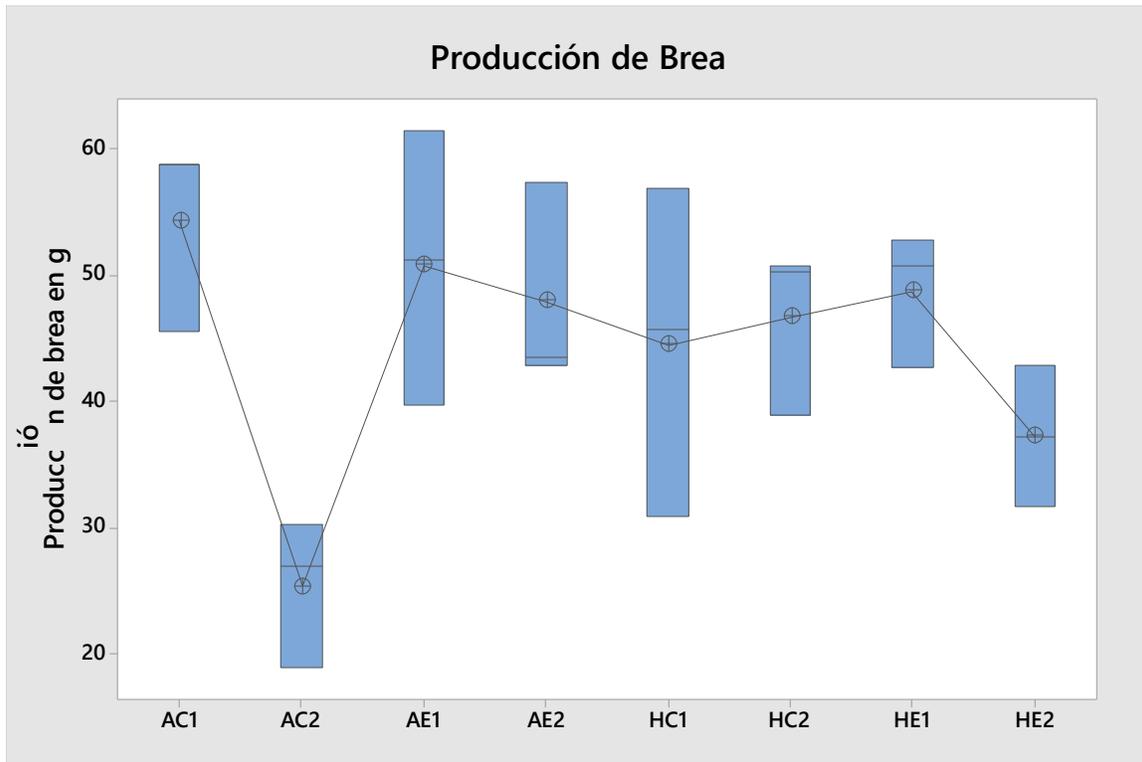


Gráfico 4 Gráfica de caja de producción de brea en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrabus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

En el Gráfico número (4), podemos apreciar una distribución por tratamientos en la cual, existe una notable diferencia de producción de brea en gramos, entre el testigo, tanto de la técnica tradicional francesa como la americana. Sin embargo, también existe diferencia entre la producción de brea del control número 1 de la técnica americana en comparación con la técnica tradicional francesa. Por otro lado, el estimulante 1 en las 2 técnicas induce un mayor rendimiento en comparación con la de los controles número 1 y número 2.

9.5.3 Producción de aguarrás.

Tratamiento	Rendimiento (mL)
AC1	26(mL)
AC1	14(mL)
AC1	12(mL)
AC2	32(mL)
AC2	24(mL)
AC2	34(mL)
AE1	39(mL)
AE1	38(mL)
AE1	39(mL)
AE2	26(mL)
AE2	29(mL)
AE2	27(mL)
HC1	25(mL)
HC1	43(mL)
HC2	37(mL)
HC2	32(mL)
HC2	34(mL)
HE1	39(mL)
HE1	45(mL)
HE1	40(mL)
HE2	28(mL)
HE2	27(mL)
HE2	23(mL)

Tabla 9 Producción de aguarrás de todos los tratamientos en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las muestras se procesaron por triplicado. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

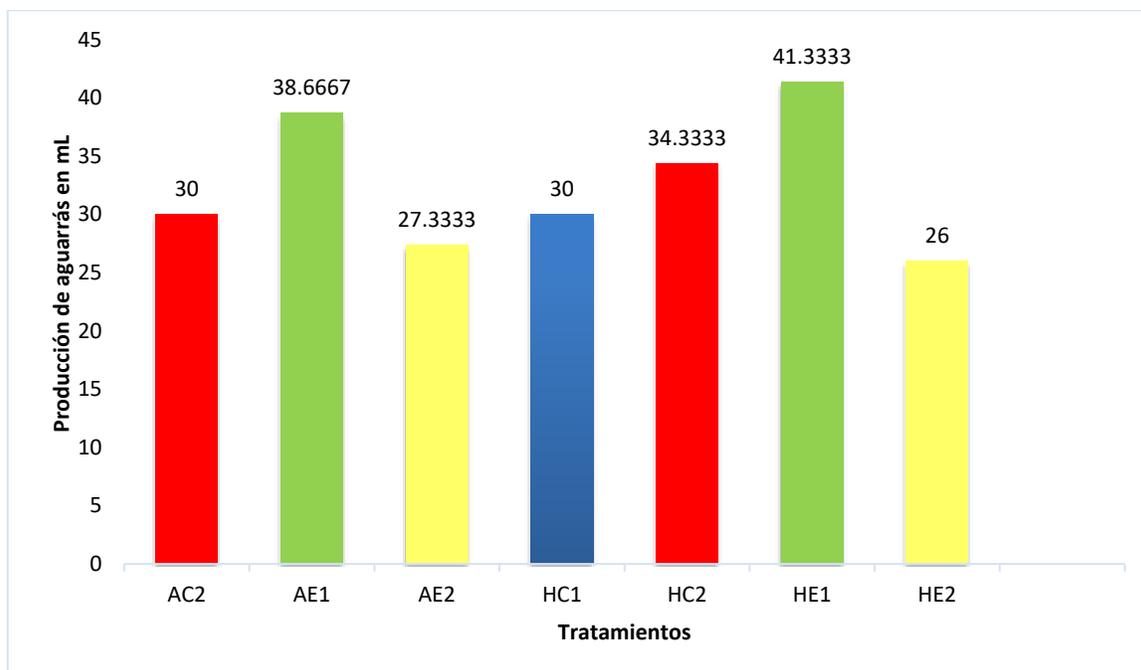


Gráfico 5 Producción de aguarrás en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

Tratamiento	mrend	erend	mirend	marend	srend	cvrend	nrend
AC1	17.3333	4.37163	12	26	7.5719	43.6839	3
AC2	30.0000	3.05505	24	34	5.2915	17.6383	3
AE1	38.6667	0.33333	38	39	0.5774	1.4931	3
AE2	27.3333	0.88192	26	29	1.5275	5.5885	3
HC1	30.0000	6.55744	22	43	11.3578	37.8594	3
HC2	34.3333	1.45297	32	37	2.5166	7.3299	3
HE1	41.3333	1.85592	39	45	3.2146	7.7771	3
HE2	26.0000	1.52753	23	28	2.6458	10.1760	3

Tabla 10 Estadística descriptiva de aguarrás en 30 días de resinación, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán..Trat=tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza); mrend, erend, mirend, marend, srend, cvrend, nrend: promedio, error estándar, mínimo, máximo, desviación estándar, coeficiente de variación y número de observaciones del rendimiento de resina, respectivamente.

9.5.3.1 Análisis de varianza de producción de aguarrás.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	7	1208.291667	172.613095	5.74	0.0019
Error	16	481.333333	30.083333		
Total, corregido	23	1689.625000			

Tabla 11 Análisis de varianza aguarrás en 30 días de resinación, con ocho tratamientos basados en dos métodos de resinación (Hughes y Americano) y dos tipos de Bio-estimulante de bajo riesgo, aplicados en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán.

9.5.3.2 Prueba de Tukey para producción de aguarrás.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Trat
A	41.333	3	HE1
A	38.667	3	AE1
A	34.333	3	HC2
B A	30.000	3	HC1
B A	30.000	3	HE2
B A	27.333	3	AE2
B A	26.000	3	AC2
B	17.333	3	AC1

Tabla 12 Prueba de Tukey para la producción total de aguarrás en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

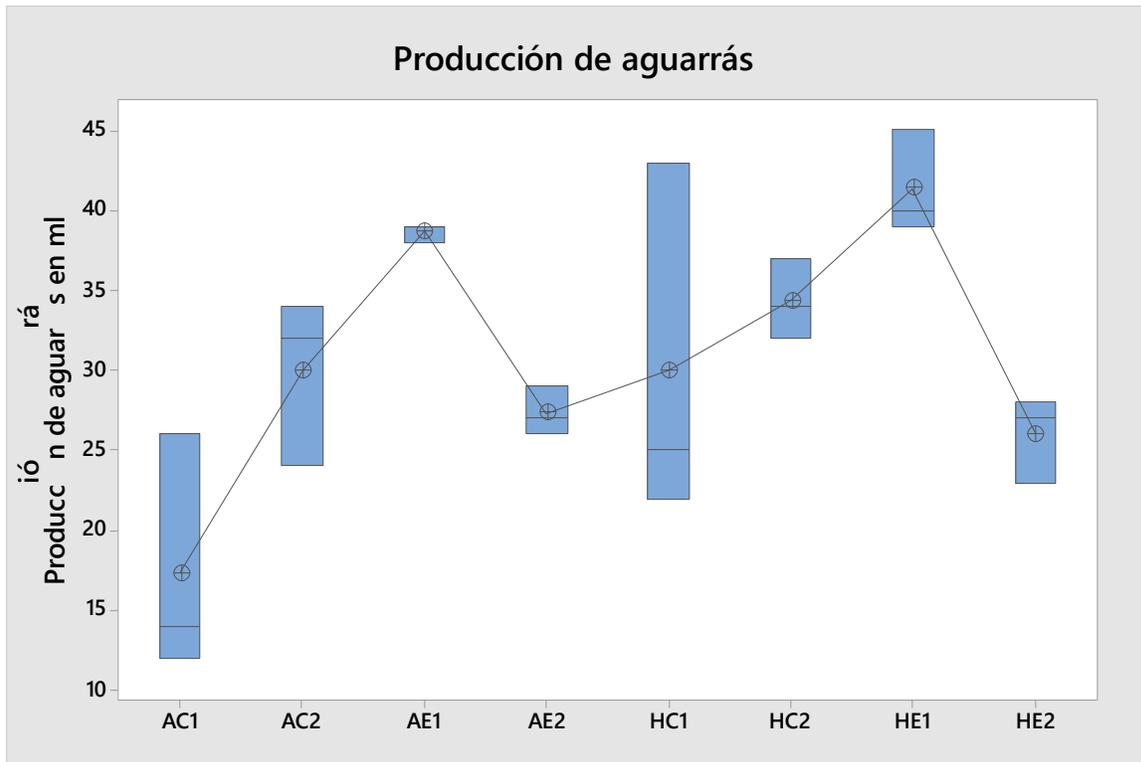


Gráfico 6 Producción total de aguarrás en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H_2SO_4 al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe_4SO_4 - K_2SO_4 - $MnSO_4$ - Cu_2SO_4 - cáscara de linaza, e2: mezcla de $C_7H_6O_3$ - Cu_2SO_4 - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

Lo que se aprecia en el Gráfico número (6), corresponde a la producción de aguarrás que se distribuye por tratamientos. Existe una diferencia dentro de las mismas técnicas para el control 1, produciéndose mayor cantidad de aguarrás en la técnica tradicional francesa para el control 1. Sin embargo, el que presenta mayor producción entre tratamientos es el estimulante 1, tanto de la técnica tradicional francesa como de la técnica americana.

9.6 Fase de caracterización

Posterior a la fase de destilación obtenemos dos principales componentes, la brea y el aguarrás. La fase de caracterización consiste en realizar las pruebas de calidad para la brea como son: Ring and Ball, Color Gardner y Número de ácido, mientras que para el aguarrás se realizan las pruebas de índice de refracción.

9.6.1 Pruebas de calidad de la brea

Posterior a la destilación de la oleoresina de pino purificada, se obtiene una muestra por triplicado de la fase sólida conocida como brea, a la cual se le realizaron las pruebas de calidad de acuerdo a las normas ASTM. Con base a estos resultados se clasifica de acuerdo a estándares internacionales como se muestran a continuación:

9.6.2 Ring and Ball

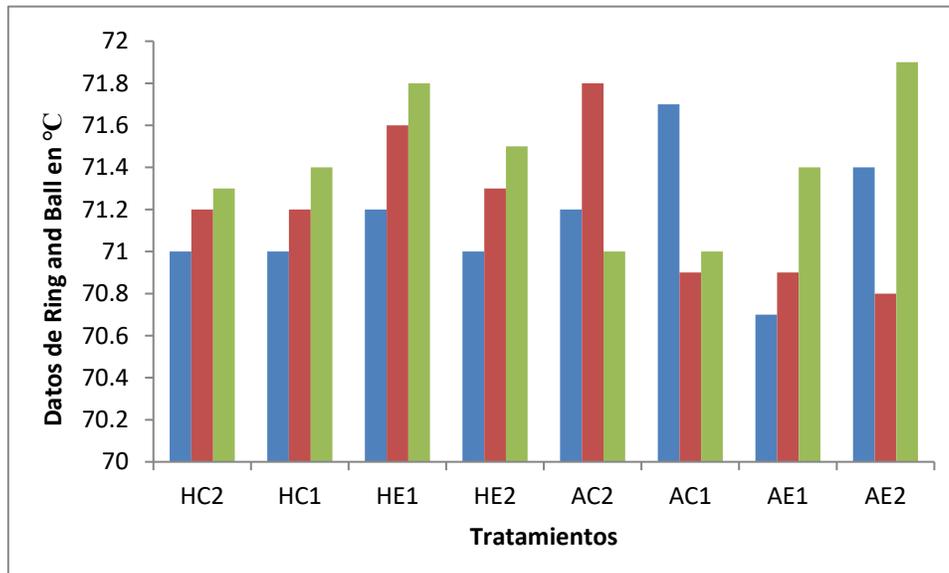


Gráfico 7 Datos de Ring and Ball en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado; los datos se expresan en grados centígrados. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

9.6.2.1 Gráfica de caja de punto de ablandamiento (ring and ball).

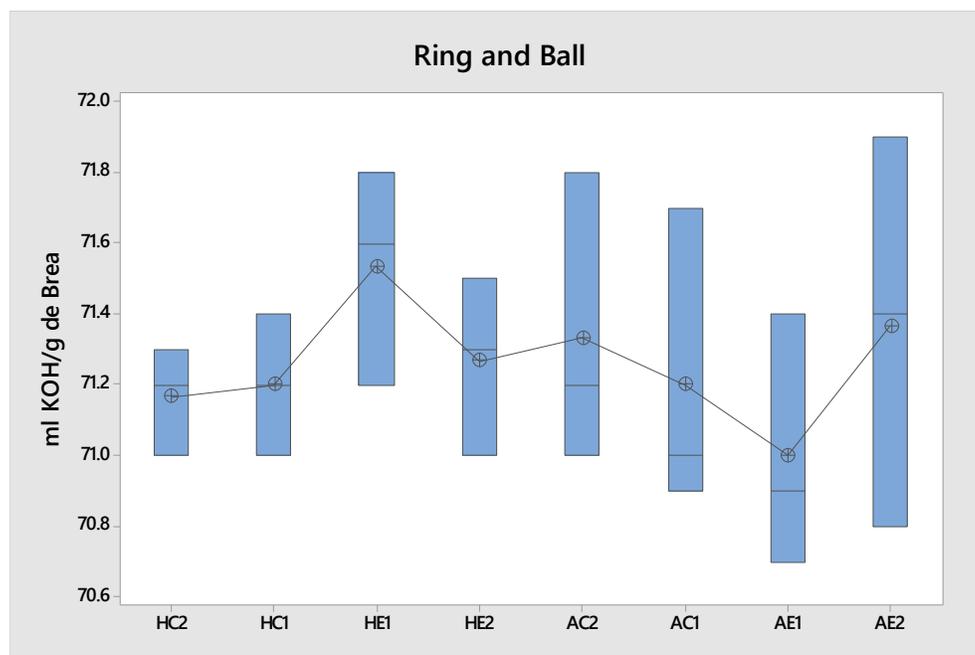


Gráfico 8 Gráfica de caja de Ring and Ball en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

9.6.3 Número de ácido.

Tratamiento	Muestra 1 mL KOH/g	Muestra 2 mL KOH/g	Muestra 3 mL KOH/g	Promedio
HC2	155.55	156.66	155.67	155.9
AC2	156.33	156.21	156.99	156.51
HC1	152.77	150.55	154.99	152.77
AC1	154.99	150.55	150.33	151.95
HE1	146.33	146.66	146.06	146.3
AE1	158.55	158.33	155.92	157.6
HE2	143.66	143.33	143.74	143.57
AE2	147.21	147.10	147.51	147.27

Tabla 13 Número de ácido de las muestras de brea, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado; los datos se expresan en grados centígrados. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza.

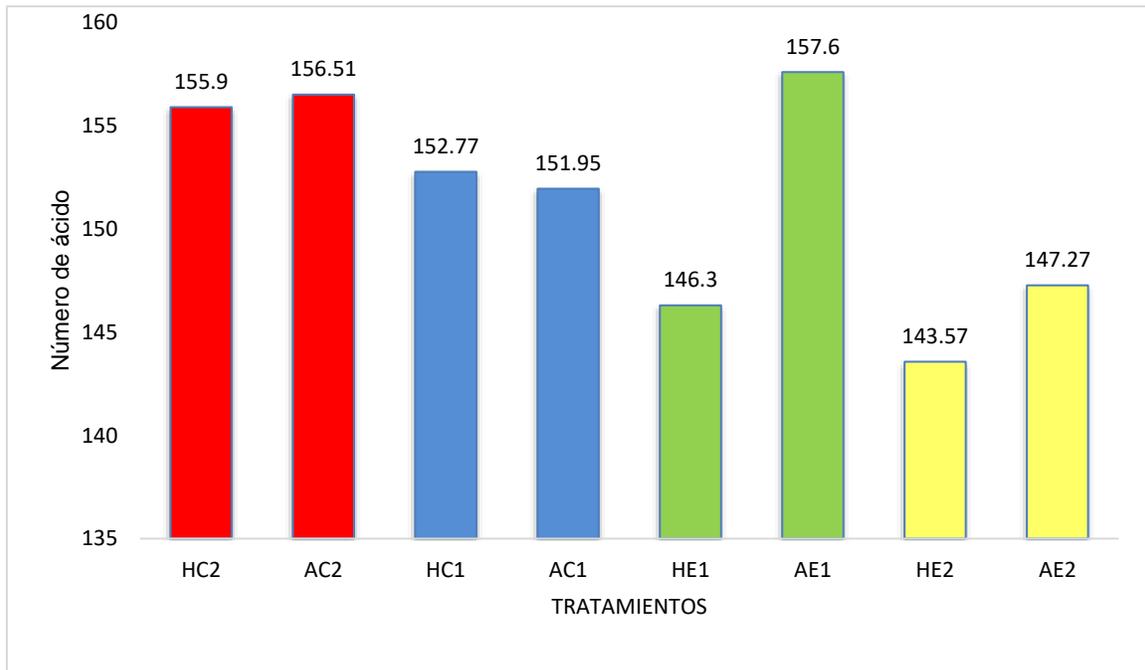


Gráfico 9 Datos promedio de número de ácido en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado; los datos se expresan en mL KOH/g brea. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

Lo que se muestra en la gráfica número (9), son los resultados que se obtienen del número de ácido, que se realizó a la brea fraccionada por destilación de arrastre de vapor, en laboratorio. Esta prueba permite saber la cantidad total de ácido libre que hay en la brea. El número de ácido es una prueba de gran utilidad para la industria de la brea y sus derivados. Se utilizan en la elaboración de diversos productos cosméticos, para el cuidado de la piel, en la industria del calzado, en la industria alimentaria, también para la fabricación de colorantes, saborizantes, gomas etc.

Stubbs et al., (1984).

El índice de acidez es una propiedad importante de los productos químicos del pino, como el aceite de resina, y los productos que se obtienen por el fraccionamiento de aceite de resina. Es el método de prueba ampliamente utilizado para determinar la cantidad total de ácido libre de estos productos (D465-15 2020, 2020).

9.6.3.1 Gráfica de caja de número de ácido.

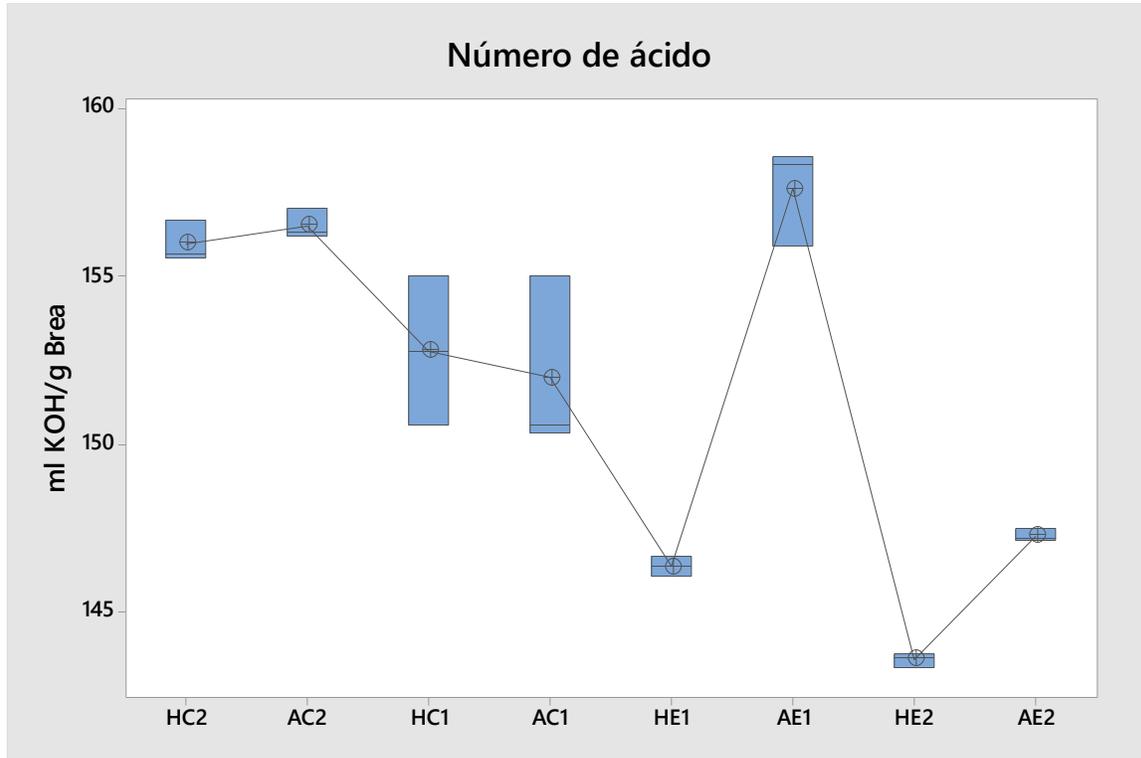


Gráfico 10 Número de ácido en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado; los datos se expresan en mL KOH/g brea. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH - levadura - cáscara de linaza).

Lo que se muestra en la gráfica de caja número (10), corresponde al número de ácido de la brea agrupada por tratamientos. Observamos una ligera diferencia entre técnicas, en los controles, y una diferencia poco marcada en los estimulantes 1, tanto de la técnica americana, como en la tradicional francesa. Así mismo, se observa la misma diferencia entre los estimulantes 2 de la técnica americana ya que modifica en

menor cantidad el número de ácido total, pero respeta los estándares que se mencionan en la norma **ASTM D465** para las muestras obtenidas por fraccionamiento de la oleorresina. La brea de *Pinus pseudostrobus* mantiene el número de ácido tanto en la técnica americana como en la tradicional francesa, en comparación con los resultados que se obtienen por la industria CEDROSA S.A. de C.V., clasificándola como '**acidez media**' (CEDROSA, 2020).

9.6.4 Color Gardner

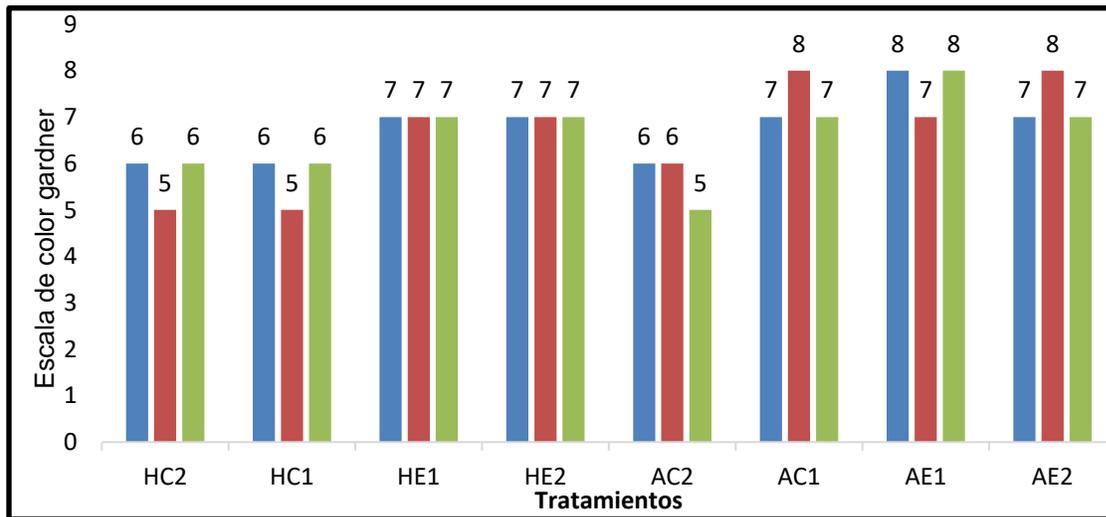


Gráfico 11 Color Gardner Número de color Gardner en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado.

La escala de color Gardner ayuda a clasificar las resinas de acuerdo al color expresado en unidades Gardner. Los colores van desde los tonos claros hasta los tonos más oscuros. El color de la brea está relacionado con el uso de la misma, por la industria. Las breas más claras se usan para la industria alimenticia, mientras que las más oscuras se usan para la fabricación de ceras, barnices y pinturas para el calzado.

9.6.4.1 Gráfica de caja de color Gardner.

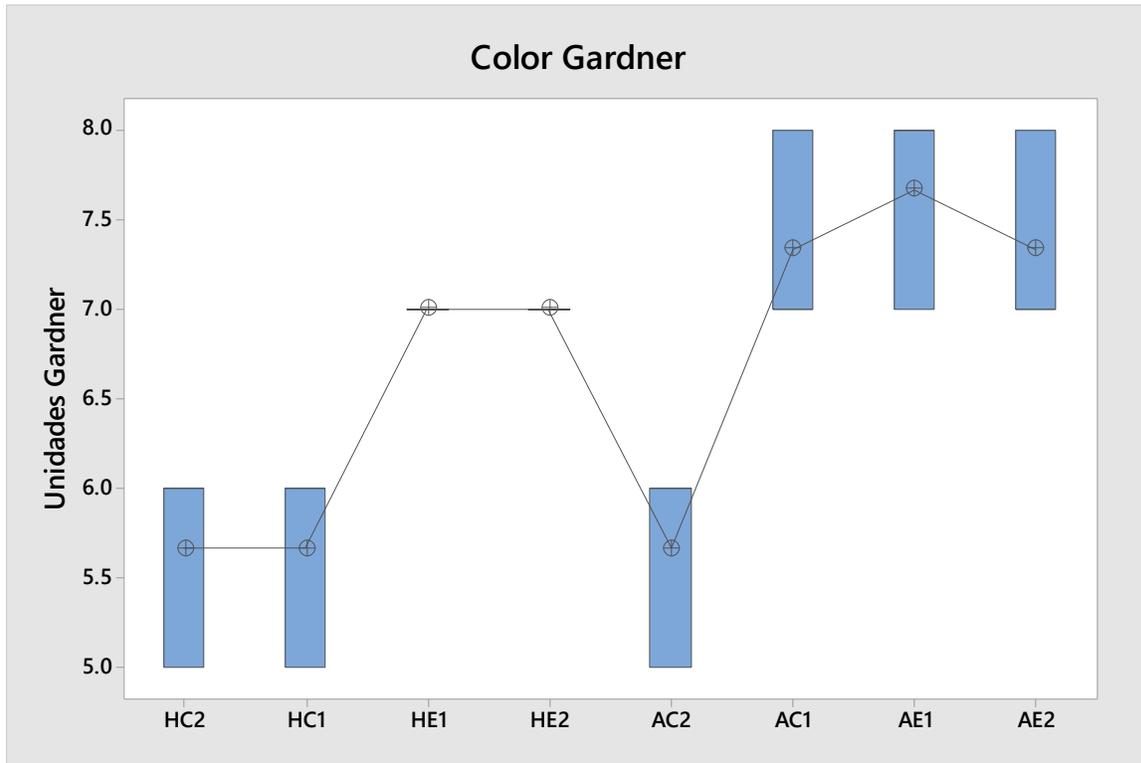


Gráfico 12 Gráfica de color Gardner en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H_2SO_4 al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe_4SO_4 - K_2SO_4 - $MnSO_4$ - Cu_2SO_4 - cáscara de linaza, e2: mezcla de $C_7H_6O_3$ - Cu_2SO_4 - NaOH - levadura - cáscara de linaza).

Como se aprecia en el Gráfico número (12), se exponen los resultados del color de las muestras de brea que se expresan en unidades Gardner. Se mantienen las unidades de color entre los estimulantes 1, y los estimulantes 2, de la técnica americana y tradicional francesa. También, en los controles 1, y 2, tanto de la técnica americana, como de la técnica francesa no hay un cambio en las unidades Gardner, es decir se mantiene, pese a la utilización de estimulantes.

9.7 Rendimiento general de destilados.

Los datos que se muestran a continuación muestran el rendimiento de brea y aguarrás destilados a condiciones normales en el laboratorio.

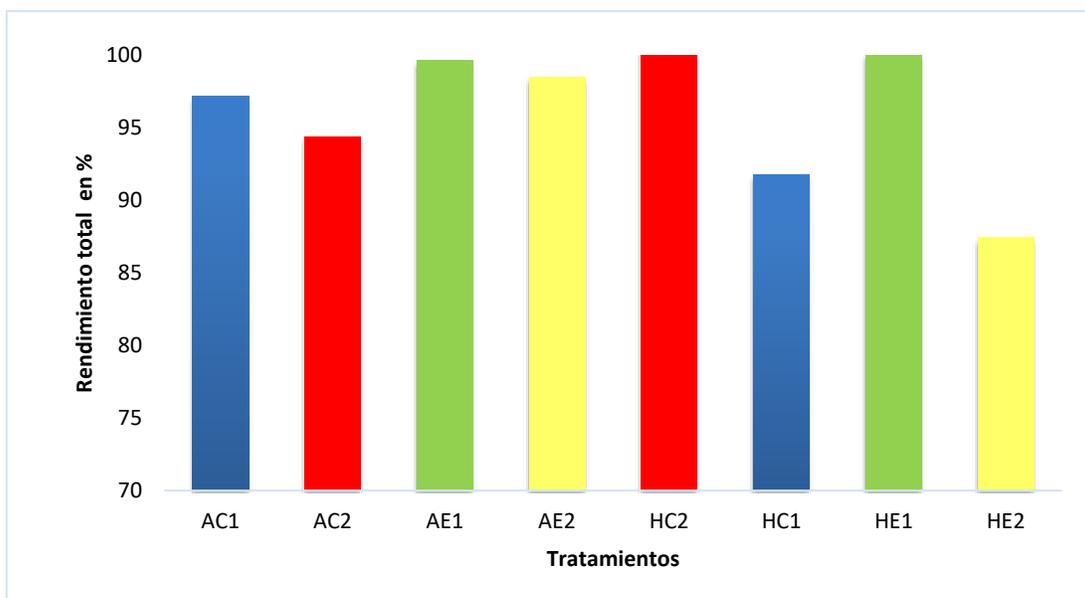


Gráfico 13 Rendimiento general de productos de destilación en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H_2SO_4 al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe_4SO_4 - K_2SO_4 - MnSO_4 - Cu_2SO_4 - cáscara de linaza, e2: mezcla de $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ - Cu_2SO_4 - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.7.1 Rendimiento de brea.

Tratamiento	Porcentaje
AE1	68 %
AC2	69 %
AC1	77 %
AE2	75 %
HC2	70 %
HC1	64 %
HE1	70 %
HE2	71 %

Tabla 14 Rendimientos de brea en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Las pruebas se realizaron por triplicado, y se expresan en porcentaje. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.7.2 Rendimiento de aguarrás.

Tratamiento	Rendimiento %	
AC1	20	%
AC2	26	%
AE1	31	%
AE2	24	%
HC2	30	%
HC1	27	%
HE1	30	%
HE2	27	%

Tabla 15 Rendimiento de aguarrás expresado en porcentaje en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.7.2.1. Índice de refracción

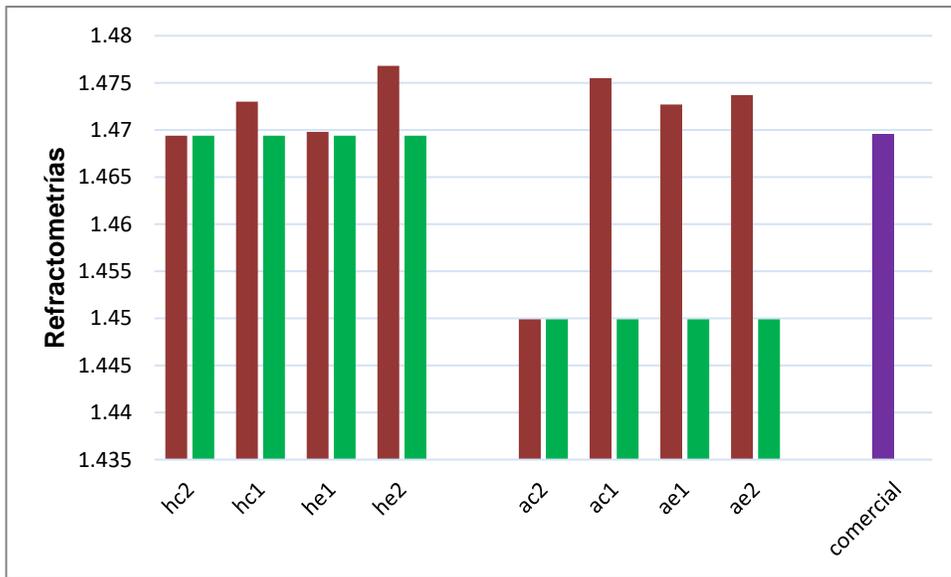
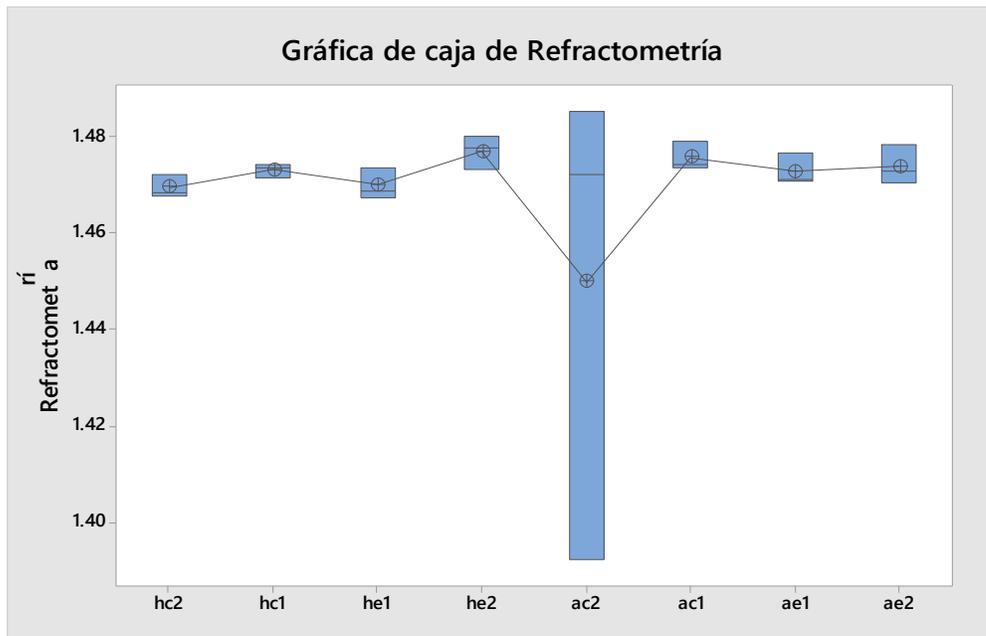


Gráfico 14 Refractometrías obtenidas de aguarrás en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza. Los índices de refracción del aguarrás comercial tienen estándares que oscilan entre 1.4600 – 1.4700 a 20 °C en la marca **Cerdosa (2020)**.

9.7.2.2 Gráfica de caja de índice de refracción de aguarrás



Gráfica 17 Índice de refracción de aguarrás en 30 días de resinación, en *Pinus pseudostrobus* Lindl. ubicados en la localidad de San Isidro Labrador municipio de Cherán, Michoacán. . Trat= tratamientos (H: método de resinación Hughes, A: método de resinación Americano; c1: H₂SO₄ al 20%, c2: sin estimulante, e1: mezcla de Fe₄SO₄ - K₂SO₄ - MnSO₄ - Cu₂SO₄ - cáscara de linaza, e2: mezcla de C₇H₆O₃ - Cu₂SO₄ - NaOH – levadura – cáscara de linaza.

9.7.2.3 Resumen

- En la técnica americana, los estimulantes, tanto el de extracto de levadura como el de cofactores metálicos presentan un rendimiento superior con respecto al control de **307.71%** con cofactores metálicos y de **438.17%** para el extracto de levadura.
- En la técnica tradicional francesa obtuvimos un rendimiento respecto al control de **325.33%** para cofactores metálicos y de **241.48%** para el extracto de levadura.
- La brea estimulada con extracto de levadura presenta rendimiento de **130%** con respecto al control en la técnica americana y de **105%** en la técnica francesa.
- En el rendimiento de aguarrás las muestras de oleorresina estimulada con cofactores metálicos tuvieron rendimiento de **30%** respecto a testigo.
- Respecto al índice de acidez, el uso de estimulantes provocó un aumento significativo con el uso de cofactores metálicos, respecto al testigo.
- En el color Gardner el uso de estimulantes no tiene un efecto significativo.
- El uso de estimulantes no tiene un efecto significativo en el punto de ablandamiento.
- En la producción de brea las muestras de oleorresina estimulada con el vehículo presentan **77%** de rendimiento respecto al testigo.

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Se obtuvieron los datos que se expresan en la siguiente tabla (**Tabla 20**), y por consiguiente podemos observar que la brea procedente de la especie de *Pinus pseudostrobus*, presenta una acidez en promedio de 143.57 a 157.6 catalogándola de acuerdo a los parámetros de PRORESOL. SA. DE C.V, en una **acidez media**.

Parámetros de calidad	Acidez BAJA	Acidez MEDIA	Acidez ALTA
Índice de acidez	144-153	154-158	159-168
Ring and Ball	63-67	68-70	71-75
Color Gardner	4 a 6	4+ a 7	5 a 9

Tabla 16 Parámetros de calidad empleados en PRORESOL S.A. De C.V.

Tratamientos	Índice de acidez (mL KOH /g brea)	Ring and Ball (Grados ° C)	Color Gardner (Unidades Gardner)	Clasificación
HC2	155.9	71.1	5.6	Ac. Media
HC1	156.51	71.2	5.6	Ac. Media
HE1	152.77	71.5	7	Ac. Media
HE2	151.95	71.2	7	Ac. Media
AC2	146.3	71.3	5.6	Ac. Media
AC1	157.6	71.2	7.3	Ac. Media
AE1	143.57	71	7.2	Ac. Media
AE2	147.27	71.3	7.3	Ac. Media

Tabla 17 Clasificación de la brea, de acuerdo a los parámetros industriales de PRORESOL. SA. DE C.V.

Con respecto al rendimiento de brea podemos destacar que obtuvo una producción del 68% en la técnica americana con estimulante 1, respecto a la producción del control y testigo con un 69 y 77% en la técnica americana. La brea procedente de la técnica americana con estimulante 2, obtuvo un 75% de rendimiento, y del 61% para la técnica tradicional francesa. La brea de estos tratamientos se muestra en la **Figura 12**.



Figura 12. Brea cristalizada, obtenida por destilación
Clasificada en escala de color Gardner 7.

Por otro lado, la técnica francesa presenta un rendimiento del 70 % para el estimulante 1, y del 61% para el estimulante 2, ya que aumentan significativamente el rendimiento de brea en la técnica americana. La brea presento un índice de acidez de 152.77mL KOH/g brea , de color 7 en escala de coloración Gardner, un resultado catalogado por la empresa PRORESOL. S.A DE C.V., en una acidez media. Este resultado comprueba la hipótesis del trabajo de investigación. La técnica americana en ayuda de estimulantes orgánicos, tiene mejores rendimientos de brea y aguarrás, en comparación con la técnica tradicional francesa y americana, sin el uso de estimulantes.

Por otro lado, se obtuvo un rendimiento del 31 % de aguarrás para el estimulante 1, de la técnica americana, mientras que para la técnica francesa se obtuvo un rendimiento de 30%, por lo que produce más aguarrás. Con respecto a los controles, de 26%, para el control 2, de la técnica americana, y de 30% para el control 2 de la técnica francesa respectivamente. Por otro lado, el estimulante 2, de la técnica americana obtuvo un rendimiento del 26%, y del 27% para la técnica tradicional francesa, respecto al rendimiento de los controles. Sin embargo, podemos destacar que dicha brea presento un numero de acidez de 147.27 KOH/g, y un color de acuerdo con la escala de color Gardner de 7, catalogándose dentro de la acidez media, basándonos en la tabla de clasificación de la empresa PRORESOL. S.A DE C.V.

Por otro lado, la producción total de resina se agrupo en cuatro categorías (3 estimulantes y un testigo), y dos técnicas de resinación diferentes, una de estas, la más usada en México (técnica tradicional francesa Hughes), y la técnica americana o de cajete, para un total de 120 pinos de la especie *Pseudostrobus* ubicados en la comunidad de san isidro Labrador, municipio de Cherán Michoacán, en un periodo de 30 días de resinación. Obteniéndose para el estimulante 1, de la técnica tradicional un peso total de **2332 g**, mientras que el peso total de la producción para el mismo estimulante, pero en la técnica americana fue de **1077 g**, estos datos reflejan un claro contraste de técnicas en relación con la fisio-anatomía del sitio de resinación. Esto se debe a la atribución que tiene la relación entre la interacción de la cara, la actividad enzimática y la terapia foto-solar, la altitud, y sobre todo las condiciones climatológicas. La técnica americana es totalmente segura y apta para implementarse con estimulantes orgánicos de baja toxicidad, esto se atribuye al resultado favorable que se logró en este trabajo de resinación.

Por otra parte, los árboles que mejor rendimiento obtienen, son aquellos en la que la dirección de la cara de resinación está orientada al **noreste**, esto se explica de acuerdo al ángulo en que, a primera hora, el sol sale y la fototerapia es más

efectiva al favorecer la formación de metabolitos secundarios. Por tiempo prolongado, se estimula de manera directa la cara de resinación ya que activa la fotosíntesis y por lo tanto la producción de metabolitos secundarios (Berry & Bjorkman, 1980).

10.1 Comparación de rendimiento de destilados entre especies diferentes.

A continuación, se muestran una comparación entre diferentes especies de *Pinus*, y estimulantes.

Especie	Estimulante	Tiempo de resinación	Rendimiento en %	Referencia
<i>Pinus caribaea</i>	Ácido giberélico	2 meses	89	Meza, 1998
<i>Pinus tropicalis</i>	Flordimex al 8 %	2 meses	20	Meza, 1998
<i>Pinus pinaster</i>	Ácido sulfúrico 50 % pasta	3 meses	71	Tadesse et., al 2001
<i>Pinus tecunuma nii</i>	Ácido sulfúrico 70 % + Caolín	40 días	145	Espinoza, 2005
<i>Pinus etiolli</i>	Auxinas y CEPA	1 año	20	Rojas-Rodríguez, 2009
<i>Pinus elliotii</i>	Pasta Vermelha Eldorado	2 meses	143	Fusatto et.,al 2013
<i>Pinus caribaea var. hondurensis</i>	Ácido sulfúrico 50 %	40 días	115	Perez et., al 2016
<i>Pinus ocarpa</i>	Ácido sulfúrico 50 %	40 días	143	Alcedo et., al 2017
<i>Pinus ocarpa</i>	Ácido sulfúrico 50%		57.9	Reyes et., al 2017
<i>Pinus pringlei Shaw</i>	Ácido benzoico	70 días	311	Rojas-Rodríguez , 2019
<i>Pinus pringlei Shaw</i>	Sulfato de potasio	70 días	155	Rojas-Rodríguez , 2019
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	30días	307.71%	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	30días	438.17%	Este proyecto

Tabla 18 Rendimiento en porcentaje % de diferentes estimulantes. en comparación con los tratamientos aplicados en *Pinus pseudostrobus*. Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).

Como se muestra en la tabla número (19), existe una comparación sobre los resultados que se obtienen de este trabajo de investigación en la especie de ***Pinus pseudostrobus*** y las otras especies de *Pinus*. Cabe mencionar que el periodo de resinación oscila de los 2 meses hasta los 12 meses, para obtener un rendimiento en promedio de **89** al **143%** de los autores Alcedo *et. al* (**2017**) y Meza (**1998**). Sin embargo, en nuestro trabajo de investigación obtenemos para un mes de resinación un rendimiento tres veces mayor, en la técnica americana estimulante 1. Mientras que para la técnica tradicional francesa obtuvimos un **325.33%** para el estimulante 1 y de **241.48%** para el estimulante 2.

10.2 Comparación de rendimiento de brea.

Especie	Estimulante	Rendimiento de brea en %	Referencia
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	Ácido sulfúrico 50%	81.8	Brito <i>et. al</i> 1980
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>Bahamensis</i>	Ácido sulfúrico 50%	78.7	Brito <i>et. al</i> 1980
<i>Pinus elliotii</i> var. <i>Elliottii</i>	Ácido sulfúrico 50%	77.7	Brito <i>et. al</i> 1980
<i>Pinus patula</i>	Ácido sulfúrico 50%	82.2	Brito <i>et. al</i> 1980
<i>Pinus kesiya</i>	Ácido sulfúrico 50%	79.9	Brito <i>et. al</i> 1980
<i>Pinus elliotii</i>	Ethephon planebrás	76.6	Fusatto <i>et. al</i> 2013
<i>Pinus patula</i>	No aplica	74.6	Corredor y Villa, 2013
<i>Pinus ocarpa</i>	No aplica	74.6	Mancilla, 2018
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Ácido benzoico	70.4	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Sulfato de potasio	73.2	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw Shaw	No aplica	72.4	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	68-70	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	71-75	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Ac. Sulfúrico 20%	77	Este proyecto

Tabla 20 Rendimiento de brea en porcentaje %, de diferentes especies, en comparación con los tratamientos aplicados en *Pinus pseudostrobus*. Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).

Especie	Estimulante	Punto de ablandamiento °C	Referencia
China	No aplica	85	Coppen y Hone 1995
Portugal	No aplica	70	Coppen y Hone 1995
Brasil	No aplica	78	Coppen y Hone 1995
Indonesia	No aplica	78	Coppen y Hone 1995
<i>Pinus caribaea var caribaea</i>	No aplica	79	Pastor y Bustamante, 2001
Cuba	No aplica	75	Martínez, 2017
Uruapan	No aplica	71.5	Martínez, 2017
Ciudad Hidalgo	No aplica	71.5	Martínez, 2017
Oaxaca	No aplica	64	Martínez, 2017
Guadalajara	No aplica	72	Martínez, 2017
PRORESOL Morelia	No aplica	73	Martínez, 2017
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	Ácido benzoico	61.5	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	Sulfato de potasio	68	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	No aplica	58.7	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	71	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	72	Este proyecto

Tabla 21 Punto de ablandamiento de *Pinus pseudostrobus*, en comparación con otras especies.

Datos de rendimientos de punto de ablandamiento en comparación con los tratamientos aplicados en *Pinus pseudostrobus*. Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).

Especie	Estimulante	Punto de ablandamiento °C	Referencia
China	No aplica	85	Coppen y Hone 1995
Portugal	No aplica	70	Coppen y Hone 1995
Brasil	No aplica	78	Coppen y Hone 1995
Indonesia	No aplica	78	Coppen y Hone 1995
<i>Pinus caribaea</i> <i>var caribaea</i>	No aplica	79	Pastor y Bustamante, 2001
Cuba	No aplica	75	Martínez, 2017
Uruapan	No aplica	71.5	Martínez, 2017
Ciudad Hidalgo	No aplica	71.5	Martínez, 2017
Oaxaca	No aplica	64	Martínez, 2017
Guadalajara	No aplica	72	Martínez, 2017
PRORESOL Morelia	No aplica	73	Martínez, 2017
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	Ácido benzoico	61.5	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> Shaw	Sulfato de potasio	68	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i>	No aplica	58.7	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	71	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	72	Este proyecto

Tabla 22 Comparación de resultados de Punto de ablandamiento que se obtuvieron y los consultados en la literatura. Datos de rendimientos de punto de ablandamiento en comparación con los tratamientos aplicados en *Pinus pseudostrobus*. Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).

Especie o lugar	Estimulante	Índice de acidez mL KOH/g	Referencia
<i>Pinus caribaea</i>	Ácido sulfúrico 50 %	171	Brito <i>et.,al</i> 1978
<i>Pinus elliotii</i> var. <i>Elliottii</i>	Ácido sulfúrico 50 %	158.3	Brito <i>et.,al</i> 1978
<i>Pinus Oocarpa</i>	Ácido sulfúrico 50 %	160	Brito <i>et.,al</i> 1978
<i>pinus kesiya</i>	Ácido sulfúrico 50 %	160	Brito <i>et.,al</i> 1978
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	No aplica	168	Pastor-Bustamante, 2001
China	No aplica	175	Coppen y Hone 1995
Portugal	No aplica	171	Coppen y Hone 1995
Brasil	No aplica	170	Coppen y Hone 1995
Indonesia	No aplica	200	Coppen y Hone 1995
Cuba	No aplica	172.1	Martínez, 2017
<i>Pinus caribaea</i> , <i>Pinus cubensis</i> <i>Pinus tropicales</i> <i>Pinus elliotii</i>	No aplica	141	Tiomnova, 2016
	Pasta Vermelha Alchem	175.4	Fusatto <i>et.,al</i> 2013
Uruapan	No aplica	159.8	Martínez, 2017
Ciudad Hidalgo	No aplica	160.3	Martínez, 2017
Oaxaca	No aplica	145.8	Martínez, 2017
Guadalajara	No aplica	163.8	Martínez, 2017
PRORESOL	No aplica	165.1	Martínez, 2017
Morelia			
<i>Pinus ocarpa</i>	Ácido sulfúrico 50 %	198	Alcedo <i>et.,al</i> 2017
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Ácido benzoico	138.8	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Sulfato de potasio	152	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw	No aplica	136	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	151.9	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	152.7	Este proyecto

Tabla 23 Índice de acidez reportada en diversos trabajos de investigación en comparación con esta investigación. Nota: Datos de rendimientos de colorimetría en comparación con los tratamientos aplicados en *Pinus pseudostrobus*. Tomado a partir de Rojas- Rodríguez (2019).

Con base en las pruebas de calidad de colorimetría Gardner aplicadas a la breña fraccionada por destilación, se obtienen resultados competitivos en comparación con los descritos en la tabla número 24, similares a las diferentes especies de pinos alrededor del mundo. Mantiene las condiciones óptimas de calidad, aunque se use un estimulante para su obtención.

Espece	Estimulante	Color Gardner	Referencia
China	No aplica	7	Coppen y Hone 1995
Portugal	No aplica	7	Coppen y Hone 1995
Brasil	No aplica	6-7	Coppen y Hone 1995
Indonesia	No aplica	7-8	Coppen y Hone 1995
<i>Pinus caribaea</i> <i>var caribaea</i>	No aplica	6-7	Pastor y Bustamante, 2001
<i>Pinus ocarpa</i>	Ácido sulfúrico 70 % + Caolín	3	Espinoza, 2005
Cuba	No aplica	3-4	Martínez, 2017
Uruapan	No aplica	5	Martínez, 2017
Ciudad Hidalgo	No aplica	5-6	Martínez, 2017
Oaxaca	No aplica	5	Martínez, 2017
Guadalajara	No aplica	5	Martínez, 2017
PRORESOL Morelia	No aplica	4	Martínez, 2017
<i>Pinus Oocarpa</i>	Ácido sulfúrico 50 %	3-4	Alcedo <i>et.,al</i> 2017
<i>Pinus pringlei</i> <i>shaw</i>	Ácido benzoico	4-6	Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> <i>shaw</i>	Sulfato de potasio	4-7	Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> <i>shaw</i>	No aplica	5-6	Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrabus</i>	Extracto de levadura	7	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrabus</i>	Cofactores metálicos	7	Este proyecto

Tabla 24 Comparación de la colorimetría de Gardner Datos de color Gardner de los tratamientos en comparación con los obtenidos en *Pinus pseudostrabus*. Tomado a partir de Rojas-Rodríguez (2019).

10.3 Comparación de rendimiento de aguarrás.

Especie	Estimulante	Rendimiento de aguarrás en %	Referencia
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	Ácido sulfúrico 50 %	12.2	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	Ácido sulfúrico 50 %	10.3	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	Ácido sulfúrico 50 %	15.3	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus elliotii</i> var. <i>elliotii</i>	Ácido sulfúrico 50 %	17.2	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus patula</i>	Ácido sulfúrico 50 %	10.6	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus kesiya</i>	Ácido sulfúrico 50 %	16.2	Brito <i>et.,al</i> 1980
<i>Pinus elliotii</i>	Pasta Vermelha Eldorado	13.5	Fusatto <i>et.,al</i> 2013
<i>Pinus patula</i>	No aplica	14.6	Corredor y Villa, 2013
<i>Pinus ocarpa</i>	No aplica	27	Mancilla, 2018
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Ácido benzoico	17.8	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw	Sulfato de potasio	14.8	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pringlei</i> shaw	No aplica	15.6	Rojas-Rodríguez (2019)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Extracto de levadura	27	Este proyecto
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Cofactores metálicos	31	Este proyecto

Tabla 25 Comparación de rendimiento de aguarrás expresado en (%). Comparación de datos de rendimiento de aguarrás de *Pinus pseudostrobus* y otras especies de *Pinus* elaborado a partir de Rojas-Rodríguez, (2019).

Los datos que se observan en la tabla número 25, es una comparación del rendimiento de aguarrás, entre diferentes especies de *Pinus* y *Pinus pseudostrobus* de los cuales destacan los siguientes rendimientos. Según Brito *et., al* (1980), obtuvo un rendimiento del 12.2% en comparación con el autor Rojas-Rodríguez (2019), con un rendimiento del 15.6% y 14.8%. por otro lado este trabajo de investigación obtiene para el estimulante con extracto de levadura, un rendimiento de 27% , mientras que para el estimulante con cofactores metálicos un rendimiento del 31% de aguarrás.

10.4 Análisis de regresión.

Coeficientes de correlación Pearson, N = 15											
Prob > r suponiendo H0: Rho=0											
	Diam	Edad	pica	res	rendbrea	rendagu	indacido	indacidb	abland	color	refra
Diam	1	0.13275	0.54907	-0.45722	-0.04152	0.18122	0.17985	0.40776	0.09974	0.54051	-0.42167
		0.7335	0.1257	0.216	0.9155	0.6408	0.6433	0.276	0.7985	0.133	0.2583
Edad	0.13275	1	-0.38603	0.13321	-0.19727	-0.07344	0.48635	0.55943	0.52159	-0.19884	0.2047
	0.7335		0.3048	0.7326	0.6109	0.8511	0.1843	0.1173	0.1498	0.608	0.5973
pica	0.54907	-0.38603	1	-0.3524	0.3199	-0.00636	0.12517	0.21824	0.23178	0.58311	-0.18577
	0.1257	0.3048		0.3523	0.4014	0.987	0.7483	0.5727	0.5485	0.0993	0.6323
res	-0.45722	0.13321	-0.3524	1	0.48365	-0.57076	0.63947	0.4654	0.52331	-0.09837	0.36731
	0.216	0.7326	0.3523		0.1871	0.1085	0.0637	0.2068	0.1482	0.8012	0.3308
rendbrea	-0.04152	-0.19727	0.3199	0.48365	1	-0.91852	0.33171	0.31646	0.41331	0.41543	-0.28646
	0.9155	0.6109	0.4014	0.1871		0.0005	0.3832	0.4067	0.2689	0.2661	0.4549
rendagu	0.18122	-0.07344	-0.00636	-0.57076	-0.91852	1	-0.36606	-0.3475	-0.46535	-0.14564	0.19749
	0.6408	0.8511	0.987	0.1085	0.0005		0.3326	0.3595	0.2068	0.7085	0.6105
indacido	0.17985	0.48635	0.12517	0.63947	0.33171	-0.36606	1	0.8901	0.85142	0.04341	0.44414
	0.6433	0.1843	0.7483	0.0637	0.3832	0.3326		0.0013	0.0036	0.9117	0.2311
indacidb	0.40776	0.55943	0.21824	0.4654	0.31646	-0.3475	0.8901	1	0.90931	0.30844	0.14129
	0.276	0.1173	0.5727	0.2068	0.4067	0.3595	0.0013		0.0007	0.4194	0.7169
abland	0.09974	0.52159	0.23178	0.52331	0.41331	-0.46535	0.85142	0.90931	1	0.18927	0.27182
	0.7985	0.1498	0.5485	0.1482	0.2689	0.2068	0.0036	0.0007		0.6257	0.4792
color	0.54051	-0.19884	0.58311	-0.09837	0.41543	-0.14564	0.04341	0.30844	0.18927	1	-0.68305
	0.133	0.608	0.0993	0.8012	0.2661	0.7085	0.9117	0.4194	0.6257		0.0426
refra	-0.42167	0.2047	-0.18577	0.36731	-0.28646	0.19749	0.44414	0.14129	0.27182	-0.68305	1
	0.2583	0.5973	0.6323	0.3308	0.4549	0.6105	0.2311	0.7169	0.4792	0.0426	

NOTA:

tabla de análisis de regresión, se observan datos sobre la relación entre el coeficiente de correlación y el número de significancia, del 0.005

11. CONCLUSIONES.

- El uso de la técnica americana mejora el rendimiento de resina cruda respecto a la técnica tradicional francesa modificada para México.
- La utilización de estimulantes orgánicos en la resinación de la especie *Pinus pseudostrobus* genera resina cuyos productos de destilación son de calidad similar a los productos demandados por el mercado.
- Los estimulantes tanto el de extracto de levadura como el de cofactores metálicos, así como el ácido sulfúrico per se, presentan mayor rendimiento de oleorresina cruda en comparación con el control. El de mejor desempeño es el de extracto de levadura.
- Las muestras de oleorresina estimulada con cofactores metálicos tienen mejor rendimiento en la producción de aguarrás respecto a los demás tratamientos.
- El estimulante de cofactores metálicos provoca un aumento en el índice de acidez.
- El uso de estimulantes no tiene efecto ni el color Gardner ni el puno de ablandamiento.
- El uso de ácido oxálico para purificar la resina de *Pinus pseudostrobus*, no tiene efecto en los parámetros de calidad, de los productos de destilación.

12. RECOMENDACIONES.

- Aplicar los estimulantes en un mayor número de árboles resineros y realizar un control sin reactivo, solo la base (semilla de linaza molida).
- Buscar alternativas para la creación de nuevos estimulantes y con ellos ayudar a la industria resinera.
- Realizar un análisis cuantitativo de los ácidos resínicos presentes en la brea, para determinar su proporción y los tipos de ácidos presentes, y verificar si la utilización de estimulantes cambia esta proporción.
- Explorar innovaciones respecto al recipiente recolector de resina.
- Realizar la cara de resinación lo más cercano al noreste.
- Proponer la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005., para la implementación de la técnica americana en las plantaciones de México.
- Realizar las técnicas de resinación durante varios ciclos de resinación.

12. BIBLIOGRAFÍA.

- Abollino, O. A. (2002). Heavy metals in agricultural soils from Piedmont, Italy. Distribution, speciation and chemometric data treatment. . *Chemosphere*, 49(6), 545-557.
- Adams, T. B. (2011). The FEMA GRAS assessment of aliphatic and aromatic terpene hydrocarbons used as flavor ingredients. *Food and Chemical Toxicology*, Volume 49, Issue 10., 2471-2494.
- Alarcón-Araya, C. C. (1987). *Informe Técnico 99: Aplicación de estimulantes y rendimientos de oleoresina en dos rodales de pino radiata*. Chile: INFOR.
- Arias, T. A. (2006). Resina: entre la madera y el desarrollo comunitario integral. . *Biodiversitas*, 65, 1-7.
- Asociados, M. &. (2008). *La Guía MetAs*. México: Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías,.
- ASTM-D1544. (2004). Standard Test Method for Color of Transparent Liquids. (*Gardner Color Scale*), 3.
- ASTM-D974. (2014). Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration. *Lubricants, industrial oils and related products*, 7.
- ASTM-E28. (2018). Standard Test Methods for Softening Point of Resins Derived from Pine Chemicals and Hydrocarbons, by Ring-and-Ball Apparatus. *For testing asphalts, tars, and pitches, see Test Method D36*, 6.
- Bandera-Molina, J. (1943). *La trementina y sus derivados, el aguarrás y la bréa; situación de la industria resinera mundial*. México: Banco Nacional de Gobierno.
- Batzle, M. &. (1992). Seismic properties of pore fluids. *Geophysics*, 57(11), 1396-1408.
- Berry, J., & Bjorkman, O. (1980). *PHOTOSYNTHETIC RESPONSE AND ADAPTATION TO TEMPERATURE IN HIGHER PLANT*. California : Department of Plant Biology, Carnegie Institution of Washington.
- Bidwell, R. (1993). *Fisiología Vegetal Bidwell*. México, DF.: A.G.T. Editor S.A.
- Bonilla-Ildefonso, J. A. (2013). *Introducción a la nutrición mineral de las plantas. Fundamentos de fisiología vegetal*. Barcelona,España.: McGRAW-HILL - INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. L.

- Braga de Carvalho, G. M. (2014). Evaluación Ambiental Estratégica y Auditoría Contable Ambiental como Instrumentos para la Optimización de la Política Pública Ambiental en el Brasil. *Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade en línea. Volumen (8)1*, 54-72.
- Buckeridge, M. S. (2007). Respostas fisiológicas de plantas às Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema. *Fenologia-Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos*, Colombo: Embrapa Florestas., 1-13.
- Cabrera-Castañeda, A. E. (2016, octubre). *Extracción y caracterización de colofonia obtenida de la resina del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schldl) a escala planta piloto, como alternativa tecnológica a la producción artesanal en el municipio de Granados Baja Verapaz*. Guatemala: (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- CEDROSA. (2020, 10 1). *informacion técnica. aguarrás 1A. Puro*. Retrieved from CEDROSA: <https://www.cedrosa.com.mx/info/a778.htm>
- Cielsa, W. (1998). *FORESTS AND FOREST PLANTS – Vol. II - Products of Resin Processing*. Colorado,USA: ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- CONAFOR. (2013). Estudio la producción de resina de pino en Mexico. *Biblioteca virtual,comision nacional forestal, Primera edición.*, 1-93.
- Corredor, J. A. (2013). Obtencion de colofonia y trementina a partir de resina de pino de la especie patula y posterior evaluacion de los parametros de calidad. *Jou. Cie. Ing, 5(1)*, 88-91.
- Cunningham, A. (2009). Estudio de mercado de los productos resinosos: Colofonia y aguarrás; y el potencial de la miera Ibérica de la Comarca del Izana para diferentes usos industriales. *ancomunidad de Bienes y Servicios del Rio Izana*.
- D465-15 2020, A. (2020). *Standard Test Methods for Acid Number of Pine Chemical Products Including Tall Oil and Other Related Products*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- da Silva Rodrigues, K. C.-N. (2011). Efficient oleoresin biomass production in pines using low cost metal containing stimulant paste. *biomass and bioenergy*,35(10)., 4442-4448.
- Del Valle A, J. I. (1997). a Silvicultura: Desde sus Origenes hasta el Siglo XIX. *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín volumen 50 (1).*, 103-130.

- Francisco-Arriaga, F. G.-R.-C.-Z. (2011, abril). Ingreso generado por la recolección de recursos forestales en Pichátaro, Michoacán, México. *SciELO*, 1.
- Fro, Q. (2008). *MANUAL DE METODOS DE ANALISIS. EASTMAN*, 1 a 3.
- Gambliel, H. &. (1984). Pinene cyclases I and II. Two enzymes from sage (*Salvia officinalis*) which catalyze stereospecific cyclizations of geranyl pyrophosphate to monoterpene olefins of opposite configuration. *Journal of Biological Chemistry*, 259(2), 740-748.
- García, A. Á. (2011). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (biologia)*, 2(3), 1-27.
- García, L. G. (2004). *Estudio técnico justificativo para el aprovechamiento de resina de pino, en la comunidad de Santa Catarina Ixtepeji, Municipio del mismo nombre, distrito de Ixtlán de Juárez, Estado de Oaxaca, para un periodo de cinco años*. Chapingo, Texcoco, Edo. de México: tesis de licenciatura.
- Guardiola-Barcena, J. L. (1990). *Fisiología vegetal: I. Nutricion y transporte. Síntesis*. Malaga, España: A G Library.
- INFOR. (1986). *Aplicacion de estimulantes y rendimiento de oleoresina en dos rodales de pino radiata*. Santiago, Chile: INFOR.
- Iñíguez, R. M. (2014, diciembre 1). Caracterización química de aceites esenciales y extractos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.*, 1-16.
- Jiménez, P. M. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista chilena de nutrición*, 40(2), 155-160.
- Justes, A. &. (2018). La resina en Castilla y León (España): preferencias de resineros en tiempos de crisis económica. *Madera y bosques*, 24(1).
- Largo-Arenas, S. E. (1973). *Obtención de oleorresina de pino insigne*. Chile: INFOR.
- López-Rucuch, R. (1996). *Comparación de dos métodos de resinación en Pinus oocarpa Schiede, P. montezumae Lambert y P. pseudostrobus Lindl., en la cuenca alta del río Chixoy, Guatemala*. Guatemala: Centro Agronomico Tropical de Investigacion y enseñanza.
- Lucho-Constantino, C. A.-G.-V.-V. (2005). Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment*, 108(1), 57-71.

- Martínez-Olvera, R. C. (2017). *Determinación de condiciones experimentales en la fase de purificación de oleoresina de pino para la producción de brea con calidad comercial*. MORELIA: UMSNH, FITECMA.
- Perry Jr, J. P. (1991). *The pines of Mexico and central America*. Oregon, EE.UU.: Timber Press, Inc.
- Rodrigues, K. C.-N. (2008). Oleoresin yield of *Pinus elliottii* plantations in a subtropical climate: effect of tree diameter, wound shape and concentration of active adjuvants in resin stimulating paste. *Industrial Crops and Products*, 27(3), 322-327.
- Rodrigues, K. C.-N. (2009). Oleoresin yield of *Pinus elliottii* in a subtropical climate: Seasonal variation and effect of auxin and salicylic acid-based stimulant paste. *Industrial Crops and Products*, (30) 2., 316 - 320.
- Rodrigues, K. C.-N. (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.
- Rojas-Rodríguez, G. (2019). *Evaluación de dos estimulantes de baja toxicidad, en la resinación de Pinus pringlei Shaw*. Morelia: UMSNH.
- Romahn de la Vega, C. F. (1982). *Principales productos forestales no maderables de mexico*. mexico: Universidad Autónoma Chapingo.
- Romahn de la Vega, C. F. (1982). *Principales productos forestales no maderables de México (No. 04; TESIS.)*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Rzedowski, J. (1978). *La vegetación de México*. México: Limusa.
- SAMN, S. M. (2019, junio 11 junio). *Meteogramas*. Retrieved from Servicio Meteorológico Nacional - Subgerencia de Monitoreo Atmosférico Ambiental (2015): <https://smn.cna.gob.mx/es/modelos-de-pronostico-numerico/meteogramas>
- Savage, T. J. (1994). Monoterpene synthases of *Pinus contorta* and related conifers. A new class of terpenoid cyclase. *THE JOURNAL OF BIOCHEMISTRY*, 269(6), 4012-4020,.
- SEMARNAT. (2006). *Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005*. ciudad de México: Diario Oficial de la Federacion.
- SEMARNAT. (2016). Anuario estadístico de la producción forestal. *Manual de resinacion en México*, 1-228.

- Valdivia, S. (1970). Oportunidades economicas en la produccion de resina en mexico y sus bosques. *México y sus bosques. volumen 9, edición (5-6).*, 4-25.
- Van Metre, P. C. (2003). The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams. *Chemosphere*, 52(10), 1727-1741.
- Zinkel & Russell, J. (1989). Naval Stores. Production, Chemistry and Utilization. *Chemistry, Utilization, Pine Chemicals Association.*