



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl)
OBTENIDA A ESCALA PILOTO**

Gretel Arlette Von Quednow Mancilla

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales e

Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, abril de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA
DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl)
OBTENIDA A ESCALA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GRETEL ARLETTE VON QUEDNOW MANCILLA

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES E
ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

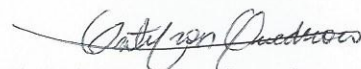
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissete Estrada Moreira de Rossal
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl) OBTENIDA A ESCALA PILOTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 31 de mayo de 2016.



Gretel Arlette Von Quednow Mancilla



Guatemala, 03 de Julio de 2017

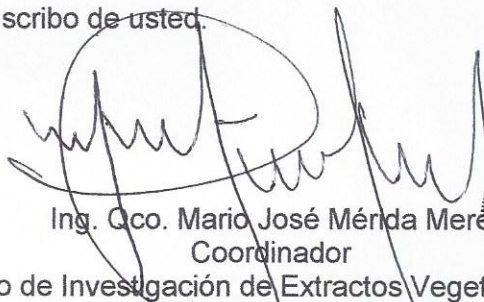
Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) OBTENIDA A ESCALA PILOTO”**, de la estudiante de Ingeniería Química Gretel Arlette von Quednow Mancilla quien se identifica con CUI No. 2423111560101 y registro académico número 2007-14179.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
Coordinador

Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor



INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Meré
Colegiado 1411



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Profesora Investigadora Titular
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Asesora





Guatemala, 26 de octubre de 2017.
Ref. EIQ.TG-IF.044.2017.

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **100-2012** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Gretel Arlette von Quednow Mancilla**.
Identificada con número de carné: **2007-14179**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

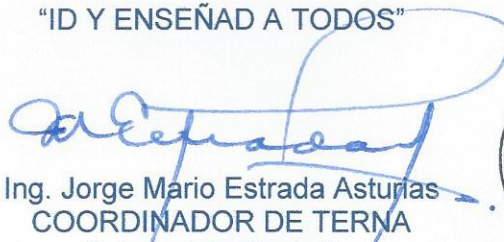
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) OBTENIDA A ESCALA PILOTO

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por los Ingenieros Químicos: **Telma Maricela Cano Morales** y **Mario José Mérida Meré**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.003.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **GRETEL ARLETTE VON QUEDNOW MANCILLA** titulado: **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiele ex Schldl*) OBTENIDA A ESCALA PILOTO”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, marzo 2018

Cc: Archivo
CSWD/ale

Universidad de San Carlos
De Guatemala

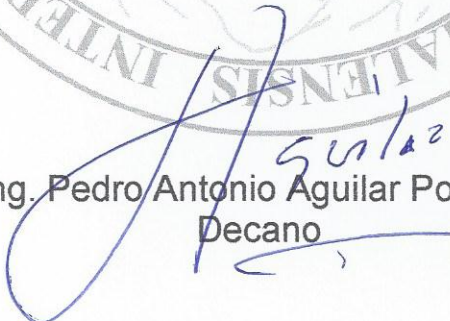


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.113.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE PINO OCOTE (Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl) OBTENIDA A ESCALA PILOTO**, presentado por la estudiante universitaria: **Gretel Arlette Von Quendnow Mancilla**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, abril de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

La Santísima Trinidad

Por la bendición de permitirme alcanzar esta meta en la vida y con sus frutos poder servir en su obra, al modo de Jesús. Agradezco por Su amor, la vida, el trabajo, la familia y todas las bendiciones y dones que me ha otorgado.

Mis padres

Patricia Mancilla y Carlos von Quednow, por sus sacrificios, su amor y su ejemplo para ser una persona de bien.

Mis hermanos

Edgar y Erik von Quednow, por ser ejemplo, guía y consejeros en momentos importantes de la vida

Mi esposo

Por ser mi compañero de vida, por su apoyo, amor y amistad que me ha brindado a lo largo de los años.

Mis amigos

Por su amistad y cariño, su apoyo y hacer de la vida un camino más pleno.

AGRADECIMIENTOS A:

La Santísima Trinidad	Por el regalo de la vida y permitirme llegar a esta etapa, escuchando su voluntad. A nuestra madre la Virgen María por su amor y su ejemplo de vida.
Mis padres	Por ser un ejemplo vivo de lucha y dedicación y quienes han enseñado a alcanzar las metas en la vida. Gracias por su amor y su ejemplo.
Mis hermanos	Por ser mis guías y consejeros en momentos importantes de la vida.
Mi esposo	Por su apoyo, paciencia y comprensión.
Mis asesores	Por su apoyo en este trabajo de investigación, por ser guía e inspiración para el campo de investigación en el país.
Mis compañeros	De universidad y trabajo por ser apoyo a lo largo de la carrera que me permitió llegar a esta punto en la vida.
Mis amigos	Por su cariño y apoyo incondicional y siempre estar allí, especialmente en los momentos más difíciles.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
Hipótesis	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Resina de pino.....	3
2.2. Descripción.....	3
2.3. Resina	5
2.3.1. Componentes principales de colofonia (Rosyn).....	9
2.4. Usos	11
2.5. Importancia económica de la resina de pino	12
2.6. Sistemas de resinación.....	13
2.7. Aplicaciones de la colofonia	15
2.8. Destilación	15
2.9. Descripción de los productos.....	16
2.10. Mercado internacional de resina de pino	21
3. DISEÑO METODOLÓGICO	23
3.1. Variables.....	23

3.2.	Delimitación de campo de estudio	24
3.2.1.	Obtención de la colofonia a escala planta piloto	24
3.2.2.	Procedimiento experimental	25
3.3.	Manejo del experimento	26
3.4.	Recursos humanos disponibles	27
3.5.	Recursos físicos y materiales disponibles	27
3.5.1.	Recursos físicos disponibles	28
3.5.2.	Recursos materiales disponibles	28
3.5.2.1.	Equipo	28
3.5.2.2.	Otros materiales	29
3.5.3.	Técnica cualitativa o cuantitativa	30
3.5.4.	Recolección y ordenamiento de la información	30
3.5.5.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	32
3.5.5.1.	Destilación de la colofonia a partir de la resina de pino ocote	32
3.5.6.	Determinación de la densidad	34
3.5.7.	Determinación del punto de fusión	34
3.5.8.	Determinación de la dureza	35
3.5.9.	Tabla de tabulación de datos	35
3.6.	Análisis estadístico	35
3.6.1.	Plan de análisis de los resultados	38
3.6.1.1.	Presentación técnica	39
3.6.2.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables	39
3.6.3.	Programas a utilizar para análisis de datos	39
4.	RESULTADOS	41

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	47
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	55
APÉNDICES	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Resina de pino	6
2.	Colofonia	9
3.	Contenido de ácidos orgánicos en la colofonia	10
4.	Municipio de Granados, Baja Verapaz	26
5.	Marmita de agitación LIEXVE	29
6.	Diseño preliminar	31
7.	Relación de la densidad teórica vs densidad de colofonia obtenida por tamaño de lote	41
8.	Relación del punto de fusión teórica vs punto de fusión de colofonia obtenida por tamaño de lote.....	42
9.	Relación de la dureza teórica vs dureza de colofonia obtenida por tamaño de lote	43
10.	Rendimiento de la colofonia obtenida por tamaño de lote.....	44
11.	Lote con el cual que se puede obtener la destilación óptima de la colofonia.....	45
12.	Comparar los rendimientos de la resina de pino obtenida, en función del tamaño de lote, al hacer las destilaciones	46

TABLAS

I.	Procesos característicos de modificación de la colofonia	8
II.	Productos que contienen colofonia	12
III.	Clasificación americana de colofonias	18

IV.	Derivados de la brea sin modificar por reacciones de doble enlace y su aplicación industrial.....	19
V.	Variables de proceso	23
VI.	Lista de variables manipuladas.....	23
VII.	Lista de variables de las propiedades y características	24
VIII.	Técnica cuantitativa	30
IX.	Análisis químico de la formulación núm. 1 de la colofonia.....	35
X.	Datos típicos para el diseño de bloques al azar	36
XI.	Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio	37

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$Y_{a,b}$	Datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento
g/mL	Densidad
Shore A (ASTM D2240)	Dureza
E_{ij}	Error aleatorio
B_j	Efecto del bloque jésimo
T_i	Efecto del tratamiento iésimo
F	Fisher
H_a	Hipótesis alternativa
H_o	Hipótesis nula
L	Litros
MS	Media cuadrática de los tratamientos
MSE	Media cuadrática del error
μ	Media general
Pa	Presión (en pascales)
Y	Promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento
°C	Punto de fusión (en grados Celsius)
%	Rendimiento (en porcentaje)
h	Tiempo de destilación (en horas)
$Y_{i,j}$	Total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento

GLOSARIO

Aguarrás	Aceite volátil de trementina, usado principalmente como disolvente de pinturas y barnices.
Colofonia	Resina sólida, producto de la destilación de la trementina, empleada en farmacia y para otros usos.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
Costo	Es el gasto económico que representa la obtención de un producto o la prestación de un servicio.
Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, y cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico.
Destilar	Calentar un cuerpo hasta evaporar su sustancia volátil que, enfriada después, recupera su estado líquido.
Disolución	Mezcla homogénea, a nivel molecular o iónico, de dos sustancias, que no reaccionan entre sí.
Filtrar	Dicho de un cuerpo sólido: dejar pasar un líquido a través de sus poros o resquicios.

Mesh	Número de mallas por pulgada inglesa = 25,4 : p.
Presión	Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal.
Rendimiento	Proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados.
Resinar	Sacar resina a ciertos árboles haciendo incisiones en el tronco.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de graduación fue obtener, evaluar el rendimiento y caracterizar fisicoquímicamente la colofonia obtenida de la destilación mediante arrastre con vapor de la resina natural del pino de ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltl), materia prima nacional.

Se realizó el proceso de extracción de la colofonia, a escala piloto, en la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE. Se preparó un lote en proporciones de 74,29 %, 20,0 % y 5,71 %, de resina, agua y aguarrás, respectivamente. Los tamaños de lote utilizados fueron 20, 30 y 40 litros, por 3 repeticiones, con un total de 3 tratamientos con 9 unidades experimentales.

Se realizó, a las diferentes muestras de colofonia, pruebas de densidad, punto de fusión y dureza. Dichos datos fueron evaluados para determinar la calidad de la resina, comparándola con resina comercial; así como el tamaño óptimo de lote para la destilación en la resina de pino de ocote.

Se concluyó que existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de la colofonia Rosyn al utilizar diferentes tamaños de lote; el lote mejor rendimiento es el de 40L.

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas no mostraron diferencias significativas en función al tamaño de lote. Las mismas propiedades mostraron un rango de validez de 98 % en relación a la colofonia comercial.

OBJETIVOS

General

Evaluar el rendimiento y caracterizar fisicoquímicamente de la colofonia, Rosyn a nivel de planta piloto a partir de la destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl).

Específicos

1. Establecer el rendimiento de la colofonia de cada una de las operaciones de destilación de la resina de pino ocote, en función del tamaño del lote.
2. Determinar el tamaño de lote con el cual se puede obtener la destilación óptima de la colofonia, Rosyn.
3. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de la colofonia obtenida y compararlas con las propiedades de la colofonia comercial.

Hipótesis

Hipótesis de investigación

El rendimiento y las propiedades físico-mecánicas de la colofonia, Rosyn, obtenida a través de la destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl) puede ser afectadas significativamente por el tamaño del lote utilizado en la destilación a nivel de planta piloto.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H₀)

No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de colofonia, Rosyn, a diferentes tamaños de lote.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

Hipotesis alternativa (H_a)

Sí existe diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento de colofonia Rosyn, a diferentes tamaños de lote.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

INTRODUCCIÓN

La colofonia o resina de colofonia es un producto natural obtenido a partir de varias especies de plantas coníferas, especialmente pináceas, que se presenta en forma de masa resinosa color ámbar transparente. Una resina es una sustancia orgánica amorfa, sólida y semifluida, generalmente insoluble en agua, soluble en varios solventes orgánicos, los cuales tienen poca tendencia a cristalizar. Las resinas u oleorresinas son secreciones externas del metabolismo de los vegetales excretadas a través de los canales intercelulares al practicárseles incisiones en la corteza.

Guatemala se caracteriza por su variedad climática y vegetal, por lo que es un país con capacidad de producir materia prima natural, como en este caso, la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl). A partir de la resina de pino se obtiene la colofonia, utilizada para distintos fines; actualmente, abarca el campo de tintas, adhesivos, pinturas, jabones y medicina.

En el municipio de Granados, del departamento de Baja Verapaz, Guatemala, se producen actualmente 189 564 toneles de resina de pino ocote, de manera artesanal, por lo que se obtiene una resina de baja calidad y poco tecnificada.

El objetivo del presente estudio fue tecnificar el proceso de obtención de colofonia de pino a escala piloto para obtener el mayor rendimiento y calidad, en función del tamaño de lote, el evaluar las características fisicoquímicas obtenidas mediante arrastre con vapor.

1. ANTECEDENTES

Las resinas de pinos y sus derivados han sido utilizadas de diversas formas por el hombre desde las épocas remotas en todo el mundo. En el periodo clásico temprano ya se empleaba el ocote, incluso en actividades comerciales de trueque, según la Historia General de Guatemala. Siguió utilizándose durante la colonia y así llegó hasta nuestros días.

La resinación en Guatemala como actividad industrial, inició en 1800 en el departamento de Baja Verapaz. En dicha época, las personas utilizaban la resina de pino para destilarla y extraer de la misma aguarrás y colofonia, siendo aprovechado el aguarrás.

A nivel mundial, según la FAO la mayor parte de la producción de resinas es realizada en Asia. En China e Indonesia domina el mercado de brea y aguarrás; mientras en Latinoamérica, Brasil presenta fuerte producción, pero sus necesidades internas son más altas aún, por lo que sus exportaciones son bajas. Las exportaciones en China en 1993 fueron de 570 000 toneladas de resina cruda, 430 000 de brea y 50 000 de aguarrás, equivalente al 70 % del volumen total comercializado a nivel mundial.

La producción mundial de resina de pino se calcula en 1,2 millones de toneladas al año: 60 % brea y 35 % aguarrás. A nivel mundial, su producción ha disminuido debido a los derivados de petróleo y sobre todo en países desarrollados, por el precio elevado de la mano de obra. Por otra parte, los procesos para la transformación de resina se han hecho más eficientes, lo que también ha contribuido a reducir la demanda de productos como aguarrás y

brea. Los precios de la resina dependen de la producción de los países antes mencionados.

Anteriormente, se realizaron tres estudios en trabajos de tesis, los cuales pueden relacionarse, debido a que contiene información específica en los temas organizados y en la metodología obtenida.

El primero es el de Roderico Aja, quien realizó en 2006 el trabajo titulado *Destilación de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) extraída en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterización de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio*, dejando como precedentes los resultados en variación de tiempo y proporción de mezcla. El tiempo de destilación fue de 6 horas y la proporción de la mezcla utilizada fue 74,29 % colofonia, 20 % aguarrás y 5,71 % agua desmineralizada.

Ana Lucrecia Gonzáles realizó en 2012 el estudio de la *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados*, con el objetivo de evaluar las características de barnices fluorados. Este trabajo dejó como precedente, patrones comparativos y análisis estadísticos, en comparación con los barnices que existen actualmente en el mercado guatemalteco.

El estudio de Geraldine García formuló y determinó las propiedades fisicoquímicas de un barniz dental fluorado, a partir de colofonia de *Pino oocarpa*, sus diferentes niveles de concentraciones. El barniz fluorado fue elaborado con fluoruro de sodio en una solución alcohólica y colofonia. Dicho estudio dejó los precedentes para la elaboración de un barniz fluorado a nivel industrial.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Resina de pino

Descripción del pino de ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl).

- Nomenclatura
- Nombre botánico: Pino oocarpa Schiede
- Sinónimos: *Pinus oocarpoides* Lindley
- Familia: Pinaceae

Nombres comunes: en Centro América el árbol es referido como pino ocote o pino colorado. El término 'ocote' se refiere específicamente al duramen resinoso utilizado para encender fuego. La madera es comparada frecuentemente con el *Pinus caribaea* Morelet como pino resinoso de El Caribe.

2.2. Descripción

El pino oocarpa es un pino típico, con fascículos de 4 a 5 agujas, con una altura máxima de alrededor 45 m, diámetro de 1 m, dependiendo del lugar. Generalmente, el árbol es mucho más pequeño en su hábitat natural, alcanzando una altura de 20 a 30 metros. El árbol se encuentra de forma natural formando bosques con árboles de la misma edad, con algunas especies de hoja ancha. Esta especie es definida ecológicamente como subclimax fuego, debido a que deben su existencia a los incendios periódicos que han suprimido la mayor parte de competencia por parte de las especies de hoja ancha.

El pino oocarpa se encuentra desde el sur de México hasta Nicaragua, con un rango de latitud típico en Centro América de 700 m hasta 1 600 m; pero en algunas áreas se encuentra por encima de los 2 000 m. Ambos límites pueden ser efecto de la temperatura necesaria para la reproducción, la cual limita la regeneración natural. La distribución es normalmente continua.

Los mejores ejemplares han sido explotados grandemente para el uso de la madera; como resultado, los bosques están por lo regular poco poblados. Además de los incendios.

Las especies son generalmente encontradas en litosuelos con poco contenido de ácido, profundo y fértil, formado por rocas metamórficas. El clima varía considerablemente dentro del rango de distribución natural.

La medida de lluvias anuales se encuentra dentro de 700 a 1 800 mm con una temporada seca de 5 a 7 meses. La medida de las temperaturas varía entre 22 °C hasta 16,5 °C a la mayor elevación.

La especie de pino oocarpa subsp. Oocarpa, se encuentra en el sur de México hasta Nicaragua. Dicha especie tiene un rango límite en el norte de México. Especies similares como el pino patula subsp. Tecun umanii Schwerdtfeger (estilo 1985) han sido encontradas en Guatemala, Honduras y Belice, las cuales han surgido de la especie nicaragüense.

La procedencia del pino oocarpa ha sido estudiada en detalle como parte del Proyecto de Búsqueda de Procedencia de Pinos Centroamericanos basado en el Instituto Forestal Mancomunado, Oxford Inglaterra. Dichos resultados se encuentran disponibles en muchos países.

En el valle de Comayagua, Honduras, se utiliza esta especie para leña, postes, tutores para cultivos, madera de aserrío, sombra, cortinas rompevientos y resinas. Para proveerse de estos productos, los finqueros dejan reservas de vegetación natural para extraer los productos para su propio consumo y para venta de los excedentes.

2.3. Resina

La resina es una secreción orgánica producida por plantas. Dicha resina es sólida o semifluida, regularmente soluble en agua y soluble en varios solventes orgánicos bajo ciertas condiciones, los cuales deben poseer poca tendencia a cristalizar. Está constituida por ácidos resinosos disueltos en una mezcla de compuestos terpénicos. Es producida por las células vivas de la albura, la cual es la parte del árbol que se encuentra inmediatamente debajo de la corteza de color claro. La función biológica de la resina es de reserva y cicatrización. En el interior de los canales de los árboles, regularmente se experimentan altas presiones, lo que provoca la ruptura de los canales y por lo tanto la resina fluye al exterior.

La resina de los pinos fluye en forma de oleoresina, con olor característico y sabor agrio, como la brea, disuelto en un aceite esencial llamado aguarrás o trementina. Cuando se obtiene la resina en estado bruto se denomina miera. Cuando ya es purificada recibe el nombre de oleoresina. A partir de la oleoresina se separan el componente sólido (colofonia) y el líquido (aguarrás).

Figura 1. **Resina de pino**



Fuente: elaboración propia.

Las resinas son secreciones externas del metabolismo de los vegetales, las cuales son excretadas mayormente por coníferas, a través de canales intercelulares. Los canales de resina se forman por absorción celular, las células reabsorbidas vacían su contenido sobre dichos canales, los cuales son los encargados de hacer el transporte de la resina a la superficie. Es un mecanismo de defensa contra agrietamientos o heridas, tanto naturales como artificiales.

Los canales resiníferos se distribuyen vertical y horizontalmente en el árbol. Los canales entrelazan unos a otros mediante rayos, también de naturaleza parenquimotosa, que forman un sistema que se interconecta con los tejidos parenquimatosos de la corteza interna, por el que se transportan los diferentes compuestos del metabolismo de las hojas.

En investigaciones microscópicas llevadas a cabo en *Pinus caribaea* se encontró la existencia en promedio de 450 canales horizontales por pulgada cuadrada de corte tangencial a la superficie del árbol y que dicho número puede variar entre un rango de 250 y 800 canales por pulgada cuadrada. Los canales verticales son de mayor tamaño que los horizontales por lo que en número son menos. Se ha encontrado alrededor de 200 canales resiníferos por pulgada cuadrada de sección transversal en madera normal, con variación de 70 a 400 por pulgada cuadrada, número que puede incrementarse hasta 10 veces más que el número normal en la madera que se regenera arriba de las caras de las heridas de resinación.

Las resinas orgánicas son mezclas completas, cuya composición varía en función de la especie arbórea utilizada, su localización geográfica y los procedimientos de extracción y almacenaje. En ellas se han podido caracterizar distintos constituyentes, de los cuales aproximadamente un 90 % ácido resínico y el 10 % restante es compuesto neutro, esencialmente alcoholes diterpénicos, sesquiterpenos, aldehídos e hidrocarburos. Los ácidos resínicos son ácidos monocarboxílicos con núcleos alquílicos hidrofenantrénicos principalmente de dos tipos. Los denominados tipo ácido abiótico (abiótico, palústrico, levopimárico y dehidroabiótico) se caracterizan por tener dos dobles enlaces conjugados; mientras que los denominados tipo ácido pimárico (pimárico, isopimárico y sandarapimárico), con los dobles enlaces no conjugados. Los ácidos tipo abiótico se oxidan con facilidad en contacto con el aire.

Los ácidos tipo abiótico se oxidan con facilidad en contacto con el aire. Por otro lado, la colofonia utilizada industrialmente se modifica químicamente con el fin de obtener unas cualidades técnicas específicas de color, viscosidad y cristalinidad. Raramente se completa su transformación, sino que queda un cierto porcentaje de colofonia no modificada.

Tabla I. **Procesos característicos de modificación de la colofonia**

Esterificación con glicerol
Esterificación con pentaeritritol
Hidrogenación,
Desproporción (hidrogenación y posterior deshidrogenación)
Reacción con formaldehído
Reacción con anhídrido maleico
Reacción con ácido fumárico
Polimerización (dímeros formados al calentar con ácidos)
Formación de sales (resinatos de Na, K, NH ₄ , Ca, Co, Pb, Mg, Zn)

Fuente: *Documentación de fichas técnicas*. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>. Consulta: 4 de abril de 2017.

Algunos estudios estiman que la producción de resina de esta especie varía para cada cara entre 4,0–4,6 kilogramos por año, una de las especies de mayor importancia por su producción resinera. La resina de los pinos es una mezcla de compuestos terpénicos, cuando se destila la resina se obtienen dos fracciones: una fracción volátil conocida como aceite de trementina formada por monoterpenos, monoterpenoides; y una fracción no volátil conocida como pez rubia o colofonia. La oleorresina contiene de 16 % - 20 % de aceite de trementina y de 64 % - 70 % de colofonia.

2.3.1. Componentes principales de colofonia (Rosyn)

La colofonia es una resina natural derivada de la resina cruda de las coníferas. Existen los siguientes tipos:

- Resina balsámica: el residuo de la destilación del aceite de aguarrás
- Resina de raíz: el extracto de los rizomas de las coníferas
- Resina tall: el residuo de la destilación talloil

La colofonia es quebradiza y transparente, dependiendo de la calidad del color, puede variar de amarillo claro, rojo a café oscuro. La colofonia se disuelve en muchas soluciones orgánicas como también en aceites minerales y vegetales; sin embargo, no se disuelve en agua. Punto de ablandamiento aproximadamente 70 °C – 80 °C.

Figura 2. **Colofonia**



Fuente: *Resina de soldar*. <http://www.shoptronica.com/1149-resina-de-soldar-colofonia.html>.

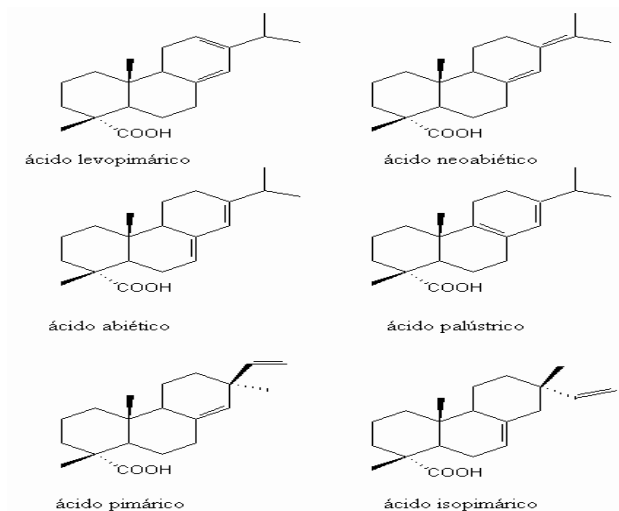
Consulta: 4 de abril de 2017.

Los terpenos y terpenoides son los encargados de impartir olor, color, sabor y resistencia al ataque de microorganismos e insectos a la madera de especies forestales. La oleoresina contiene de 16 % - 20 % de aceite de trementina y de 64 % -70 % de colofonia.

La colofonia se obtiene como residuo sólido de la destilación de la resina, es una mezcla de ácidos diterpenoicos: ácido abiético, ácido neoabiético, ácido dehidroabiético, ácido pimárico, dextropimárico, levopimárico y ácido palústrico.

La colofonia contiene ácido abiético (15 % -20 %), ácido neoabiético (15 % -20 %), ácido levopimárico (30 % - 35 %) y ácido pimárico (16 %). La composición varía en dependencia del método de separación, o sea, si se destila la resina o si se obtienen los ácidos a partir del licor negro de los procesos de pulpeo.

Figura 3. **Contenido de ácidos orgánicos en la colofonia**



Fuente: *Materias*. <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/formadoresdepelicula.pdf>.

Consulta: 4 de abril de 2017.

2.4. Usos

La colofonia tiene varias aplicaciones industriales ya que posee propiedades que justifican una amplia utilización: colorante, emulsificante y decapante. Las industrias en las que tanto la colofonia como sus derivados se utilizan de una manera más extendida son en la fabricación de tintas (23 %), adhesivos (23 %) y papel (21 %).

También se utiliza en la industria electrónica para el recubrimiento de las varillas para soldadura blanda, ya que sus propiedades decapantes provocan una limpieza efectiva de las superficies a unir que facilitan el proceso de soldadura entre dos metales. Finalmente, se emplea en la fabricación de papel para hacerlo más resistente al agua; el papel reciclable compuesto de pasta mecánica no tratada químicamente, utilizada para papel de periódico, contiene más colofonia que el papel a base de pasta tratada químicamente.

Tabla II. **Productos que contienen colofonia**

ACTIVIDADES	PRODUCTOS QUE CONTIENEN COLOFONIA
Medicina	<ul style="list-style-type: none"> • Pañales para niños y adultos y productos de higiene, esparadrapos, vendajes, steristrips • Matrices de medicamentos • Productos dentarios • Líquidos antiverrugas • Linimentos • Bolsas de colostomía • Vestidos quirúrgicos de papel • Productos veterinarios: conservantes de medicamentos y repelentes para perros
Cosmética	<ul style="list-style-type: none"> • Ceras para depilación • Máscaras y sombras para párpados • Laca de uñas • Pintura de labios • Productos capilares, brillantina • Jabones para la limpieza corporal
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Forestal: pinos, abetos y otras coníferas • Productos para el tratamiento de bosques y lacas para la madera • Serrín de madera de pino, abetos y otras coníferas
Industria en general	<ul style="list-style-type: none"> • Tintas de imprenta • Colas y adhesivos para embalajes, sellados de cajas, etiquetados, masillas, calafateadores y selladores en general • Papeles • Fundentes de soldadura. Vapores de soldadura al estaño de mezcla blanda • Lacas, barnices, pinturas • Aceites de corte (emulsificante) • Ceras, betunes y encáusticos (para coches, cuero, muebles, suelos) • Revestimientos de superficies, linóleo • Aislantes eléctricos y térmicos, aislantes en la industria electrónica • Aditivos en la fabricación de cauchos sintéticos y plásticos • Productos de limpieza • Velas perfumadas • Ambientadores
Actividades artísticas y deportivas	<ul style="list-style-type: none"> • Cubos de colofonia para frotar los arcos de violín • Polvos antiderrapantes para bailarines y distintos deportes

Fuente: *Documentación de fichas técnicas*. <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>. Consulta: 4 de abril de 2017.

2.5. **Importancia económica de la resina de pino**

En la medida como se han descubierto nuevos derivados y usos de la resina de pino, esta ha incrementado su valor. Los componentes primarios son separados mediante el proceso de destilación por arrastre con vapor, colofonia y trementina. A partir de los resultados de estas investigaciones, se inició el desarrollo de la industria de transformación de resina en la obtención de

productos derivados denominados colofonias modificadas. Durante muchos años, la colofonia y la trementina fueron usadas sin procesar en la industria del jabón, el papel y el barniz.

Actualmente, la mayor parte de la colofonia se emplea en la obtención de más de 50 tipos de colofonias modificadas con aplicaciones diferentes. Entre los principales usos se destaca: producción de papel, adhesivos, tintas de impresión, compuestos de goma, revestimientos superficiales, barnices, pinturas, esmaltes, soldaduras, fósforos, redes de pesca, confección de flores. Ha sido ampliamente utilizada en la preparación de materiales de limpieza, controles biológicos para luchar contra invertebrados y plagas (fitopatógenas) que afectan las plantas, construcciones, embarcaciones, agentes higiénicos y aromatizantes, derivados con acción biocida específica, polímeros termoresistentes, agentes lubricantes y precursores de fármacos, orientados hacia agentes antiulcerosos y antimicrobianos de acción general.

2.6. Sistemas de resinación

Por sistema de resinación se conoce el conjunto de operaciones practicadas principalmente a las coníferas de la especie *Pinus*, para hacer fluir hacia el exterior la oleoresina que se encuentra en las células situadas en la región más intensa de la corteza, en cantidad suficiente para su comercialización.

- Operaciones de resinación
 - Picas o rebanadas

Se abre una cara a la corteza del árbol para dejar reposar por un lapso aproximado de entre 15 y 30 días. Luego, se inicia el picado o rebane con un hacha curva; dicho picado debe tener un corte de aproximadamente 1,5 cm de profundidad, con 1 cm de la pica anterior y 3 o 4 hacia abajo. Dicha operación tiene como finalidad lograr que fluya resina hacia el exterior de los canales resiníferos horizontales y verticales.

Cuando los canales se obstruyen por la solidificación de la resina al oxidarse por contacto con el aire, es necesario fabricar nuevas picas para destapar los canales de las picas anteriores; al mismo tiempo, para cortar nuevos canales y lograr que la resina fluya continuamente. El periodo de las picas es entre 5 u 8 días, dependiendo del clima y la estación del año.

- Recolección

Se realizan de 3 a 4 picas hasta llenar los envases con resina, la cual se junta vaciándola en tambos de lámina con capacidad de entre 40 y 45 kilogramos de resina los cuales tienen una apertura al costado. Las picas provocan que la cara vaya creciendo en altura por lo que a la resina se le dificulta llegar al envase debido a que el aguarrás se evapora y la parte sólida se queda adherida a todo lo largo y ancho de dicha cara. A esta resina endurecida se le llama barrasco. La cual se colecta cada 6 meses.

- Preparación anual del arbolado

Al terminar los trabajos de resinación de un año, cuando la cara alcanza una altura aproximada de 50 cm, si la cara se continuara trabajando de la misma forma, llegaría el momento en que la resina no escurriría, por lo que la producción disminuiría considerablemente que provocan pérdidas por

evaporación. Para evitar esto, se recurre a la preparación anual del arbolado que consiste en lo siguiente: Se realiza la segunda raspa anual para recolectar el barrasco que se adhirió en los últimos seis meses y se agrega otra faja en forma ascendente a partir de la cara trabajada subiéndose la incisión hasta unos 12 cm abajo del nivel que alcanzó la entalladura.

2.7. Aplicaciones de la colofonia

La colofonia tiene numerosas aplicaciones industriales ya que posee propiedades que justifican una amplia utilización como colorante, emulsificante y decapante. Las industrias en las que la colofonia y sus derivados se utilizan de una manera más extendida son: fabricación de tintas (23 %), adhesivos (23 %) y papel (21 %).

También, se utiliza en la industria electrónica para el recubrimiento de las varillas para soldadura blanda, ya que sus propiedades decapantes provocan una limpieza efectiva de las superficies a unir que facilitan el proceso de soldadura entre dos metales. Finalmente, se emplea en la fabricación de papel para hacerlo más resistente al agua; el papel reciclable compuesto de pasta mecánica no tratada químicamente la cual es utilizada para papel de periódico contiene más colofonia que el papel a base de pasta tratada químicamente.

2.8. Destilación

La industria resinera utiliza como materia prima la resina que producen diferentes especies de pinos; comprende sus actividades dos aspectos fundamentales: el primero que se refiere a los trabajos de extracción rudimentarios y el segundo al proceso que se realiza a nivel industrial con objetivo de separar los componentes de la resina: la colofonia y el aguarrás.

En los principios de la industria resinera, el método de obtención de aguarrás y colofonia fue muy primitivo; se usaban alambiques con llama directa, obteniéndose así productos de baja calidad. Posteriormente, se desarrollaron los métodos de resinación y al incremento en la demanda de calidad y cantidad, se introdujeron métodos innovadores en las fábricas y la aplicación de sistemas que mejoraron el grado de acidez, dureza y otras características de los productos.

El objetivo industrial de las plantas resineras o de destilación consiste en la separación por destilación de los componentes de la trementina que son el aguarrás y la colofonia. El aguarrás hierve a una temperatura próxima a los 150 °C y la colofonia se mantiene estable hasta los 180 °C, se funde en el alambique y se solidifica al enfriar, lo que permite, en consecuencia, separar el aguarrás en estado de vapor, el cual puede condensarse en un refrigerante y obtener la colofonia fundida en el alambique.

2.9. Descripción de los productos

- **Trementina:** la trementina u oleoresina más conocida como resina de pino, de manera natural tiene muy pocos usos directos; sin embargo, se utiliza en la industria de lacas, en la preparación de lacres, como aglutinante para la aplicación de colores a la porcelana y como materia prima para la preparación de resinatos de plomo, de cobalto, etc.; en farmacopea se utiliza para emplastos y ungüentos cicatrizantes como balsámico y expectorante. También, al mezclarla con sosa, se utiliza como sustituto de detergente en las áreas rurales.
- **Colofonia:** la brea o colofonia es una resina típica que en términos generales, modificada o no, se utiliza en la fabricación de pinturas,

barnices, lacas, en el encolado de papel cartón, en la preparación de lubricantes, aceites emulsificables y betún para zapatos; en farmacología para la fabricación de ungüentos, emplastos, remedios internos y mezclas desinfectantes; también, como antiderrapantes en rings, para la fabricación de jabones, etc.

La utilización de la brea depende en gran medida de su calidad, la cual está definida por su pureza y esta a su vez, está determinada de manera directa por el color que presenta, la más pura y, por lo tanto, la de mejor calidad, la de mayor transparencia.

El color de la brea varía entre un matiz amarillo pálido y el rojo oscuro, pasando por todos los tonos del ámbar. Su color depende de la procedencia de la trementina, de la naturaleza del instrumental metálico que se empleó en su obtención, del método de limpieza y manufactura, del tiempo que estuvo en la cara de resinación, de la cantidad de basura y materias extrañas arrastradas por la trementina, etc.

Los matices más claros tienen los mejores precios ya que el color de la brea tiene importancia en sus usos industriales, de tal manera que la clasificación que de esta se hace, toma en cuenta ésta característica, comparando la brea producida o comercializada con colores normalizados para cada grado, los cuales se presentan en pequeños cubos de vidrio coloreado o bien, a través de muestras tipo hechas de resina, que pueden ser obtenidas por inspectores, distribuidores y/o consumidores.

El sistema de clasificación de brea generada en los Estados Unidos de Norteamérica, considera 15 clases de brea, desde la calidad extra o colofonia superior cuya clave es X, utilizada como materia prima en proceso químicos y

farmacéuticos, hasta la brea negra o común, clave A, utilizada en la elaboración de grasa de zapatos o de uso directo como antiderrapante.

Tabla III. **Clasificación americana de colofonias**

Símbolo		Significado
X	Extra	Colofonia extra superior
WW	Water white	Colofonia extra superior
WG	Window glass	Colofonia superior
N	Extra pale	Colofonia superior
M	Pale	Colofonia superior
K	Low pale	Colofonia ordinaria
I	Good N°1	Colofonia ordinaria
H	N°1	Semi colofonia
G	Low N°1	Semi colofonia
F	Good N°1	Brea clara superior
E	N°1	Brea clara superior
D	Good strained	Brea clara superior
C	Strained	Brea semi clara
B	Common strained	Brea negra
A	Common	Brea negra

Fuente: *Chapingo*. www.chapingo.mx/.../Cruz%20Martinez%20Zocimo%202004.pdf. Consulta: 4 de abril de 2017.

De la misma manera que el aguarrás, la brea se clasifica en primer lugar por su origen, estableciéndose dos tipos:

- La que es recuperada u obtenida después de separar el aguarrás de la trementina de los árboles vivos.

- La extraída después de la destilación de los aceites volátiles de la oleoresina, proveniente de la madera del pino mediante procesos químicos o físicos, acompañado de un refinamiento posterior.

Los derivados industriales de la brea son muy diversos y variados, incluyen varios procesos de producción, algunos muy simples, otros no tanto.

Tabla IV. Derivados de la brea sin modificar por reacciones de doble enlace y su aplicación industrial

Productos para efectuar la reacción	Productos derivados	Uso industrial	Proceso industrial
Anhídrido maleico en presencia de benceno en medio ácido.	Aducto del ácido levopimárico maleico.	Ácido polibásico en la preparación de resinas líquidas.	Isomerización.
Aducto como éster en presencia de glicerol o pentaeritriol.	Ester de pentaeritriol o glicerol de la resina modificada.	Recubrimientos en fórmulas con sustancias formadoras de películas, lacas en tinta para rotograbados	Adición.
Ester de colofonia con el producto de reacción de alcohol divalente y ácido dibásico (maleico).	Resina alquídica con modificación maleica.	Capilimeros vinílicos en recubrimientos y fórmulas de losetas asfálticas.	Esterificación e isomerización.
Productos de condensación del fenol formaldehído o fenol y el formaldehído por separado en caliente. Estas resinas se pueden modificar por esterificación en glicerol o pentaeritriol.	Resinas o plásticos fenólicos.	Muy amplios en la fabricación de plásticos fenólicos y resinas fenólicas.	Reacción de adición.
Aire en resinato de calcio fundido	Colofonia endurecida y mezclada con nitrocelulosa.	En lacas y sustitutos de goma laca con ésteres de celulosa y alcanfor	Oxidación
Hidrógeno en presencia de catalizador Niguel Raney.	Colofonia hidrogenada y estabilizada a la acción del oxígeno.	Modificador de resinas alquídicas, ablandador y aumentador de la densidad plastificante.	Hidrogenación.
Hidrógeno y Ni-Raney con pentanitriol.	Ester de pentanitriol o de glicerol de la resina hidrogenada.	Más amplios que el anterior por las características.	Hidrogenación y esterificación.
Ácidos minerales y temperatura de 270°C en presencia de yodo, azufre, selenio o un metal noble sobre carbón.	A temperaturas superiores a 300°C produce reteno (Imetil 7 isepopil fenantreno) deshidrogenado completamente.	En forma de jabón como emulsificante en la industria hulera.	Deshidrogenación o desproporcionamiento.
Con Haluros alquídicos o metálicos o de ácidos inorgánicos.	Colofonia polimerizada.	Materia prima para esterificación con modificación maleica o fenólica.	

Fuente: *Chapingo*. ww.chapingo.mx/.../Cruz%20Martinez%20Zocimo%202004.pdf. Consulta: 4 de abril de 2017.

- Agurrás: tiene también múltiples usos y aplicaciones usándose extensivamente como rebajador volátil para pinturas y barnices, secador de esmaltes y selladores de madera; para la preparación de lacas grasas y lacas fluidas; como disolvente de ceras en betunes para cuero de zapatos, así como en la fabricación de insecticidas, fumigantes, desinfectantes, pulimentos, colorantes, jabones, medicinas, perfumes, etc.

En el mercado internacional se distinguen cuatro tipos de esencias de trementina o agurrás, de acuerdo a su origen o métodos de obtención:

- El agurrás proveniente de la destilación de la oleo-resina extraída del árbol vivo.
- El obtenido por destilación al vapor de la oleo-resina contenida en a madera, ya sea en presencia de la propia madera o bien, después que ha sido extraída de esta.
- El que se obtiene de los productos resultantes de la destilación seca de la madera.
- El que se destila de los condensados que se recuperan en el cocimiento de la pulpa de la madera para papel al sulfato.

Independientemente de su origen, en el mercado se conocen diversos grados de agurrás, de acuerdo a su coloración, de transparente a amarillo, los cuales son:

- *Waterwhite:* blanco de agua
- *Estándar:* estándar norma
- *Oneshade off:* un matiz menos o una sombra
- *Twoshades off:* dos matices menos o sombras

Los precios del aguarrás se fijan tomando como base el grado estándar que aumentan o disminuyen cuando es de clase más alta o de clases más bajas. Las especificaciones del mercado requieren que el aguarrás no tenga materias en suspensión ni esté emulsionado con agua, debiendo tener olor suave y aromático.

Las variaciones en la calidad del aguarrás dependen de la calidad y edad de la trementina, de la época del año cuando la oleo-resina fue extraída, del cuidado en el proceso de destilación y el tipo de material de que estén contruidos los alambiques, condensadores y tanques de almacenamiento, tuberías y recipientes, así como del tiempo cuanto el cual haya estado a la intemperie.

2.10. Mercado internacional de resina de pino

En el mercado internacional se reportan alrededor de 64 países con los cuales se intercambian productos derivados de la resina de pino a pesar de que las exportaciones son bastante desfavorables para el mercado nacional ya que las importaciones sobrepasan por mucho a las exportaciones.

Japón, Alemania, Holanda, Francia, Corea, Estados Unidos e India son los principales importadores de resina, que usualmente se comercializa en forma de brea o aguarrás y solo alrededor de 20 000 ton al año se comercializan como goma de resina.

El mercado exterior es también desfavorable en cuanto a brea y aguarrás, donde los volúmenes de importación son al menos tres veces mayores en la exportación. Lo anterior permite concluir que el mercado nacional está dependiendo de los precios internacionales de la brea y el aguarrás, fundamentalmente porque se importan dichos productos; si se desarrolla el mercado interno, básicamente por el lado de la oferta de productos, tales variaciones pueden ser reducidas y controladas de acuerdo a las condiciones nacionales; además, incide en la economía de un sector de por sí muy marginado, el forestal no maderable.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A partir de la revisión bibliográfica y de los estudios precedentes acerca del proceso de destilación a nivel planta piloto, se determinaron los factores que influyen en la obtención del producto final. Se seleccionó como variable operativa el tamaño de lote.

Tabla V. Variables de proceso

Variables	Variable independiente	Variable dependiente	Parámetros fijos
Densidad		X	
Punto de fusión		X	
Dureza		X	
Tiempo de destilación			X
Tamaño de lote	X		
Presión			X
Temperatura			X
Rendimiento		X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Lista de variables manipuladas

Núm.	Variables	Dimensional	Rango de Variación
1	Tamaño de lote	Litros	20 – 60

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Lista de variables de las propiedades y características**

Núm.	Variables	Dimensional	
1	Densidad	Gramos por mililitro	g/mL
2	Punto de fusión	Grados Celcius	°C
3	Dureza	Shore A (ASTM D2240)	Shore A (ASTM D2240)
4	Tiempo de destilación	Horas	h
5	Tamaño de lote	Litros	L
6	Presión	Pascales	Pa
7	Temperatura	Celcius	°C
8	Rendimiento	Porcentaje	%

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

3.2.1. Obtención de la colofonia a escala planta piloto

- Parte de la planta a procesar: resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl).
- Cantidad de materia prima: 120 litros de resina.
- Temperatura de extracción: temperatura de ebullición de la mezcla.
- Condiciones iniciales de la materia prima: resina de pino, libre de impurezas visibles.

3.2.2. Procedimiento experimental

- Colocar en una marmita con agitación, una muestra de 74,29 % de volumen total de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldtl).
- Tomar una muestra de 20 % de agua desmineralizada y colocarla dentro de la marmita con agitación con la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldtl).
- Tomar una muestra de 5,71 % de aguarrás y colocarla en la marmita con agitación con la resina y el agua desmineralizada.
- Agitar mediante el uso de la marmita de agitación y concentración que se encuentra en la planta piloto hasta obtener una solución homogénea.
- Encender la caldera para producir vapor, abrir la llave para hacer pasar el vapor a través de la chaqueta de la marmita de concentración y conectar el sistema de enfriamiento que se hace pasar en el condensador.
- El tiempo de la destilación es de 6 horas.
- Recuperar el aguarrás en el tanque recuperador de la planta piloto.
- Colocar la muestra de colofonia líquida en recipientes adecuados para realizar los ensayos fisicoquímicos.
- Tomar la temperatura de la muestra hasta que se produzca la primera capa de endurecimiento (esta será la temperatura del punto de fusión).

- Los recipientes de las muestras previamente taradas, deben pesarse nuevamente cuando estén llenas y completamente frías (llenarlas a un volumen de 1 pulgada cúbica) para obtener la densidad posteriormente.
- Colocar el durómetro sobre la superficie de la probeta para realizar la prueba de dureza.

3.3. Manejo del experimento

La recolección de la muestra, resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schtdl), se realizó en el municipio de Granados, Baja Verapaz.

Figura 4. **Municipio de Granados, Baja Verapaz**



Fuente: elaboración propia.

La obtención de la colofonia a partir de la resina de pino ocote se llevó a cabo a escala planta piloto en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T.5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

A escala planta piloto, se midió la cantidad de diesel consumido por extracción y todos los insumos necesarios: resina, agua desmineralizada y aguarrás, con el fin de obtener los datos necesarios para el cálculo de los costos de cada extracción.

A la colofonia le fueron realizados los análisis de densidad, punto de fusión y dureza.

3.4. Recursos humanos disponibles

- Tesista: Gretel Arlette von Quednow Mancilla
- Asesor: Ing. Mario José Mérida Meré
- Asesora: Inga. Telma Maricela Cano Morales

3.5. Recursos físicos y materiales disponibles

Se realizó un listado de recursos necesarios para realizar el estudio. Se incluyeron los recursos disponibles en LIEXVE, como también la materia prima y equipo, que fueron requeridos por los analistas.

3.5.1. Recursos físicos disponibles

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este laboratorio cuenta con el equipo, la infraestructura, el recurso humano y la cristalería necesaria para llevar a cabo la destilación de la colofonia y para determinar sus propiedades fisicoquímicas y compararla con la colofonia comercial.

3.5.2. Recursos materiales disponibles

- Materia prima y reactivos
 - Resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl)
 - Diesel
 - Aguarrás
 - Agua desmineralizada
 - Alcohol etílico 96 %

3.5.2.1. Equipo

- Marmita con agitación
 - Modelo: MRM-014C
 - Motor: 211P/110/220 volts
 - Capacidad: 140L
 - Capacidad de operación: 30 psi
 - Fabricación: 06 2604

Figura 5. **Marmita de agitación LIEXVE**



Fuente elaboración propia.

- Durómetro
- Cronómetro
- Probeta
- Balanza

3.5.2.2. Otros materiales

- Recipientes plásticos para guardar la materia prima fresca
- Recipientes plásticos para guardad materia exhausta
- Plástico para cubrir área de trabajo
- Guantes de nitrilo

- Mallas mesh 40 para filtración

3.5.3. Técnica cualitativa o cuantitativa

Según las variables tratadas en la investigación, la técnica es cuantitativa.

Tabla VIII. **Técnica cuantitativa**

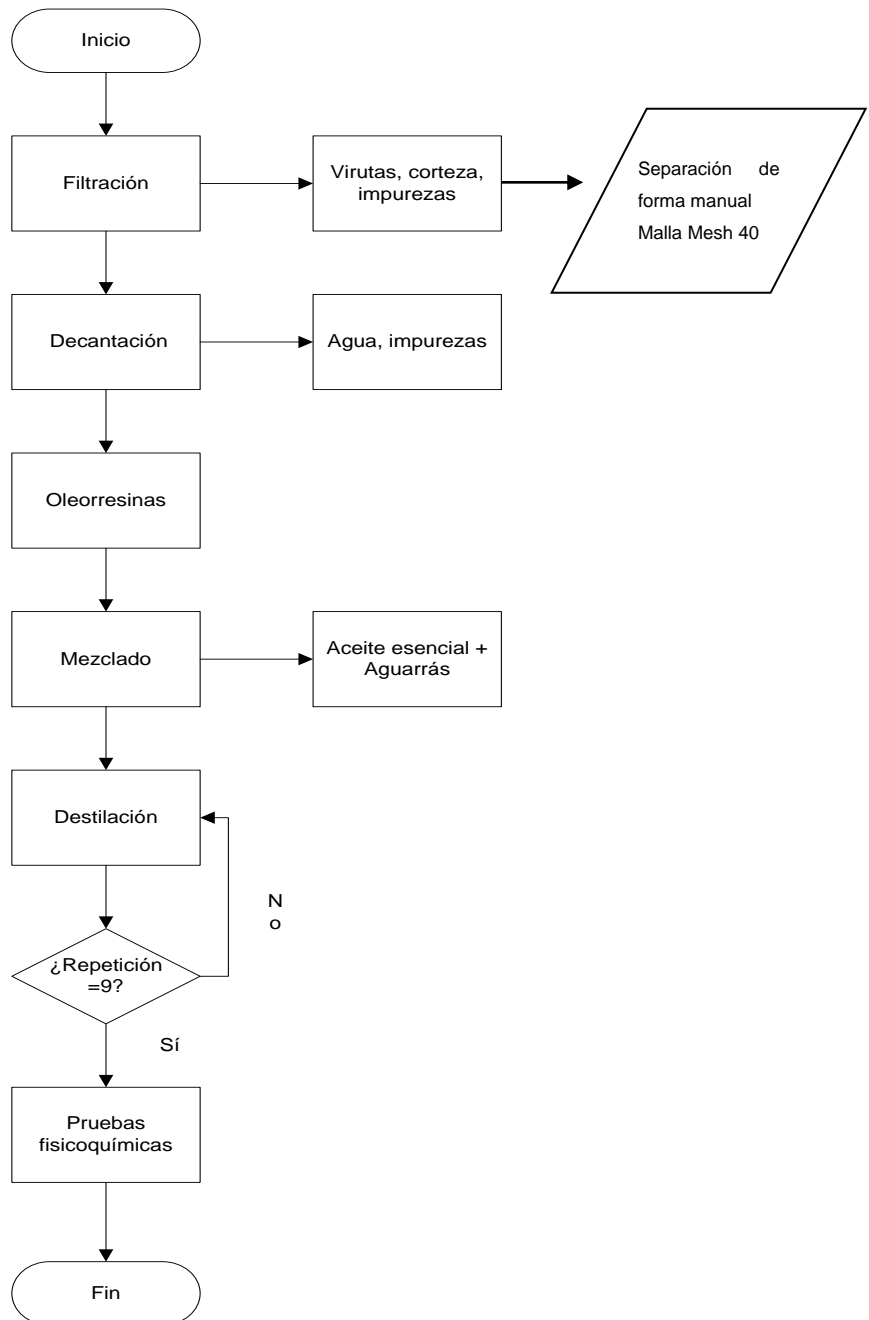
Técnica cuantitativa	Instrumento / método	Cuantitativa	
		Continua	Discreta
Densidad	Picnómetro	X	
Punto de fusión	Termómetro	X	
Dureza	Durómetro	X	
Tiempo de destilación	Cronómetro	X	
Tamaño de lote	Probeta	X	
Presión	Manómetro	X	
Temperatura	Termómetro	X	

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Recolección y ordenamiento de la información

Se elaboró un diagrama de flujo para el proceso preliminar de la investigación, ver figura 6.

Figura 6. **Diseño preliminar**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

A la resina de pino ocote oocarpa, libre de impurezas, se destiló en una mezcla de agua – aguarrás –resina; 20 % - 5,71 % - 74,29 % respectivamente.

La mezcla mencionada se trabajó a 3 tamaños distintos de lote de resina, según la capacidad de la caldera, se trabajó a 20, 30, 40 litros. Se realizaron 3 corridas por cada combinación de tiempo y tamaño de lote, para un total de 3 tratamientos, 9 unidades experimentales.

3.5.5. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A partir de los datos obtenidos de las destilaciones de colofonía, se realizó una tabulación adecuada para analizar estadísticamente el comportamiento del estudio.

3.5.5.1. Destilación de la colofonia a partir de la resina de pino ocote

Consistió en la obtención de tres diferentes destilaciones en las cuales se varió el tamaño de lote, con sus tres respectivas repeticiones.

- Procedimiento
 - Se colocó en una marmita con agitación, una muestra de 74,29 % de volumen total de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldtl).

- Se tomó una muestra de 20 % de agua desmineralizada y se colocó dentro de la marmita con agitación la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldtl).
- Se tomó una muestra de 5,71 % aguarrás y se colocó en la marmita con agitación con la resina y el agua desmineralizada.
- Se agitó mediante el uso de la marmita de agitación que se encuentra en la planta piloto hasta obtener una solución homogénea.
- Se encendió la caldera para producir vapor; se abrió la llave para hacer pasar el vapor a través de la chaqueta de la marmita de concentración y conectar el sistema de enfriamiento que se hace pasar en el condensador.
- El tiempo de la destilación fue de 6 horas.
- Se recuperó el aguarrás en el tanque recuperador de la planta piloto.
- Se colocó la muestra de colofonia líquida en recipientes adecuados para realizar los ensayos fisicoquímicos.
- Se tomó la temperatura de la muestra hasta que se produjo la primera capa de endurecimiento (esta va a ser la temperatura del punto de fusión).
- Se pesaron los recipientes de las muestras previamente taradas nuevamente cuando estaban llenas y completamente frías

(llenandolas a un volumen de 1 pulgada cúbica) para obtener la densidad posteriormente.

- Se colocó el durómetro sobre la superficie de la probeta para realizar la prueba de dureza.

3.5.6. Determinación de la densidad

La densidad es la relación entre el peso de una masa determinada, en este caso, la colofonia, entre un volumen específico. Dicho valor se obtuvo de manera experimental.

- Procedimiento

Es necesario calibrar la balanza al inicio de la operación, especialmente si se requiere de precisión en las lecturas. Con el instrumento calibrado determinar el peso de la solución, por su volumen en la probeta con un volumen de una pulgada cúbica. Las probetas se pesaron cuando estaban llenas y completamente frías.

3.5.7. Determinación del punto de fusión

Se denomina punto de fusión a la temperatura en la cual la fase sólida y líquida se encuentra en equilibrio, por lo tanto, la materia pasa de estado sólido a líquido.

- Procedimiento

Se tomó la temperatura de la probeta hasta que se produjera la primera capa de endurecimiento (esta se tomó como la temperatura de punto de fusión).

3.5.8. Determinación de la dureza

La dureza es la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse. En el caso de la colofonia, se utilizó un durómetro para determinar su dureza.

- Procedimiento

Se colocó el durómetro sobre la superficie de la probeta para realizar la prueba de dureza.

3.5.9. Tabla de tabulación de datos

Tabla IX. **Análisis químico de la formulación núm. 1 de la colofonia**

Núm. de repetición	Densidad (g/mL)	Punto de fusión (°C)	Dureza (unidades Shore A (ASTM D2240))
1			
2			
3			

Fuente: elaboración propia.

NOTA: esta tabla se realizó para las 3 observaciones.

3.6. Análisis estadístico

Para la destilación con arrastre con vapor de la colofonia se utilizó como variables 3 tamaños de lote de colofonia: 20, 40 y 60 (litros); con 3 observaciones, para hacer un total de 9 unidades experimentales. Posteriormente a los 9 productos les fueron realizados los análisis químicos para determinar su calidad.

El análisis estadístico de los datos obtenidos de la densidad, punto de fusión y dureza de las formulaciones realizadas se llevó a cabo por medio de un análisis de varianza por medio de un diseño de bloques aleatorio con la distribución de Fisher, esto debido a que se tratan más de dos niveles. Los datos se arreglaron como sigue:

Tabla X. **Datos típicos para el diseño de bloques al azar**

Tratamientos	Bloques			Promedio
	1	2	3	
1	Y _{1,1}	Y _{1,2}	Y _{1,3}	Y _{1prom}
2	Y _{2,1}	Y _{2,2}	Y _{2,3}	Y _{2prom}
3	Y _{3,1}	Y _{3,2}	Y _{3,3}	Y _{3prom}
Promedio	Y _{1prom}	Y _{2prom}	Y _{3prom}	y

Fuente: elaboración propia.

Donde:

- $Y_{i,j}$ = total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento
- y = promedio total de las observaciones bajo el i,j-ésimo tratamiento
- $Y_{a,b}$ = datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento

El procedimiento para un diseño de bloques aleatorios consiste en seleccionar b bloques y ejecutar una repetición completa del experimento para cada bloque, con un solo factor con a niveles. Las observaciones pueden ser representadas por medio de un modelo estadístico lineal.

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

- y_{ij} = observación
- μ = media general
- τ_i = efecto del tratamiento i ésimo
- β_j = efecto del bloque j ésimo
- ε_{ij} = error aleatorio

Los efectos del bloque y tratamiento se definen como desviaciones respecto a la media general. Debido a que el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las operaciones para el análisis de varianza se resumen en la siguiente tabla, así como las fórmulas para el cálculo de suma de cuadrados.

Tabla XI. **Análisis de varianza para el experimento de bloque aleatorio**

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fo
Tratamientos	$\sum_{i=1}^a y_i^2 / b - y^2 \dots / ab$	a - 1	$(SS_{\text{tratamientos}}) / (a - 1)$	$(MS_{\text{tratamientos}}) / MS_E$
Bloques	$\sum_{j=1}^b y_j^2 / a - y^2 \dots / ab$	b - 1	$(SS_{\text{bloques}}) / (b - 1)$	
Error	SS_E (por sustracción)	$(a - 1)(b - 1)$	$(SS_E) / [(a - 1)(b - 1)]$	
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - y^2 \dots / ab$	ab - 1		

Fuente: elaboración propia.

La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como:

$$F = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$$

Donde:

- MS tratamientos = media cuadrática de los tratamientos
- MSE = media cuadrática del error

Para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$ y con 2 grados de libertad para tratamientos y 5 para bloques.

Y la regla de decisión:

- Si $F_{\text{calculada}} > F_{\text{tabulada}}$ se rechaza H_0
- Si $F_{\text{calculada}} \leq F_{\text{tabulada}}$ se acepta H_0

F tabulada:

- Tabla de F con nivel de confianza del 90 %

3.6.1. Plan de análisis de los resultados

A partir de los datos obtenidos, se analizó la manera de obtener los resultados del estudio y su comportamiento, a través de estadísticas que se adaptarán mejor a los resultados.

3.6.1.1. Presentación técnica

Es la presentación de los datos obtenidos a nivel piloto y el análisis físico químico de las diferentes destilaciones, cuyos resultados dieron a conocer la destilación de mejor calidad y mayor rendimiento, que cumple con las especificaciones de la colofonia comercial. La mejor calidad tomada fue aquella, cuyos resultados no difirieron en $\pm 10\%$ de las propiedades de la colofonia comercial.

3.6.2. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

- Método de determinación densidad

$$Densidad = \frac{masa(g)}{volumen(mL)}$$

- Método de determinación punto de fusión

$$Punto\ de\ fusion = lectura\ de\ termometro\ (^{\circ}C)$$

- Método de determinación de dureza

$$Dureza = lectura\ de\ durómetro\ (unidades\ de\ dureza\ Shore\ A\ (ASTM\ D2240))$$

3.6.3. Programas a utilizar para análisis de datos

- Microsoft Excell 2007

Hoja de cálculo electrónica utilizada para automatizar diversas operaciones matemáticas.

- Microsoft Visio 2007

Software que facilita la elaboración de diagramas de flujo de equipos y de sistemas completos

4. RESULTADOS

- Objetivo 1

Figura 7. **Relación de la densidad teórica vs densidad de colofonia obtenida por tamaño de lote**

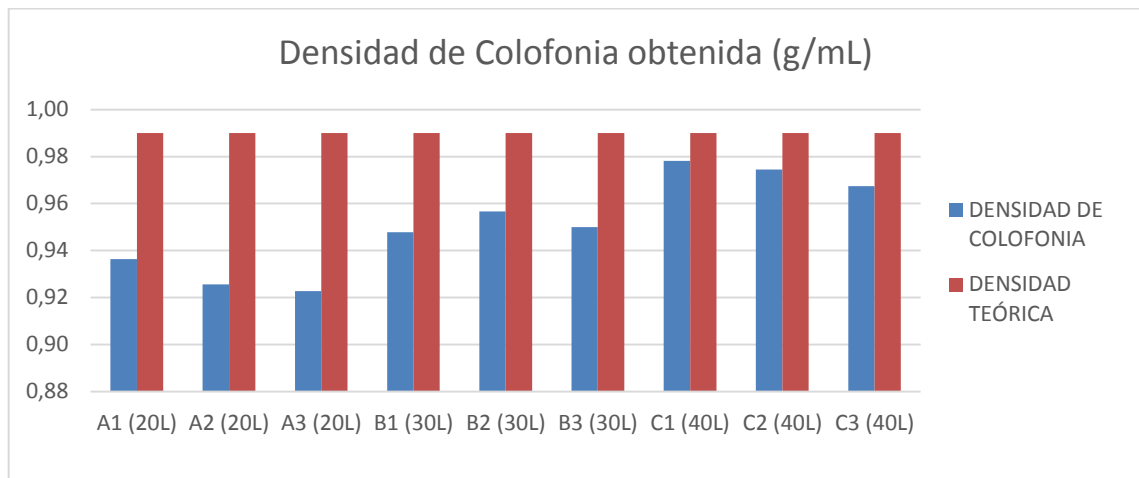


Gráfico	color	promedio	Desviación del valor teórico promedio 40L	Desviación del valor teórico promedio total
Densidad de colofonia 40L		0,97 g/ml	1,68 %	3,94 %
Densidad teórica		0,99 g/ml		

Fuente: elaboración propia,.

Figura 8. Relación del punto de fusión teórica vs punto de fusión de colofonia obtenida por tamaño de lote

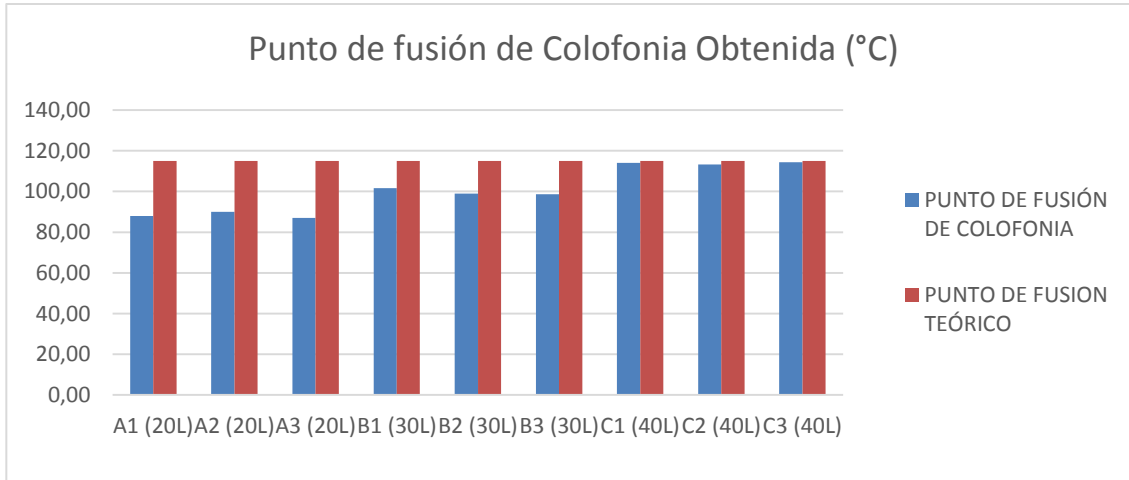


Gráfico	color	promedio	Desviación del valor teórico promedio 40L	Desviación del valor teórico promedio total
Punto de fusión de Colofonia 40L		113,89 °C	0,97 %	12,46 %
Punto de fusión Teórica		115,00 °C		

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Relación de la dureza teórica vs dureza de colofonia obtenida por tamaño de lote**

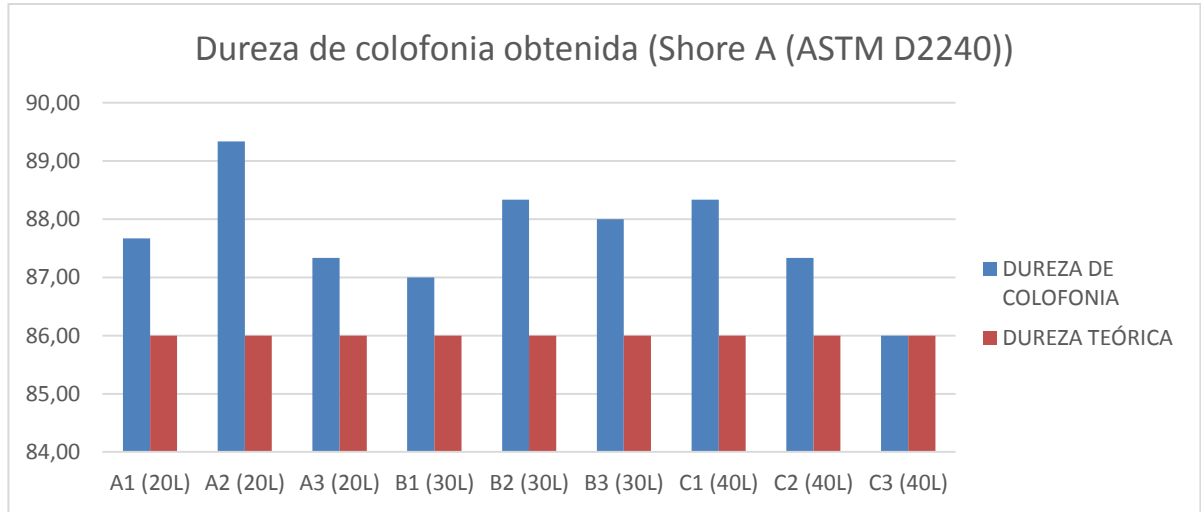


Gráfico	color	promedio	Desviación del valor teórico promedio 40L	Desviación del valor teórico promedio total
Dureza de colofonia 40L	■	79,52 Shore A	1,68 %	8,66 %
Dureza teórica	■	86,00 Shore A		

Fuente: elaboración propia,.

- Objetivo 2

Figura 10. Rendimiento de la colofonia obtenida por tamaño de lote

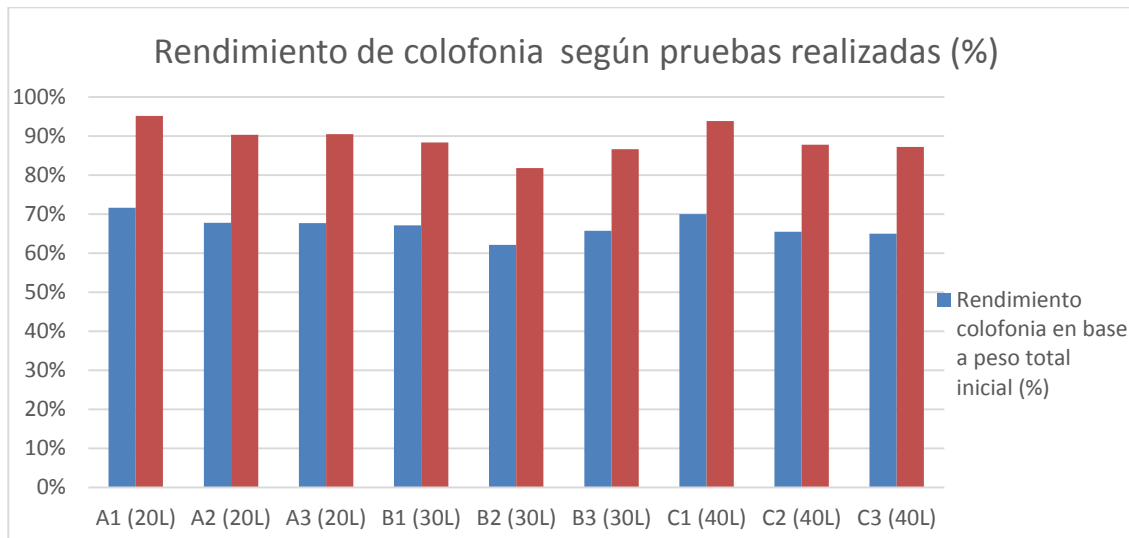



Gráfico	color	promedio	Desviación Estándar
Rendimiento en base al peso total inicial		67 %	4,20 %
Rendimiento en base al peso de resina inicial		89 %	4,50 %

Fuente: elaboración propia.

- Objetivo 3

Figura 11. **Lote con el cual que se puede obtener la destilación óptima de la colofonia**

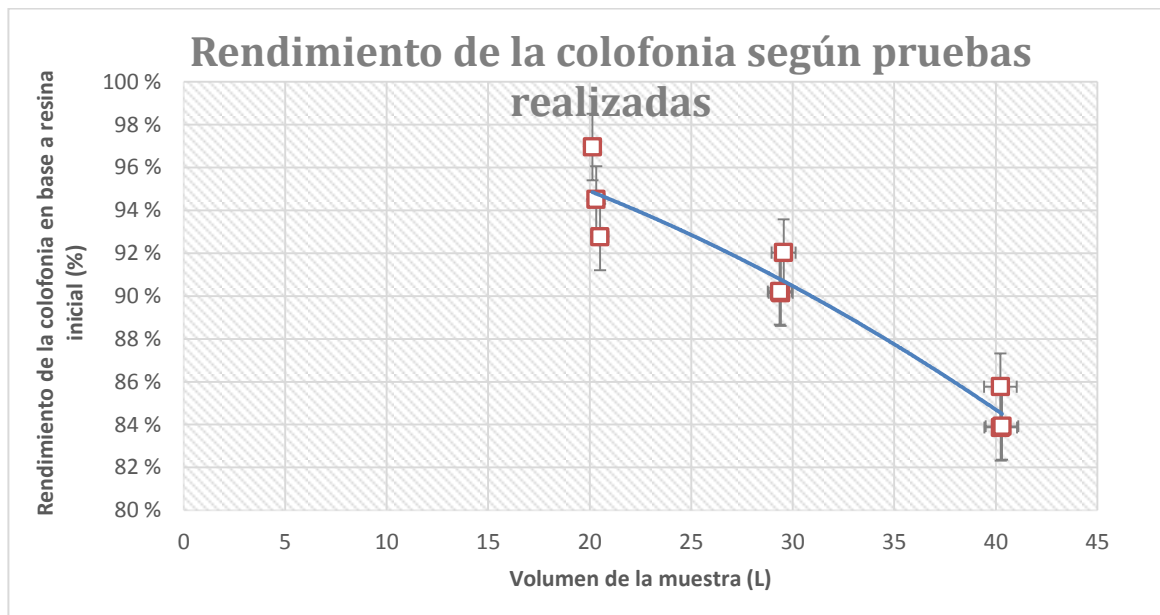


Gráfico	color	Modelo matemático	Correración	Intervalo de validez (%)
Rendimiento con base en el peso total inicial		$-7E-05x^2 - 0,0011x + 0,9974$	0,9244	[84-97]

Fuente: elaboración propia.

- Objetivo 4

Figura 12. **Comparar los rendimientos de la resina de pino obtenida, en función del tamaño de lote, al hacer las destilaciones**

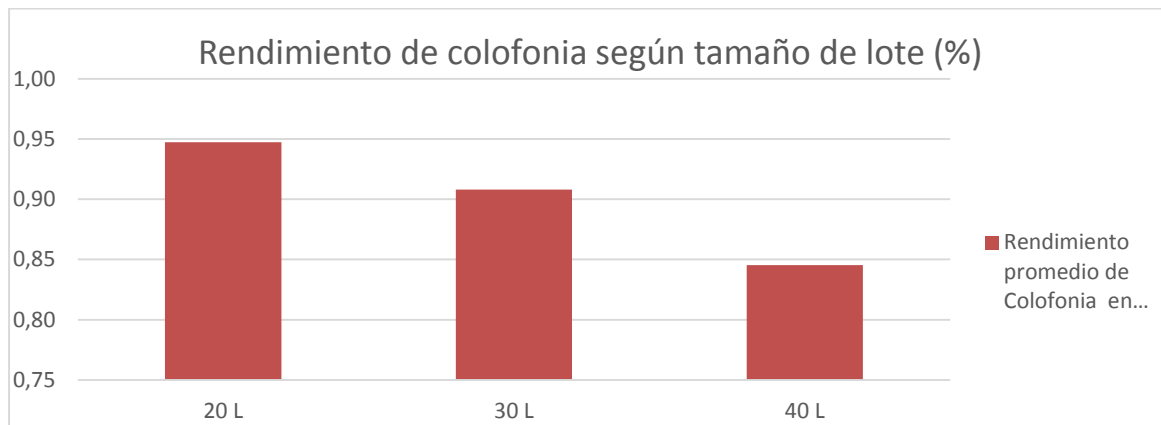


Gráfico	color	promedio	Desviación estándar
Rendimiento con base en el tamaño de lote		89 %	3,65 %

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A partir de la destilación de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl) a nivel planta piloto, se obtiene como producto la colofonia (Rosyn) y como subproducto una mezcla de aguarrás y agua. En el sistema de destilación montado en la planta piloto del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE fueron realizadas las extracciones. Se trabajó a temperatura ambiente, manteniendo la temperatura del sistema no mayor a 110 grados centígrados.

A partir de los resultados de la tesis de Roderico Anibal Aja Morataya en la cual se estableció la proporción (74,29 % colofonia; 20 % aguarrás; 5,71 % agua desmineralizada) con 6 horas de destilación, se partió de dichos valores como parámetros fijos y se varió el tamaño de lote.

Para evaluar la calidad de la colofonia, fueron tomados parámetros fisicoquímicos los cuales, al ser comparados con respecto a la colofonia comercial, permitieron determinar sus diferencias y similitudes.

A partir de la gráfica de densidad, se pudo observar que la densidad aumentó de manera no significativa con el tamaño del lote. El lote con el que se obtuvieron mejores resultados fue el de 40 L en comparación a la colofonia comercial, siendo esta en promedio menor o igual al 2 % de desviación estándar. De esta manera se pudo caracterizar el valor de la densidad de la colofonia Rosyn, con un valor de 0,97 g/mL

A partir del gráfico de punto de fusión, se observó que no hay diferencia significativa al aumentar el tamaño de lote. Dicho valor se pudo haber obtenido por una mejor destilación por la agitación en el sistema; al aumentar la concentración de la colofonia, aumenta su punto de fusión. Los mejores resultados se obtuvieron de las muestras de 40 L, respecto al dato comercial, con una desviación de 1 %. Para la caracterización del punto de fusión de la colofonia Rosyn se obtuvo el valor de 113,89 °C.

A partir del gráfico de dureza, se observa en el resultado, que la dureza aumenta al aumentar el tamaño del lote.

Los mejores resultados se obtuvieron con las muestras de 40 L, al obtener una desviación de 0,016 % respecto al dato comercial. Se caracterizó a partir de este resultado, la dureza de la colofonia Rosyn, siendo este valor 87,44 A Shore.

A partir de la evaluación estadística, para la cual se utilizó un análisis estadístico de varianza de bloques aleatorios por medio de la distribución de Fisher, para un $\alpha = 0,05$ y un factor de Fisher tabulado de 6,94, se observó que ninguno de los datos obtenidos de las características fisicoquímica evaluadas fue mayor al dato de Fisher tabulado. A partir de ello, se niega la hipótesis nula, por lo que se concluye que el tamaño de lote en la destilación por arrastre con vapor no influye en las características fisicoquímicas de la colofonia, la diferencia de la densidad y punto de fusión no es significativa con respecto a la colofonia comercial.

Para evaluar el rendimiento de la destilación mediante arrastre con vapor, se hicieron 3 destilaciones por tamaño de lote, 9 corridas en total. A partir de las destilaciones se pudieron obtener los rendimientos promedio para cada tamaño

de lote. A partir del gráfico de rendimiento de lote según pruebas realizadas, se observan los resultados de los rendimientos obtenidos en relación al dato inicial y se observa que el rendimiento más bajo, se obtiene a partir del lote de 40 L. En el gráfico de rendimiento, según las pruebas realizadas, se observa la tendencia que el rendimiento en distintos tamaños de lote y dicha tendencia es polinómico de grado 2, con una correlación de 0,9244. La destilación óptima obtenida es la de la muestra de 40 L, ya que al obtener menor rendimiento con respecto al dato inicial, se obtienen una mejor destilación y por las características fisicoquímicas obtenidas, se observa, que a partir de dicho lote se puede obtener resina con mayor similitud a la resina comercial.

A partir del gráfico de rendimiento, según tamaño de lote, donde se comparan los rendimientos, se observa que para el lote de 20 L el valor obtenido es muy similar al dato inicial; por lo tanto se observa que la destilación no más ineficiente para este tamaño de lote que para el lote de 40 L.

Para el tamaño de lote de 40 L, se obtuvo un rendimiento promedio de 85 % con un porcentaje de desviación de 1,2 %; para el tamaño de lote 30 L, se obtuvo un rendimiento promedio de 91 % con un porcentaje de desviación de 1,17 %; para el tamaño de lote 20 L, se obtuvo un rendimiento promedio de 90 %, con un porcentaje de desviación de 4,11 %.

A partir de los resultados obtenidos respecto al dato inicial y la gráfica de destilación óptima, se observa una tendencia no lineal entre el rendimiento de destilación de la colofonia y el tamaño de lote, por lo cual era necesario obtener un lote óptimo para la destilación de colofonia a nivel de planta piloto. Se puede observar que el lote que presenta mejor rendimiento es el de 20 L, con un porcentaje de recuperación promedio de 95 %.

Mediante el análisis estadístico para el cual se utilizó un análisis estadístico de varianza de bloques aleatorios por medio de la distribución de Fisher, para un $\alpha = 0,05$ y un factor de Fisher tabulado de 6.94, se observó que el resultado obtenido es mayor al dato tabulado: 10,68 para el valor de Fisher; por lo tanto la hipótesis nula es aceptada y se concluye que el tamaño de lote en la destilación por arrastre con vapor sí influye en el rendimiento de obtención de la colofonia.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de la colofonia Rosyn, al utilizar diferentes tamaños de lote.
2. Con base en el análisis estadístico realizado, se afirma que el lote óptimo para obtener la colofonia Rosyn y de mejor rendimiento es el lote 40 L.
3. No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de gravedad específica, punto de fusión, dureza de la colofonia Rosyn, en función del tamaño del lote.
4. La colofonia obtenida de la resina de pino (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl), proveniente de Granados, Baja Verapaz, posee propiedades fisicoquímicas similares a la colofonia comercial, con un rango de 98 % de validez.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar el efecto del tiempo de destilación en el rendimiento de la destilación de la colofonia a escala piloto.
2. Precalear la resina para mejorar la filtración y obtener una resina con mayor pureza.
3. Realizar un estudio para caracterizar la resina de pino con sus características fisicoquímicas, densidad, punto de fusión y dureza.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJÁ MORATAYA, Roderico Aníbal. *Destilación de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) extraída en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterización de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 112 p.
2. *Chapingo*. [en línea]. <www.chapingo.mx/.../Cruz%20Martinez%20Zocimo%202004.pdf>. [Consulta: 4 de abril de 2017].
3. *Documentación de fichas técnicas*. [En línea]. <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>>. [Consulta: 4 de abril de 2017].
4. GONZÁLES ALMENGOR, Ana Lucrecia. *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 90 p.
5. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. *Estudio técnico evaluación y mejoras al sistema de procesamiento de resina en el municipio de Santa Cruz El Chol, Baja Verapaz*. Guatemala: ICAITI, 2010. 150 p.

6. LÓPEZ RUCUCH, Rigoberto. *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*. Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza, Turrialba, 1996. 148 p.
7. *Materias*. [en línea]. <<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/formadoresdepelicula.pdf>>. [Consulta: 4 de abril de 2017].
8. MCCABE, Warren L.; SMITH C., Julian y METER, Harriot. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 1114 p.
9. PERRY, Robert H. y GREEN Don W. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. México: McGraw Hill. 1999, 596 p.
10. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw Hill, 2000. 862 p.
11. *Resina de soldar*. [en línea]. <<http://www.shoptronica.com/1149-resina-de-soldar-colofonia.html>>. [Consulta: 4 de abril de 2017].

APÉNDICES

Apéndice 1. Peso de colofonia (kg)

Nombre de la muestra	Volumen de la muestra	Peso total de la muestra (Kg)	Peso de agua (Kg)	Peso de aguarrás (Kg)	Peso de resina (Kg)	Peso de colofonia (Kg)
A1 (20L)	20	20,32	4	1,02	15,3	14,46
A2 (20L)	20	20,14	4	1,02	15,12	14,66
A3 (20L)	20	20,51	4	1,18	15,33	14,22
B1 (30L)	30	29,41	6	1,07	22,34	20,14
B2 (30L)	30	29,55	6	1,1	22,45	20,66
B3 (30L)	30	29,36	6	1,08	22,28	20,1
C1 (40L)	40	40,24	8	2,24	30	25,16
C2 (40L)	40	40,23	8	2,22	30,01	25,74
C3 (40L)	40	40,31	8	2,27	30,04	25,21
PROMEDIO		30,01	6,00	1,47	22,54	20,04
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		8,64	1,73	0,58	6,40	4,74
% DESVIACIÓN ESTÁNDAR		28,81	28,87	39,85	28,38	23,66

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Rendimiento de colofonia

Nombre de la muestra	Volumen de la muestra	Rendimiento colofonia con base en peso total inicial (%)	Rendimiento colofonia con base en resina inicial (%)	
A1 (20L)	20	71%	95%	95%
A2 (20L)	20	73%	97%	
A3 (20L)	20	69%	93%	
B1 (30L)	30	68%	90%	91%
B2 (30L)	30	70%	92%	
B3 (30L)	30	68%	90%	
C1 (40L)	40	63%	84%	85%
C2 (40L)	40	64%	86%	
C3 (40L)	40	63%	84%	
PROMEDIO		0,68	0,90	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0,04	0,05	
% DESVIACIÓN ESTÁNDAR		5,57	5,17	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Densidad promedio

Nombre de la muestra	Volumen de la muestra	Densidad	Densidad promedio	Desviación estándar densidad	Densidad teórica	Diferencia teórica densidad (%)	Diferencia teórica densidad promedio (%)
A1 (20L)	20	0,94	0,93	0,011865496	0,99	5%	6%
A2 (20L)	20	0,93		0,013891124	0,99	7%	
A3 (20L)	20	0,92		0,030896008	0,99	7%	
B1 (30L)	30	0,95	0,95	0,040186606	0,99	4%	4%
B2 (30L)	30	0,96		0,025166115	0,99	3%	
B3 (30L)	30	0,95		0,036055513	0,99	4%	
C1 (40L)	40	0,98	0,97	0,028786339	0,99	1%	2%
C2 (40L)	40	0,97		0,016494039	0,99	2%	
C3 (40L)	40	0,97		0,019689175	0,99	2%	
PROMEDIO		0,95		0,02	0,99	4%	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		0,02		0,01	0,00	0,02	
% DESVIACIÓN ESTÁNDAR		2,12		40,30	0,00	51,82	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Punto de fusión

Nombre de la muestra	Volumen de la muestra	Punto de fusión	Punto de fusión Promedio	Desviación estándar de punto de fusión	Punto de fusión teórica	Diferencia teórica de punto de fusión (%)	Diferencia teórica de punto de fusión promedio (%)
A1 (20L)	20	88,00	88,33	3,605551275	115	23%	23%
A2 (20L)	20	90,00		1	115	22%	
A3 (20L)	20	87,00		1	115	24%	
B1 (30L)	30	101,67	99,78	3,06	115	12%	13%
B2 (30L)	30	99,00		3,00	115	14%	
B3 (30L)	30	98,67		2,08	115	14%	
C1 (40L)	40	114,00	113,89	1	115	1%	1%
C2 (40L)	40	113,33		1,527525232	115	1%	
C3 (40L)	40	114,33		0,577350269	115	1%	
PROMEDIO		100,67		1,87	115,00	0,12	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		11,15		1,11	0,00	0,10	
% DESVIACIÓN ESTÁNDAR		11,07		59,12	0,00	77,76	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Dureza

Nombre de la muestra	Volumen de la muestra	Dureza	Dureza de fusión	desviación estándar de dureza	Dureza teórica	Diferencia teórica de Dureza (%)	Diferencia teórica de Dureza (%)
A1 (20L)	20	72,33	72,44	4,04	86	0,158914729	0,157622739
A2 (20L)	20	75,00		5,57	86	0,127906977	
A3 (20L)	20	70,00		3,61	86	0,186046512	
B1 (30L)	30	79,00	78,67	1,73	86	0,081395349	0,085271318
B2 (30L)	30	79,00		4,58	86	0,081395349	
B3 (30L)	30	78,00		1,73	86	0,093023256	
C1 (40L)	40	87,00	87,44	1,732050808	86	0,011627907	0,016795866
C2 (40L)	40	88,67		1,527525232	86	0,031007752	
C3 (40L)	40	86,67		1,527525232	86	0,007751938	
PROMEDIO		79,52		2,89	86,00	0,09	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR		6,67		1,57	0,00	0,06	
% DESVIACIÓN ESTÁNDAR		8,39		54,09	0,00	72,89	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Análisis estadístico de densidad

DENSIDAD							
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	S.C. CUADRATICO	FO			
TRATAMIENTOS	8,80425E-05	2	4,40212E-05	1,50621373			
BLOQUES	0,003059485	2	0,001529743				
ERROR	0,000116906	4	2,92264E-05				
TOTAL	0,003264434	8					
fo>ftab ftab=6,94 α=0,05	FALSO	se niega Ho, no hay diferencia significativa en la densidad por tamaño de lote					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Análisis estadísticos de dureza

DUREZA						
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	S.C. CUADRATICO	FO		
TRATAMIENTOS	10,69135802	2	5,345679012	4,46391753		
BLOQUES	340,7654321	2	170,382716			
ERROR	4,790123457	4	1,197530864			
TOTAL	356,2469136	8				
fo>ftab ftab=6,94 $\alpha=0,05$	FALSO	se niega Ho, no hay diferencia significativa en la dureza por tamaño de lote				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Análisis estadístico de punto de fusión

PUNTO DE FUSIÓN						
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	S.C. CUADRATICO	FO		
TRATAMIENTOS	2,296296296	2	1,148148148	0,55357143		
BLOQUES	983,1851852	2	491,5925926			
ERROR	8,296296296	4	2,074074074			
TOTAL	993,7777778	8				
fo>ftab ftab=6,94 $\alpha=0,05$	FALSO	se niega Ho, no hay diferencia significativa en el punto de fusión por tamaño de lote				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Análisis estadístico de rendimiento

RENDIMIENTO				
FUENTE DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	S.C. CUADRÁTICO	FO
TRATAMIENTOS	55,04893418	2	27,52446709	10,6772958
BLOQUES	63,28606212	2	31,64303106	
ERROR	128,6463963	8	16,08079954	
TOTAL	10,3114	4		
fo>ftab ftab=6,94 α=0,05	VERDADERO	se acepta Ho, si hay diferencia significativa en el rendimiento por tamaño de lote		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Oleorresina de pino en municipio de Granados, Baja Verapaz



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Sistema de filtración de oleorresina de pino por medio de calentamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Sistema de filtración de oleorresina de pino por medio de calentamiento**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Sistema de filtración de oleorresina de pino**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Sistema de condensación**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Marmita de destilación de resina de pino**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Destilación de colofonia**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Resultado destilación de colofonia**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Resultado destilación de colofonia**



Fuente: elaboración propia.

