



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

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL
PINO OCOTE (*Pinus oocarpa schiede ex schldt*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE
GRANADOS BAJA VERAPAZ**

Arturo Estuardo Cabrera Castañeda

Asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales
e Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL
PINO OCOTE (*Pinus oocarpa schiede ex schldt*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE
GRANADOS BAJA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ARTURO ESTUARDO CABRERA CASTAÑEDA
ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES
E ING. MARIO JOSÉ MERIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

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	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
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:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa schiede ex schldt*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS BAJA VERAPAZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de junio de 2014.

Arturo Estuardo Cabrera Castañeda



Guatemala, 20 de junio de 2014
Ref. EIQ.TG-DI.028.2014

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Registro de Evaluación del diseño de investigación EIQ-REG-TG-002, correlativo **028-2014**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por el estudiante universitario: **Arturo Estuardo Cabrera Castañeda**.
Identificado con número de carné: **2008-15578**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldt*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS BAJA VERAPAZ

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

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Guatemala, 28 de Enero 2016

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 "EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldt*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS BAJA VERAPAZ", del estudiante de Ingeniería Química Arturo Estuardo Cabrera Castañeda quien se identifica con el carné número 2008-15578.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
JEFE
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales
Sección Química Industrial CII / USAC
Asesor



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Profesora Investigadora Titula IX
Sección Química Industrial
Centro de Investigaciones de Ingeniería/USAC
Asesora





Guatemala, 12 de agosto de 2016.
Ref. EIQ.TG-IF.041.2016.

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 **028-2014** 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 el estudiante universitario: **Arturo Estuardo Cabrera Castañeda**.
Identificado con número de carné: **2008-15578**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.

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:

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS BAJA VERAPAZ

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"


Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.055.2016

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, **ARTURO ESTUARDO CABRERA CASTAÑEDA** titulado: **"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"**. 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 Davila
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2016

Cc: Archivo
CSWD/ale



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: **EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COLOFONIA OBTENIDA DE LA RESINA DEL PINO OCOTE (Pinus occarpa schiede ex schldt) A ESCALA PLANTA PILOTO, COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA A LA PRODUCCIÓN ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE GRANADOS BAJA VERAPAZ**, presentado por el estudiante universitario: **Arturo Estuardo Cabrera Castañeda**, 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, octubre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme siempre, darme la fuerza para nunca desistir a mis sueños y jamás abandonarme en las situaciones más difíciles de mi vida.
- Mis padres** José Luis Cabrera Cabrera y Blanca Marily Castañeda González de Cabrera, por su amor y apoyo incondicional; ejemplo de esfuerzo, fortaleza y perseverancia; y especialmente, por transmitirme los valores y principios que hoy forman parte de mi esencia.
- Mis hermanos** José Renato, Luis Emilio y Mariano André (q. e. p. d.) Cabrera Castañeda por haber sido mis modelos a seguir, mis grandes protectores y el consejo con el que siempre puedo contar aquí en la tierra y desde el cielo.
- Mi abuela** María Concepción González Castañeda (q. e. p. d.), pues desde el cielo sigue siendo la segunda madre de la cual aprendí las primeras letras que iniciaron el camino hacia este momento.

Mis sobrinos

Carmen Marily, Angélica Natalia y Nickolas Estuardo Cabrera Urizandi, Luis Emilio y María Andréa Cabrera Ortega, para que este logro los motive a perseguir sus propias metas y construyan un futuro próspero para nuestra familia.

Mis cuñadas

María de los Ángeles Urizandi, Ada Gabriela Ortega, porque con su cariño y apoyo se han convertido en hermanas para mí.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por permitirme superar todos los obstáculos de esta carrera universitaria.
- Mi familia** Por cada contribución pequeña o grande durante el cumplimiento de esta meta, especialmente a mi tía Reyna Isabel González Castañeda (q. e. p. d.), por ser el apoyo más importante en los peores retos de nuestra familia.
- Mi novia** Carmen Orellana, por ser mi mejor amiga y brindarme la motivación que necesitaba en esta última etapa.
- Mis amigos** Por compartir conmigo experiencias inolvidables.
- Facultad de Ingeniería y Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser la fuente de conocimiento y herramientas necesarias para convertirme en un profesional ético y productivo para mi país.
- Mis asesores** Inga. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Mario José Mérida Meré, por transmitir su conocimiento técnico y especial motivación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis	XVI
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Origen de la colofonia.....	1
1.1.1. Internacional	2
1.1.2. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Pino de ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex shldt</i>)	5
2.1.1. Distribución ecológica.....	7
2.1.2. Características.....	8
2.1.3. Resina	9
2.1.3.1. Colofonia	10
2.1.3.2. Aguarrás	11
2.1.3.3. Métodos de resinación.....	12
2.2. Análisis fisicoquímicos aplicables a la colofonia.....	16
2.2.1. Índice de acidez.....	17
2.2.2. Trazas de aguarrás presentes	17

2.2.3.	Cenizas totales.....	18
2.2.4.	Rendimiento (%).....	18
2.2.5.	Densidad (g/cm ³).....	19
2.2.6.	Color.....	19
2.2.7.	Elementos extraños.....	19
2.2.8.	Dureza.....	20
2.2.9.	Punto de reblandecimiento.....	20
2.3.	Destilación.....	21
2.4.	Enfoque económico.....	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables	26
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	26
3.3.	Recursos humanos disponibles	27
3.3.1.	Investigador.....	27
3.3.2.	Asesores	27
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....	28
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	36
3.8.	Análisis estadístico.....	39
4.	RESULTADOS.....	49
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	55
	CONCLUSIONES.....	61

RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA.....	65
APÉNDICES	69
ANEXOS.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ácido abiético.....	1
2.	Otros ácidos resínicos.....	2
3.	Estratificación interna de un árbol.....	7
4.	Distribución potencial del pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) en Centroamérica.....	8
5.	Precio de colofonia.....	22
6.	Distribución t-student.....	41
7.	Región de rechazo de la hipótesis nula.....	42
8.	Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) respecto a la formulación de la mezcla trabajada para cada tiempo de extracción.....	50
9.	Densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada.....	51
10.	Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada.....	52
11.	Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada.....	53

TABLAS

I.	Características de la especie	9
II.	Propiedades generales de la colofonia	11
III.	Propiedades generales del aguarrás	11
IV.	Descripción de métodos de resinación	13
V.	Ventajas y desventajas de métodos de resinación	14
VI.	Aspectos considerados para la selección de proveedores de resina....	15
VII.	Características del lugar de recolección	23
VIII.	Procedimiento experimental	25
IX.	Variables de operación	26
X.	Asesoría técnica disponible	27
XI.	Técnicas cualitativas y cuantitativas	29
XII.	Resina recuperada después de las filtraciones	34
XIII.	Masa de resina, agua y aguarrás utilizadas en la formulación de la mezcla 1 y 2 para ambos tiempos de destilación	35
XIV.	Masa de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	35
XV.	Parámetros de trabajo	36
XVI.	Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	36
XVII.	Cálculo de masa total de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	37
XVIII.	Cálculo de rendimiento promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	37

XIX.	Cálculo de densidad promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación	38
XX.	Cálculo de dureza promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación	38
XXI.	Comprobación de hipótesis planteadas para cada parámetro analizado.....	43
XXII.	Incerteza y desviación estándar del rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación	47
XXIII.	Incerteza y desviación estándar de la densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación	47
XXIV.	Incertidumbre y desviación estándar para la medición de la dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	48
XXV.	Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) respecto a la formulación de la mezcla trabajada para cada tiempo de extracción	49
XXVI.	Densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada	50
XXVII.	Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schltl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada	51

XXVIII.	Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada.....	52
XXIX.	Análisis cualitativo de muestras de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schtdl</i>) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
x_i	Dato de la muestra
ρ	Densidad de colofonia (kg/m^3)
s	Desviación estándar
Sp	Desviación estándar combinada
s_1	Desviación estándar condición 1
s_2	Desviación estándar condición 2
$\Delta\rho$	Incerteza del cálculo de densidad de colofonia (kg/m^3).
δm_T	Incerteza del cálculo de masa total de colofonia (kg).
$\Delta\%R$	Incerteza del cálculo de rendimiento de colofonia (%).
δV	Incertidumbre al medir el volumen de colofonia (m^3).
δm	Incertidumbre al medir la masa de colofonia en cubeta (kg).
δm_m	Incertidumbre al medir la masa de colofonia en frasco (kg).
δm_i	Incertidumbre al medir la masa de la mezcla inicial a destilar (kg).
m	Masa de colofonia en cubeta (kg).
m_m	Masa de colofonia en frasco (kg).
m_i	Masa de mezcla a destilar (kg).
m_T	Masa total de colofonia (kg).
m_{Tc}	Masa total de cubeta y colofonia (kg).

m_{Tf}	Masa total de frasco y colofonia (kg)
\bar{x}_1	Media condición 1
\bar{x}_2	Media condición 2
\bar{x}	Promedio
$\%R$	Rendimiento de colofonia (%)
n_1	Tamaño de muestra condición 1
n_2	Tamaño de muestra condición 2
m_c	Tara cubeta (kg)
m_f	Tara frasco (kg)
n	Total de datos en la muestra
t	Valor t -Student
V	Volumen de colofonia (m ³)

GLOSARIO

Ácido abiético	Resina ácida que contribuye a la protección de los árboles contra el ataque por hongos, también denominado ácido abiético o sílvico.
Canales resiníferos	Cavidades en forma tubular presentes en las coníferas en las cuales se almacena una sustancia viscosa que protege a la planta del ataque de hongos e insectos denominada resina.
Estróbilos	Estructura basada en un eje terminal, alrededor del cual se despliegan hojas reproductivas con una disposición generalmente helicoidal, presente en las plantas coníferas.
Hidrocarburos terpénicos	Son una familia de hidrocarburos cuyos esqueletos de carbono están compuestos de unidades de isopentilo (isopreno) cuya molécula y unidad tienen una cabeza (el extremo ramificado) y una cola (el extremo etilo no ramificado).
Parenquima	Tejido vegetal que rellena la mayoría de los espacios libres que dejan los órganos y otros tejidos. Su forma y función puede ser variada.

Picas	En los métodos de resinación de pinos, consiste en levantar tiras de corteza y albura paralelas a la primera pica, determinado por el ancho y profundidad constantes, con sus alturas correspondientes.
Traquiedas	Célula conductora propia de las gimnospermas ubicada en el xilema, por donde circula la savia bruta.
Trementina	Líquido volátil e incoloro producido mediante la destilación de resina de diversas especies de coníferas, también conocido como aguarrás.
t-Student	Distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida, cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

RESUMEN

El presente proyecto se basa en la extracción de colofonia a través de la destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) a escala planta piloto, como paso intermedio entre el proceso experimental de laboratorio y la producción industrial.

Las muestras de resina se recolectaron en el municipio de Granados, Baja Verapaz. En las instalaciones de trabajo, área de planta piloto del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se procedió a eliminar los residuos sólidos como material vegetal, hojas, ramas y corteza, insectos o cualquier resto inorgánico proveniente de la zona de recolección. La resina se filtró y almacenó en recipientes apropiados con el fin de asegurar la ausencia de impurezas en las muestras. Esta no se calentó, pues su viscosidad ya era la adecuada y de fácil manipulación.

Se analizaron 2 mezclas, la núm. 1 con una proporción de 74,29 % de resina, 20 % de agua y 5,71 % de aguarrás; y la núm. 2 con 74,29 % de resina, 17,14 % de agua y 8,57 %. La destilación de ambas mezclas se evaluó a 2 diferentes tiempos de 4 y 7 horas con 3 repeticiones en cada uno, efectuando un total de 12 unidades experimentales. La destilación se basó en calentar las mezclas preparadas por el tiempo estipulado para permitir la evaporación del material volátil, logrando aislar el remanente en la marmita de destilación para su análisis posterior.

El experimento permitió comparar los rendimientos de colofonia entre cada una de las mezclas. La mezcla 2 (74,29 %, 17,14 %, 8,57 %) presentó los rendimientos más altos de colofonia, 67,77 % y 67,21 %, para 4 y 7 horas, respectivamente, con lo cual se concluyó que una cantidad mayor de aguarrás brinda un mayor rendimiento de producto remanente. Además, los rendimientos de colofonia al destilar por 4 horas fueron mayores al compararlos con los obtenidos a 7 horas en cada mezcla. El caso más notable es el de la mezcla 1 (74,29 %, 20 %, 5,71 %), cuyo rendimiento fue 66,75 % al destilar por 4 horas y 64,14 % al hacerlo por 7 horas. Por otro lado, se comprobó cuantitativamente que el tiempo afecta las propiedades de la colofonia obtenida, pues su densidad y dureza aumentaron al trabajar la destilación por un tiempo más prolongado. La destilación de la mezcla 1 sometida a un tiempo de 7 horas presentó los valores más altos de densidad y dureza de colofonia, 1 058,57 kg/m³ y 4,00 kg/cm², respectivamente. Asimismo, la destilación de la mezcla 2 a 7 horas presentó valores más altos de densidad y dureza, 1 042,17 kg/m³ y 1,22 kg/cm², que al realizar el proceso a 4 horas.

La colofonia obtenida de la destilación de la mezcla 1 (74,29 %, 20 %, 5,71 %) a 7 horas presentó las mejores propiedades fisicoquímicas de colofonia, siempre procurando una agitación continua y la mayor temperatura posible.

Por medio del método de la *t*-Student se comprobó cuantitativamente que existe una diferencia significativa, únicamente entre el porcentaje de rendimiento de colofonia de la mezcla 1 y la 2 a un tiempo de 4 horas, y entre la dureza de colofonia obtenida al destilar la mezcla 1 a 4 horas y 7 horas; esto con base en los estadísticos de prueba de -4,248 y -2,837 respectivamente. Los errores de precisión y exactitud se generaron por la incertidumbre de los equipos de medición utilizados, además del error humano en las repeticiones efectuadas.

OBJETIVOS

General

Obtener y caracterizar fisicoquímicamente la colofonia de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a escala planta piloto, evaluando el efecto de las distintas proporciones de cada componente involucrado y el tiempo de destilación sobre el rendimiento y las propiedades de la misma, respectivamente.

Específicos

1. Extraer la colofonia (*Rosyn*) de la resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a través de la destilación a escala planta piloto.
2. Evaluar los porcentajes de rendimiento de la colofonia (*Rosyn*) obtenidos en el proceso de destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) en 2 mezclas distintas de agua-aguarrás-resina.
3. Evaluar el efecto del tiempo en el proceso de destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) sobre las propiedades fisicoquímicas de la colofonia (*Rosyn*).
4. Caracterizar fisicoquímicamente la colofonia (*Rosyn*) obtenida de la destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a escala planta piloto.

Hipótesis

Es posible la extracción de la colofonia, *Rosyn*, de la resina de pino de ocote, *Pinus oocarpa schiede ex schltl*, y su caracterización fisicoquímica; por medio de la operación unitaria llamada destilación, la cual puede ser afectada significativamente por la proporción de la mezcla agua-aguarrás-resina y el tiempo.

Hipótesis nula (H_0)

1. No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de colofonia (*Rosyn*) al realizar la destilación de 2 mezclas con distintas proporciones de agua-aguarrás-resina.

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

2. No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia (*Rosyn*) obtenida a diferentes tiempos de destilación.

$$\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$$

Hipótesis alternativa (H_i)

1. Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de colofonia (*Rosyn*) al realizar la destilación de 2 mezclas con distintas proporciones de agua-aguarrás-resina.

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

2. Existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia (*Rosyn*) obtenida a diferentes tiempos de destilación.

$$\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3$$

INTRODUCCIÓN

La resinación es un método alternativo que se utiliza para aprovechar los recursos forestales y no limitar su beneficio a la explotación maderera, cuyo principal efecto es la deforestación. Sin embargo, aún es común que los productores comercialicen la resina a un bajo precio por desconocer o menospreciar su potencial al momento de ser transformada en productos secundarios.

La resina se obtiene, principalmente de las diversas especies de pino existentes, realizando incisiones en el árbol a modo de herir tan profundo como sea necesario hasta que la misma emane desde el interior. El tipo de incisión y la aplicación de estimulante dependen del método utilizado, y asimismo, el rendimiento y calidad de la resina. Este producto se somete a un proceso de destilación por arrastre de vapor que separa la fracción volátil, el aguarrás, de la fracción no volátil, colofonia. Ambos subproductos se pueden comercializar a precios más altos y representan una opción económicamente más fructífera que la resina sin procesar.

En Guatemala, la explotación de resina de pino contribuye a la conservación del ambiente y al desarrollo sostenible de la región; aunque aún se utilizan métodos rústicos de resinación que provocan una depredación ambiental, pues llevan a la muerte de las especies. Lo anterior provoca que el mayor enfoque de explotación forestal se ubique en la tala de árboles y su posterior comercialización en madera. Por otro lado, los métodos de resinación técnicamente sofisticados y que utilizan estimulantes, aplican el potencial que

los árboles poseen sin destruirlos y posibilitan el primer paso de una larga línea de producción industrial con una diversidad de aplicaciones.

Actualmente, la mayor parte de la colofonia se emplea en la obtención de varios tipos de colofonias modificadas con aplicaciones diferentes, como: adhesivos, cola para papel, tintas, barnices, resinas sintéticas, resinas desproporcionadas, hidrogenadas, oxidadas, tejidos, industria de goma, vedaciones. Asimismo, el aguarrás es de amplio uso en la industria química, como fuente de aromas, fragancias, sabor, insecticidas, disolventes, entre otros.

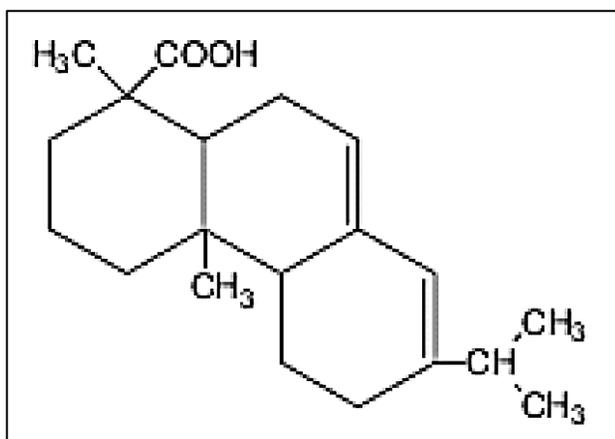
Este proyecto se propone promover la obtención de colofonia a partir de la resina de pino en la búsqueda del desarrollo económico de la región y la preservación de los recursos medioambientales. Como consecuencia, el desarrollo e investigación de dicho proceso representa la clave para encontrar mecanismos eficientes con altos rendimientos y que deriven en un producto de alta calidad.

1. ANTECEDENTES

1.1. Origen de la colofonia

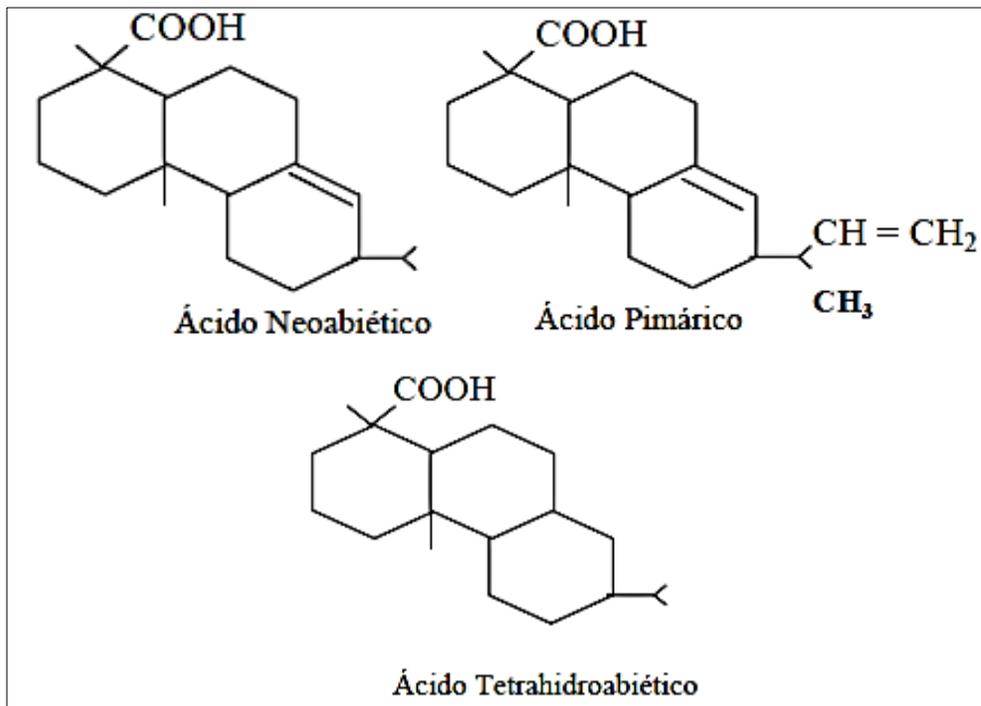
Es el residuo de la goma resina extraída por medio de destilación del género *Pinus*, es una resina sólida de color parda o amarillenta, está compuesta por porcentajes constantes de ácidos abiéticos, hidroabiéticos, neoabiéticos, pimáricos, levopimáricos, isopimáricos, los cuales son los responsables de la reactividad que el producto posee. La colofonia, al no presentar impurezas nocivas después de un tratamiento adecuado y purificación, presenta buenos índices de tolerancia al heptano y al etanol.

Figura 1. **Ácido abiético**



Fuente: RODRÍGUEZ NEGRÍN, Z. *Determinación cuantitativa de ácidos resínicos*.
<http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/2190/1732>. Consulta: junio de 2014.

Figura 2. Otros ácidos resínicos



Fuente: Struktol Company of America. *Manual del caucho*.

http://www.struktol.com/pdfs/Manual_del_caucho.pdf. Consulta: junio de 2014.

Actualmente se han realizado diferentes estudios utilizando, como materia prima la colofonia debido a todas sus propiedades, muchos de estos estudios se han desarrollado a nivel laboratorio o planta piloto, los cuales han sido utilizados como base para demás estudios, entre las investigaciones hechas se encuentran las siguientes:

1.1.1. Internacional

En 1996 se llevó a cabo una investigación de posgrado en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza (Turrialba, Costa Rica), por Rigoberto López Rucuch, basado en la comparación de dos métodos de

resinación, de copa y canal y de espina de pescado, a los que fueron sometidos tres especies de pinos entre ellas el pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltl*). Este proyecto se desarrolló con el fin de fomentar la utilización de estos dos métodos de resinación en el área de la cuenca de río Chixoy, en sustitución del método tradicional cuya explotación era ineficiente y poco amigable con la especie.

1.1.2. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)

- Ingeniería Química

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se han llevado a cabo varios proyectos relacionados a la resina de pino, específicamente de la especie pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltl*), desde estudios de la composición química de su madera hasta el desarrollo de productos terminados a partir de los resultantes secundarios de su resina, como jabones y barnices.

Uno de los proyectos pioneros es el del ingeniero químico Rodolfo Villalba, Farnes, quien en 1994 propuso el desarrollo de un producto adhesivo para una aplicación específica en la industria papelera que utiliza como base una materia prima nacional, refiriéndose a la colofonia extraída de la resina de pino.

Esto promovió una serie de investigaciones en los años posteriores relacionados al estudio de la especie pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltl*), su extracción de resina y específicamente el aprovechamiento de la colofonia obtenida a partir de la misma. Cabe mencionar el trabajo presentado por Mario Roberto González Pimentel denominado *Determinación de la*

composición química de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz, en 2005.

En el 2006, Roderico Anibal Aja Morataya desarrolló un proyecto de investigación que involucraba operaciones unitarias y que representó la etapa inicial para el escalamiento del proceso de *Destilacion de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) extraida en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterizacion de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio*, hacía el que se aspiraba sería el proceso en planta piloto.

Recientemente se han elaborado trabajos de graduación relacionados a la misma especie de pino y al versátil producto de su resinación, la colofonia. De forma adicional a la línea de investigación acerca de este campo, estos trabajos aplican la colofonia al emprendimiento de productos terminados con buenas expectativas a nivel comercial. Entre estos se pueden referir los siguientes: Ana Lucrecia González Almengor, *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados* en el 2012.

Asimismo, Geraldina Elizabeth García Quiroa, con su estudio hacia la *Formulación y caracterización química del barniz fluorado para uso dental a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex Schltl), variando concentraciones de fluoruro de sodio y Etanol, a nivel laboratorio.*

Finalmente, el trabajo de Marcela Cristina Hernández Cardona; *Formulación y caracterización de un jabón para uso corporal a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl), a nivel laboratorio* en el 2013; asesorado, al igual que los anteriores, por la ingeniera Telma Maricela Cano Morales.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pino de ocote (*Pinus oocarpa schiede ex shldt*)

El pino de ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldt*) se incluye dentro de la clasificación de uno de los dos tipos de plantas con semillas, *gimnospermas* (el segundo grupo es el de las angiospermas). La palabra *gimnosperma* significa en griego semilla desnuda¹. Este tipo de plantas contienen las semillas retenidas o expuestas en las escamas de sus conos o estróbilos.

Las gimnospermas, a su vez, se clasifican en cuatro divisiones, de las cuales la mayor es *Coniferophyta* o comúnmente llamadas coníferas entre las que se incluye el pino de ocote (las tres divisiones restantes son *Ginkgophyta*, *Cycadophyta* y *Gnetophyta*).

Las coníferas son árboles o arbustos leñosos que producen capas anuales de madera y corteza que constituyen los tejidos secundarios, cuyas células largas afiladas presentan orificios a través de los cuales y los minerales disueltos pasan de una célula a otra. Diversas coníferas, especialmente el pino de ocote, producen una sustancia viscosa transparente o translúcida formada por varios compuestos orgánicos que protegen a la planta del ataque de hongos o insectos conocida como resina; esta se acumula en cavidades en forma de tubo ubicadas por todas las raíces, tallos y hojas denominadas canales resiníferos; específicamente se produce y secreta por las células que recubren a estos últimos.

¹ SOLOMÓN. *Libro de Biología*. p. 601.

El ser humano aprovecha las coníferas para obtener madera (sobre todo para la construcción y la industria del papel), medicamentos (como el anticancerígeno taxol que se extrae del tejo del Pacífico), trementina y resinas².

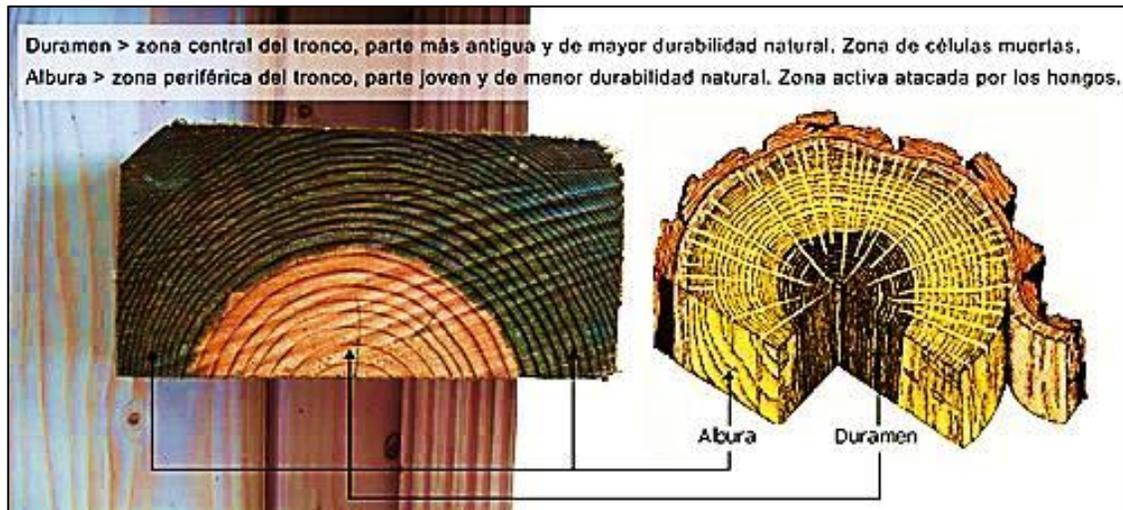
Las plantas gimnospermas con estróbilos, como el pino ocote, presentan crecimiento secundario, es decir, un aumento en el diámetro de tallos y raíces que resulta en un tallo leñoso o tronco. Entre la corteza y la madera existen tejidos meristemáticos o de crecimiento, específicos de las plantas leñosas, denominados *cambium*. Cuando las células del *cambium vascular* se dividen, producen el xilema secundario (madera) y floema secundario (corteza interna) que sustituyen al xilema primario y floema primario, respectivamente. Por otro lado, cuando las células del cambium suberógeno se dividen producen la peridermis (corteza externa) que reemplaza a la epidermis.

En la madera de un árbol se pueden distinguir dos capas principales, la albura, una capa delgada de madera más joven y de color claro que se sitúa junto a la corteza; y el duramen, la madera más antigua en el centro del árbol que es de color rojo pardusco.

Las resinas se encuentran en el duramen taponando sus vasos y traquiedas junto con pigmentos, taninos, gomas, resinas y otros materiales. Por tanto, este cumple con el objetivo de almacenar productos de desecho más que de transportar, además aporta el sostén estructural del árbol, siendo más denso que la albura.

² SOLOMÓN. *Libro de Biología*. p. 601.

Figura 3. Estratificación interna de un árbol



Fuente: Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso*.
www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1. Consulta: 16 de marzo de 2014.

2.1.1. Distribución ecológica

El pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) se distribuye desde México, Guatemala, El Salvador, Honduras, hasta llegar al noreste de Nicaragua. En estos últimos cuatro, esta especie es la dominante de los bosques de pino.

En Guatemala se distribuye en el sur del departamento de Huehuetenango, nororiente de Totonicapán, las verapaces y Quiché; donde es conocido como “pino colorado o de ocote”.

Figura 4. **Distribución potencial del pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en Centroamérica**



Fuente: *Pinus oocarpa schiede ex schltdl*. http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/pinus_oocarpa.pdf. Consulta: 20 de marzo de 2014.

2.1.2. Características

El pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) se encuentra a altitudes desde 500 hasta 2 400 msnm, sin embargo, alcanza su mayor desarrollo de 700 a 1 500 msnm, pues dichas altitudes brindan el hábitat natural que esta especie requiere con temperaturas entre 13 y 23 °C y precipitaciones de 650 a 2 000 mm, con una época seca de 5 a 6 meses. El pino oocarpa se adapta a diferentes tipos de suelo, erosionados e infértiles, delgados, arenoso, pedregosos y accidentados, de ácidos a neutros.

Tabla I. **Características de la especie**

Característica	Descripción
Alturas alcanzadas	12 a 45 m
Diametro alcanzado	2 m
Fuste	Recto y cilíndrico
Copa	Redondeada, frecuentemente irregular y, ramas finas y relativamente ralas, las inferiores horizontales, las superiores ascendentes.
Corteza	Rojiza oscuro a grisáceo, fuertemente fisurada.
Hojas	Ramas fuertes y extendidas en grupos de 3, 4 o 5 en forma de aguja, con longitud desde 14 a 25 cm y hasta 1,5 mm de ancho. De color verde claro y vivo; además son rígidas y ubicadas en el extremo de la rama.
Flores	Presenta pequeñas en la copa y en las ramas inferiores.
Conos	Presentan un color café oscuro con escamas leñosas que los hacen fuertes y pesados con longitud entre 2,5 y 10 cm y ancho entre 4 y 7,5 cm, distribuidos en grupos de dos o 3 en la rama.
Semillas	Triangulares de 4 a 7 mm.
Hábitat	Clima subtropical húmedo y muy húmedo.
Canales resiníferos verticales	60/cm ² en corte tangencial.
Canales resiníferos horizontales	31/cm ² en corte radial

Fuente: *Pinus oocarpa schiede ex schtdl.* http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/pinus_oocarpa.pdf. Consulta: 20 de marzo de 2014.

2.1.3. Resina

“La resina de los pinos y sus productos derivados han sido utilizados por el hombre desde épocas remotas y aparecen en las culturas más antiguas en todo el mundo, de tal forma que la primera referencia se encuentra en la Biblia, en el Génesis 614, donde Noé es llamado por Dios a construir un arca de madera y calafatear las juntas con resina de pino.”³

La producción comercial de resina alcanzó su apogeo, en los Estados Unidos de Norteamérica, en 1805, luego de doscientos años de haber iniciado.

³ LÓPEZ RUCUCH, RIGOBERTO. *Comparación de dos métodos de resinación, en pinusoocarpaSchiede, P. montezumae Lambert y P. pseudostrobusLindl., en la cuenca alta del rio Chixoy.* p. 115.

La resina se producía especialmente en Carolina de Norte donde se ubicaban más de 1 500 empresas destiladoras.

“En Guatemala hay datos únicamente sobre la importancia del producto que de 1973 a 1977 alcanzó la cifra de 881 785 kg en derivados que comprenden gomas, lacas y resinas.”⁴

La resina se encuentra alojada en los canales resiníferos de la raíz, tronco y ramas de los pinos. Estos se encuentran dentro de las colonias de células vivas del parénquima que se distribuyen a lo largo y en sentido transversal al eje de la madera, ramas y raíces del árbol. Es por esto, que al cortar o herir la corteza de un árbol hasta el xilema secundario en una conífera, esta presenta un flujo de resina desde el interior de los canales resiníferos expuestos como reacción fisiológica para cicatrizar las heridas de la madera.

2.1.3.1. Colofonia

Es una resina natural sólida de color ámbar y translúcida obtenida como producto de la destilación de la resina o trementina de los pinos, representando una fracción no volátil de más del 70 % de la misma. Por otro lado, otro producto es obtenido del proceso de destilación, el aguarrás que constituye una fracción líquida o semigaseosa de aproximadamente el 20 % de la resina; el resto corresponde a impurezas.

La colofonia está constituida por ácidos resínicos, en su mayoría ácido abietínico y pimárico. Las características de la colofonia depende mucho de la época en que fue sangrado el árbol y el cuidado que se ponga al recoger y tratar la oleoresina.

⁴ LÓPEZ RUCUCH, RIGOBERTO. *Comparación de dos métodos de resinación, en pinusocarpaSchiede, P. montezumae Lambert y P. pseudostrobusLindl., en la cuenca alta del rio Chixoy.* p. 116.

Tabla II. **Propiedades generales de la colofonia**

Parámetro	Descripción
A temperatura ambiente	Dura y quebradiza
En calentamiento	Pegajosa de aspecto vítreo y fragmentos angulosos, translúcidos, casi inodora e insípida. Desprende gases inflamables.
Peso específico	1,07 a 1,08
Solubilidad	Insoluble en agua. Soluble en alcohol, benceno, éter, ácido acético glacial, aceites, disulfuro de carbono, soluciones diluidas de hidróxidos alcalinos fijos.
Reactividad	Combustible, poco tóxica.

Fuente: PERRY, ROBERT H. *Manual del químico*. p. 258.

2.1.3.2. **Aguarrás**

Es la fracción volátil de la resina constituida esencialmente por hidrocarburos terpénicos monocíclicos, hidrocarburos terpénicos bicíclicos.

Tabla III. **Propiedades generales del aguarrás**

Parámetro	Descripción
Estado	Líquido
Color	Incoloro
Ácidoz	Neutro
Solubilidad	Inmiscible con el agua y más ligero que esta. Soluble en alcohol, éter, sulfuro de carbono, bencina, aceites grasos, pinturas de aceite, barnices.
Peso específico	0,800 y 0,877 a 15 °C.
Temperatura de ignición	32-42 °C
Punto de ebullición	160 °C
Temperatura de autoignición	254 °C
Reactividad	Tóxico por ingestión, moderadamente tóxico por inhalación y absorción cutánea, con tolerancia de 100 ppm en el aire.

Fuente: PERRY, ROBERT H. *Manual del ingeniero químico*. p. 263.

2.1.3.3. Métodos de resinación

Son las operaciones a las cuales se somete un árbol, especialmente los del género *pinus*, para propiciar la remoción de la oleorresina que se condensa en las células de parénquima desde la región interna de la corteza hacia el exterior con el fin de utilizarla comercialmente.

De manera general, se pueden mencionar las siguientes etapas en una resinación:

- Determinación y preparación del material y equipo: de acuerdo al sistema de resinación aplicado.
- Selección de los árboles: según el diámetro, copa viva y estado fitosanitario.
- Descortezado: se hace para eliminar la corteza poco a poco sin herirla, solo adelgazando. Tomando en cuenta un diámetro de 1-2 m alrededor del árbol como protección contra incendios en épocas críticas (verano) y seguridad del resinero.
- Selección de la cara: orientada al sol este u oeste, sin defectos como grietas, quemaduras y heridas grandes. Se debe trabajar al lado contrario de la inclinación del árbol, si la hay, para evitar que la resina se derrame por efecto de la gravedad.
- Alisado: se alisa aproximadamente 50 cm medido desde el suelo.
- Colocación de material y equipo: de acuerdo al sistema de resinación aplicado puede ser canal, recipiente receptor o el método de sostén.
- Incisión o herida: se realiza procurando no dañar la madera, hasta alcanzar el cambium ubicado entre la corteza y la madera para que empiece a manar la resina. Luego se procede a pulir la inclinación del

instrumento (generalmente un bisel), de modo que la resina resbale fácilmente hacia el canal.

- Repasar incisión o picas: consiste en revivir la herida que ha cicatrizado, buscando nuevamente la apertura de los canales resiníferos para que continúe el flujo de la resina; se realiza generalmente cada 8 días.
- Aplicación de estimulante químico o natural: de acuerdo al sistema aplicado.
- Recolección de resina: en los recipientes colocados para captar la misma.

La tabla IV resume las características generales de los principales métodos de resinación.

Tabla IV. Descripción de métodos de resinación

Nombre	Herramienta	Incisión	Picas
Tradicional, cajete, americano primitivo, "box system", rústico, hacha o huaca.	Hacha	Profunda y larga en forma de caja de 2,5 m de altura en la parte inferior del fuste a más de la mitad del diámetro.	Cada 4 o 6 días.
Pica de corteza	Alisador, trazador, escoda, martillo, cola de pescado, laminilla, clavo, cacharro, aplicador de estimulante.	Se corta solamente la corteza y el líber con un ancho de 20 cm y se perfora en forma de V. Utiliza estimulantes como ácido sulfúrico y clorhídrico.	Cada 14 a 21 días.
Método americano de copa y canal	Escoda, delantal, canal y copa.	Se debe llegar hasta la madera eliminando el cambium. Se aplica ácido sulfúrico en pasta como estimulante.	Fajas de aprox. 1-5 cm utilizando la escoda.
Espina de pescado, mazeko alemán.	Cepillo	La cara de resinación se inicia en la parte superior del árbol con un ancho de 1/3 de la circunferencia del árbol, se alarga hacia abajo en forma de V. Profundidad hasta 3 mm en albura.	Aplicadas utilizando un estimulante biológico, extracto de levadura.

Continuación de la tabla IV.

Francés o Hughes	Laminilla galvanizada, recipiente.	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.
Perforación de agujeros	Accesorio con broca adaptado a motosierra o trépano manual. Tubo de PVC y bolsa plástica.	Perforar tres agujeros o más a 10 cm del suelo distribuidos a igual distancia en el perímetro del fuste con profundidad de 3-6''-	

Fuente: PERRY, ROBERT H. *Manual del ingeniero químico*. p. 272.

Tabla V. **Ventajas y desventajas de métodos de resinación**

Nombre	Ventajas	Desventajas
Tradicional, cajete, americano primitivo, "box system", rústico, hacha o huaca.	Sencillo, con pocas herramientas y sin aplicación de estimulante. Mediana producción de resina.	Resina de menor calidad. Bajo contenido de aguarrás. La primera troza de madera no puede ser aprovechada en la industria de aserrío. Debilita el árbol en su parte inferior. La primera troza queda dañada y sensible al ataque de insectos y hongos.
Pica de corteza	No afecta la albura del árbol. Número reducido de picas con largos intervalos entre ellas. Menos daño a la primera troza del árbol.	Producción relativamente baja de resina. Costo de producción alto. Peligro de accidentes a causa del estimulante utilizado.
Método americano de copa y canal	Las picas no afectan la albura. Largo período de resinación por el daño mínimo en el árbol. Buena producción de resina.	Estimulante poco conveniente y peligroso. Alto costo de materiales. Bajo contenido de aguarrás, se evapora en el trayecto.
Espina de pescado, mazeko alemán.	El estimulante no provoca daños en el árbol ni en el resinero. La instalación del material y el trabajo es más rápido. Mejor calidad de resina. Menos riesgos de incendios. Mayor contenido de aguarrás.	Altos costos de estimulante debido a su importación de Alemania o Colombia. Dificultad de acceso a herramientas. Alto grado de capacitación de operarios.

Continuación de la tabla V.

Francés o Hughes	Mínimas pérdidas de resina y de mejor calidad que el método tradicional. Buen rendimiento de resina por árbol. Permite varias caras de resinación. No utiliza estimulante.	Mayor tiempo requerido para las picas, pues involucra varias caras de resinación. Mayor costo de producción.
Perforación de agujeros	La resina se obtiene directamente del árbol sin impurezas ni penetración de agua. La época del año no es relevante. No pérdidas de resina.	El estimulante es importado. Poco conocimiento técnico del método.

Fuente: PERRY, ROBERT H. *Manual del ingeniero químico*. p. 275.

La tabla VI resume los aspectos a tomar en cuenta con el fin de procurar la mayor calidad de resina:

Tabla VI. **Aspectos considerados para la selección de proveedores de resina**

Aspecto	Características
Condiciones ambientales de recolección	Clima, estación del año de recolección. Para la óptima recolección de resina, la temperatura del bosque no debe ser inferior a los 15 °C. Por debajo de esta temperatura, la resina comienza a solidificarse. Dependiendo de estos factores se puede obtener entre 60 y 150 gramos de resina por árbol en una semana.
Tamaño de árbol	Se deben resinar solo árboles mayores o iguales a 30 de DAP (diámetro a la altura del pecho)
Estado físico del árbol	Árboles sanos sin ningún defecto, como quemaduras, grietas y heridas grandes.
Materiales del instrumento a utilizar	Pueden estar directamente relacionados con las impurezas presentes en la resina.
Tipo de desroñado	Esta operación tiene el objetivo de eliminar lo roñoso o agrietado de la corteza, se realiza de abajo hacia arriba hasta la altura de la rodilla con el cuidado de no herir el árbol para no desperdiciar la resina. Se hace con un instrumento llamado desroñado o alisador.

Continuación de la tabla VI.

Selección de la cara a desroñar	Consiste en elegir el lado más favorable para obtener resina, esto se hace tomando en cuenta el recorrido del sol, lo que provocará más calor y mayor obtención de resina; normalmente se escoge el lado este u oeste.
Inclinación del Terreno	La forma del terreno es importante al momento de seleccionar el árbol por la seguridad del resinero, cuando un árbol está inclinado deberá trabajarse sobre la inclinación para asegurar la captación de resina.
Método de resinación	De esto depende el tipo de corte y el estimulante, y como consecuencia, el rendimiento de resina y la calidad de la misma
Picas o repasos	Una nueva herida dependerá del tiempo que tarde en resinar el árbol, como también del clima, especie y calidad de trabajo realizado.
Almacenaje de la resina recolectada	Es importante mencionar que la calidad de la resina está determinada por la limpieza de la misma en el momento de la recolección y tanto la limpieza como el color son determinantes en su calidad y precio.
Recuperación de barrasco	Esta resina se endurece por la acción del viento y frío provocando la pérdida de la esencia de resina de pino y del aguarrás. Hay que tener el cuidado de no mezclar nunca mayor cantidad de barrasco que resina pura en un mismo recipiente, para no afectar demasiado la calidad de la resina pura.
Calidad de resina	La calidad está determinada por color y limpieza de la resina. Existen actualmente cuatro categorías (I,II,III,IV) siendo en su orden la número I la de mejor calidad y precio.

Fuente: TECA. *Resinación de pinos*. [<http://teca.fao.org/es/read/3689#sthash.g8ze5YfD.dpuf>].

Consulta: 10 de junio de 2014.

2.2. Análisis fisicoquímicos aplicables a la colofonia

En los siguientes puntos se describe el análisis fisicoquímicos aplicables a la colofonia.

2.2.1. Índice de acidez

Es la cifra que expresa en miligramos la cantidad de hidróxido de potasio necesaria para la neutralización de los ácidos libres presentes en 1 gramo de sustancia. Basados en la Norma ASTM D_465: se utiliza volumetría usando indicador.

Se disuelve 10,00 gramos de la sustancia a examinar o bien la cantidad prescrita, en 50 mililitros de una mezcla formada por volúmenes iguales de alcohol y éter. Salvo indicación contraria, el disolvente debe ser neutralizado previamente con hidróxido de potasio 0,1 molar en presencia de 0,5 mililitros de disolución de fenolftaleína. Una vez disuelto, se valoró con hidróxido de potasio 0,1 molar. La valoración se da por terminada cuando el color rosa persistió durante 15 segundos por lo menos (mililitros de hidróxido de potasio 0,1 molar).

2.2.2. Trazas de aguarrás presentes

“Es la técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos técnicamente estables y volátiles. En cuyo caso cada pico representa un tiempo de retención en el cual se le asigna un área porcentual con un nivel de confianza que indica la probabilidad de presencia de un determinado componente en la muestra, para luego identificarlo y nombrarlo. El cual se basa en la norma ASTM D_5974.”⁵

⁵ GONZÁLEZ ALMENGOR, Ana Lucrecia. *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schlttdl) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de barnices fluorados*. Facultad de Ingeniería, USAC. Guatemala, 2012.

2.2.3. Cenizas totales

Se calienta al rojo un crisol de sílice o de platino durante 30 minutos. Antes de pesarlo, se debe dejar que se enfríe en un desecador. Salvo indicación contraria, luego se introduce en el crisol 2,00 gramos de sustancia o de producto pulverizado. Se debe distribuir uniformemente la muestra del ensayo en el interior del crisol.

Se deseca durante 2 horas a 100-105 °C y después se calcina en un horno mufla, a una temperatura de 600 ± 25 °C. La muestra no debe incendiarse en ningún momento de la operación. Después de cada calcinación, se deja enfriar el crisol en el desecador.

Si tras una calcinación prolongada las cenizas contienen aún partículas negras, suspender las cenizas con agua caliente y filtrar por un filtro sin cenizas. Calcinar de nuevo el residuo con el filtro. Luego reunir el filtrado y las cenizas, evaporar a sequedad prudentemente y calcinar hasta masa constante. Según Norma ASTM D_1063 y AOAC_942.05.

2.2.4. Rendimiento (%)

Este parámetro se obtiene por medio de las mediciones de la masa inicial de mezcla y la masa remanente luego del proceso de destilación, la cual supone ser la masa de colofonia obtenida. Esto utilizando la báscula digital y tomando en cuenta la tara de los recipientes de almacenaje que contenían los mencionados anteriormente. De esta forma se obtiene un aproximado del potencial de colofonia que posee la resina de pino oocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*) a analizar.

2.2.5. Densidad (g/cm³)

La densidad es la razón entre una masa determinada y el volumen que la ocupa. Por lo tanto, la forma más práctica de realizar el análisis de medición de la densidad se realiza en probetas o un recipiente graduado. Las probetas se pesan previamente para obtener la tara, para luego ser pesadas llenas o a un volumen determinado. A través de la masa de la colofonia y el volumen que ocupa, se obtiene la razón entre ambos parámetros.

2.2.6. Color

El color se compara contra patrones que contienen los colores normalizados oficialmente en los Estados Unidos para clasificar los grados de colofonia (*Rosyn*), ASTM D509_03. Los grados de colofonia (*Rosyn*) son: X, WW (*water-white*, clara como el agua), WC (color vidrio soluble), N, M, K, I, H, G, F, E, D, por orden de color creciente.

2.2.7. Elementos extraños

Las drogas vegetales deben estar exentas de enmohecimiento, de insectos y de otras contaminaciones de origen animal. Los elementos extraños están constituidos por todo elemento que procede de la planta originaria, pero no constituye la droga; o bien, todo elemento ajeno a la planta de origen, de procedencia vegetal o mineral.

De acuerdo a la Norma USP 30-NF 25: hay que pesar 100 a 500 gramos de la muestra y extenderla en una capa delgada. Los elementos extraños se detectan por inspección a simple vista o con ayuda de una lupa (× 6). Se utilizó

500 gramos, luego se separaron los elementos extraños, se pesaron y, por último se procedió al cálculo del porcentaje que representan.

2.2.8. Dureza

Se colocó un durómetro sobre la superficie de la probeta según Norma NGO_53_007 y ASTM D_2240. El durómetro PCE-D (Shore D) está compuesto por un dispositivo de medición con cabezal de medición y un reloj antideslumbrante de 360 grados con una precisión de lectura de 0,5 unidades de dureza. Cumple las normas DIN 53505, ISO 868, ISO 7619 y ASTM D_2240.

El durómetro utilizado se encuentra calibrado de fábrica con certificado de calibración ISO incluida.

Del durómetro únicamente se llevan pruebas de control que consisten en empleo de las pruebas de control tipo D muestra si el durómetro opera dentro de la tolerancia especificada siendo estas 7 pruebas. Las pruebas están provistas de un número de serie para que no existan problemas de identificación. Los rangos de dureza son de 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 durómetro tipo D. Las pruebas sirven como chequeo de referencia del estado operativo óptimo del durómetro.

2.2.9. Punto de reblandecimiento

El procedimiento para la determinación del punto de reblandecimiento de la colofonia es el aparato denominado de bola-anillo. El punto de reblandecimiento se basa en las Normas ASTM D_6090 y ASTM E_028.

El punto de reblandecimiento se define como la temperatura a la que una probeta del material en forma de disco, mantenida horizontalmente dentro de un anillo, es obligada a deformarse por el peso de una bola de acero y toca una superficie situada a 2,54 centímetros cuando se calienta a una velocidad determinada dentro de un baño de agua destilada o glicerina.

Al aparato únicamente se le verifica su calibración por medio de termocuplas; si no se encuentra calibrado se debe enviar con el proveedor bajo ninguna circunstancia tratar de manipular el equipo.

2.3. Destilación

Operación unitaria en la cual se calienta un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor. Finalmente, se enfría el vapor obtenido con el fin de condensar dichos componentes.

Este proceso permite separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles.

La destilación de la resina de pino permite separar el componente volátil de la misma, el aguarrás, y obtener de forma más pura el componente no volátil, la colofonia. El aguarrás es arrastrado por el vapor de agua que se pierde al calentar la mezcla, las moléculas se ligan y permiten la separación. Cuando se extrae resina de una conífera, su condición depende de la profundidad a la que se realiza el corte pues cuando es cercana a la corteza, es decir cuando proviene de la albura, es un líquido viscoso; mientras que a una mayor profundidad, del duramen, no es fluida y no mana de canales recién abiertos.

2.4. Enfoque económico

De acuerdo a mercadolibre.com.ar., el precio de la colofonia en alcanza precios entre los US\$30,00 y US\$58,00 por kilogramo. Esto brinda una referencia clara del beneficio monetario que los resineros pueden obtener si adoptan procesos para transformar la resina antes de comercializarla a un precio bajo que se basa en el costo aproximado que implica la obtención de la resina cuyo valor asciende a aproximadamente Q 3,00 por kilogramo.

Figura 5. Precio de colofonia

The screenshot shows the Mercado Libre website interface. At the top, there is a search bar with the text 'resina colofonia non cristal bolsa de 25 kilos \$30' and a magnifying glass icon. To the left of the search bar is the Mercado Libre logo. Below the search bar, there are three product listings for 'Resina Colofonia No Cristal'. Each listing includes a small image of the product, the product name, and the price. The first listing is priced at \$44.50, the second at \$58.80, and the third at \$30.00. All listings indicate '12 cuotas de' followed by a smaller price. On the left side of the page, there are filters for 'Cuidado del Cuerpo', 'Cuidado de la Piel', 'Envío', 'Ubicación', 'Rango de precios', and 'refinar por'.

Producto	Precio	Cuotas
Resina Colofonia Non Cristal	\$ 44 ⁵⁰	12 cuotas de \$ 5 ⁶⁷
Resina Colofonia No Cristal X1kg Retira En Versailles	\$ 58 ⁸⁰	12 cuotas de \$ 7 ⁵⁰
Resina Colofonia No Cristal X1/2kg Retira En Versailles	\$ 30 ⁰⁰	12 cuotas de \$ 3 ⁸²

Fuente: *Mercado libre*. [http://listado.mercadolibre.com.ar/resina-colofonia-non-cristal-bolsa-de-25-kilos-\\$30](http://listado.mercadolibre.com.ar/resina-colofonia-non-cristal-bolsa-de-25-kilos-$30). Consulta: 18 de marzo de 2014.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

La recolección de muestra (resina de pino ocote *pinus oocarpa schiede ex schltdl*) se llevó a cabo en el municipio de Granados, Baja Verapaz. Las características del lugar se describen en la tabla VII.

Tabla VII. **Características del lugar de recolección**

Característica	Parámetro
Latitud	14° 54' 50"
Longitud	90° 31' 20"
Altura sobre el nivel del mar	954 m
Clima	Semicálido (18,7 °C-23,9 °C). Invierno seco.
Vegetación predominante	Pino y encino

Fuente: AJA MORATAYA, Roderico Anibal. *Destilacion de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltdl) extraida en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterizacion de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio.* p. 45.

- Preparación de las muestras

Una vez colocadas en las instalaciones de trabajo, se prepararon inicialmente mediante la limpieza de residuos sólidos provenientes de la zona de recolección como hojas, ramas, corteza o rocas. Esto se logró a través de una malla plástica que permitió el paso de la resina limpia del tambo a la cubeta de almacenaje.

Luego de esto, se filtró la resina limpia para eliminar la mayor cantidad de elementos extraños que aún permanecían en ella utilizando un tamiz metálico

núm. 20 (0,0331 pul). No fue necesario calentar la resina para disminuir su viscosidad, pues esta ya era la conveniente para agilizar la filtración.

Las muestras preparadas se almacenaron en recipientes plásticos de 5 galones con el fin de preservarlas apropiadamente.

- Mezclas

Se efectuaron 2 mezclas homogéneas de resina-agua-aguarrás en los siguientes porcentajes peso/peso.

- 74,29 %-20 %-5,71 %
- 74,29 %-1 714 %-8,57 %

- Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo combinatorio. La destilación de ambas mezclas se evaluó a 2 diferentes tiempos, 4 y 7 horas, efectuando 3 repeticiones en cada uno, concluyendo en un total de 12 unidades experimentales.

En la tabla VIII se describe el procedimiento experimental.

Tabla VIII. Procedimiento experimental

<p>Procedimiento de limpieza inicial:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se transfirió la resina del recipiente de 30 gal hacia el de de 20 L utilizando el recipiente metálico. La resina se hizo pasar a través de la malla plástica con el fin de eliminar hojas, ramas, corteza, piedras, insectos entre otros restos orgánicos. 2. Luego de llenar el recipiente plástico de 20 L con resina limpia, se transfirió la misma directamente hacia el contenedor de resina limpia. 3. Se repitió el paso 1 y 2 hasta limpiar completamente la resina contenida en ambos recipientes de 30 gal. 4. Los excesos de resina se controlaron utilizando la espátula de acero inoxidable.
<p>Procedimiento de filtración:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se lavaron los recipientes de 30 gal que originalmente contenían la resina previo a la limpieza inicial de esta. 2. Se transfirió poco a poco la resina del contenedor de resina limpia hacia el recipiente de 30 gal del paso anterior utilizando el recipiente metálico. La resina pasó a través del tamiz metálico con el fin de eliminar los pequeños elementos extraños. 3. Se repitió el paso 2 hasta filtrar completamente la resina limpia presente en los contenedores de resina limpia. 4. Los excesos de resina se controlaron utilizando la espátula de acero inoxidable.
<p>Procedimiento de destilación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesaron las cantidades de agua desmineralizada, aguarrás y resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schldt</i>) de acuerdo a la proporción establecida. Se utilizó la báscula digital como equipo de medición. 2. Se retiró la cubierta de la marmita en la cual se agitó y calentó la mezcla a destilar. 3. Se transfirió la resina de pino ocote (<i>Pinus oocarpa schiede ex schldt</i>) a la marmita del paso anterior. Luego, se agregó el agua y finalmente, el aguarrás. 4. Se colocó la cubierta en la marmita y se selló con los tornillos de la misma. 5. Se conectaron las tuberías de acero inoxidable hacia el condensador para completar el sistema de destilación. 6. Se encendió el agitador de la marmita para procurar una mezcla homogénea. 7. Se verificaron las válvulas del sistema de destilación para confirmar que la dirección del flujo fuera la correcta. 8. Se encendió el interruptor de la bomba de suministro de agua al condensador para arrancar con el sistema de enfriamiento. El agua se mantuvo a una temperatura entre 17-20 °C encendiendo el dispositivo de enfriamiento ocasionalmente cuando fuera requerido. 9. Se verificó que la válvula de suministro de vapor estuviera abierta. 10. Se arrancó la caldera, verificando continuamente que su presión no excediera los 120 psi. 11. Se mantuvo el calentamiento en la marmita a una temperatura alrededor de 98 °C por el tiempo estipulado de acuerdo al tratamiento (4-7 horas). 12. Simultáneamente se recuperó el material volátil en la descarga del condensador. 13. Al completarse el tiempo estipulado, se descargó una pequeña muestra en un frasco de vidrio para analizar el aspecto del producto obtenido. Luego se descargó el resto en el recipiente graduado destinado a su almacenaje. 14. Se midió el volumen obtenido de producto según la graduación del recipiente de almacenaje. 15. Se midió la masa del producto del paso anterior utilizando la báscula digital. Además se midió la masa descargada en el frasco por medio de la balanza analítica. 16. Se repitió el procedimiento de los pasos anteriores con todos los tiempos de destilación estipulados para ambas mezclas de resina/agua/aguarrás.

Fuente: elaboración propia.

3.1. Variables

La tabla IX describe las variables involucradas en el proceso experimental.

Tabla IX. **Variables de operación**

		Constante	Variable	Rangos
Variables independientes	Temperatura de destilación	x		98 °C
	Presión de vapor suministrado	x		8 psi
	Presión de caldera	x		120psi
	Temperatura de condensador	x		17-20 °C
	Tamaño de lote	x		30 kg
	Composición de mezcla resina-agua-aguarrás		X	74,29 %-20 %-5,71 % 74,29 %-17,14 %-8,57 %
	Tiempo de destilación		X	4-7 h
Variables dependientes	Rendimiento de colofonia		X	
	Densidad		X	
	Dureza		X	
	Color y elementos extraños		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

La recolección de muestra, resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*), se realizó en el municipio de Granados, Baja Verapaz. La obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia a partir de la resina de pino de ocote se llevó a cabo en las instalaciones del área de planta piloto del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE) Sección Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se realizaron destilaciones con un tamaño de lote de 30 litros con dos proporciones de resina-agua-aguarrás, cada una a dos tiempos de destilación distintos.

La medición de dureza de las muestras obtenidas fue realizada en la Unidad de Análisis Instrumental de la Escuela de Química perteneciente a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

3.3. Recursos humanos disponibles

A continuación se describe quiénes participaron en el presente estudio.

3.3.1. Investigador

Arturo Estuardo Cabrera Castañeda, encargado de desarrollar el trabajo de investigación, experimentación, análisis de datos, caracterización, cuantificación y responsable de la información obtenida para el desarrollo exitoso del problema planteado.

3.3.2. Asesores

En la tabla X se muestra quiénes asesoraron el estudio.

Tabla X. **Asesoría técnica disponible**

Asesoría técnica y profesional	Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
	Ing. Qco. Mario José Mérida Meré

Fuente: elaboración propia.

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

A continuación se detalla el recurso material utilizado en el estudio.

- Reactivos
 - Agua desmineralizada
 - Aguarrás
 - Resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*)
 - Diesel como combustible
 - Etanol para uso de limpieza

- Material y equipo de oficina
 - Computadora Toshiba
 - Impresora Canon IP2810
 - Hojas blancas de papel bond tamaño carta
 - Fotocopias y servicio de internet
 - Equipo auxiliar de oficina

- Equipo y material de almacenaje
 - Recipientes plásticos de 20 L.
 - Recipiente de acero inoxidable.
 - Malla plástica.
 - Colador metálico.
 - Espátula de acero inoxidable.
 - Contenedor de resina limpia.
 - Recipientes de 30 L.

- Sistema de enfriamiento.
- Marmita de concentración Tournaire S. A. Grasse France.
- Contenedor de recuperación.
- Cronómetro.
- Balanza Adventurer OHAUS con capacidad máxima de 200 g y sensibilidad de 01g.
- Báscula OHAUS Defender 3000 xtreme W con capacidad máxima de 150 kg/ 3 000 lb, con sensibilidad de 0,05 kg/ 0,1 lb.

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La tabla XI resume las técnicas cualitativas y cuantitativas que se desarrollarán durante el diseño experimental.

Tabla XI. **Técnicas cualitativas y cuantitativas**

Técnica	Parámetro	Descripción
Cuantitativa	Rendimiento (%) $\% = \frac{m_{colofonia}}{m_{mezcla}} * 100$	Medición de masa de mezcla agua-aguarrás-resina y colofonia obtenida del proceso de destilación. Medición de tara de recipientes de almacenaje.
	Densidad (g/cm ³) $\rho = \frac{m}{V}$	Medición de volumen de colofonia, tara de recipiente y masa de contenido frío.
	Dureza (N/A ecuación)	Colocación del dispositivo dentro de la muestra, bajo presión, hasta la penetración máxima. Medición en kg/cm ² .
Cualitativa	Color y elementos extraños (N/A ecuación)	Comparación de colores para clasificar los grados de colofonia. Reconocimiento por simple inspección de todo elemento procedente o no procedente de la planta originaria sin ser parte del producto final.

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de masa de colofonia en frasco

Una pequeña parte de la colofonia se recuperó en un frasco de vidrio para ser analizada cualitativamente. La masa de dicha porción se obtuvo restando la tara del frasco que contenía la colofonia a la masa total pesada.

$$m_m = m_{Tf} - m_f \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde

m_m = masa de colofonia en frasco (kg)

m_{Tf} = masa total de frasco y colofonia (kg)

m_f = tara frasco (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$m_m = 0,32 \text{ kg} - 0,13 \text{ kg}$$

$$m_m = 0,19 \text{ kg}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de masa de colofonia obtenida en cubeta

El resto de colofonia se recuperó en una cubeta con el fin de cuantificar el rendimiento de la misma. Se obtiene restando la tara de la cubeta que contenía la colofonia a la masa total pesada.

$$m = m_{Tc} - m_c \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde

m = masa de colofonia en cubeta (kg)

m_{Tc} = masa total de cubeta y colofonia (kg)

m_c = tara cubeta (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$m = 20,54 \text{ kg} - 0,76 \text{ kg}$$

$$m = 19,78 \text{ kg}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de masa total de colofonia:

Es la suma de la masa total obtenida de colofonia, es decir, la recuperada tanto en el frasco como en la cubeta.

$$m_T = m + m_m \quad [\text{Ec. 3}]$$

Donde

m_T = masa total de colofonia (kg)

m = masa de colofonia en cubeta (kg)

m_m = masa de colofonia en frasco (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$m_T = 19,78 \text{ kg} + 0,19 \text{ kg}$$

$$m_T = 19,97kg$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo del rendimiento de colofonia

Es la razón porcentual entre la masa total de colofonia obtenida y la masa de la mezcla inicial a destilar; esta última fue 30 kg para todos los casos.

$$\%R = \frac{m_T}{m_i} * 100 \quad [\text{Ec. 4}]$$

Donde

$\%R$ = rendimiento de colofonia (%)

m_T = masa total de colofonia obtenida (kg)

m_i = masa de mezcla inicial a destilar (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$\%R = \frac{19,97 \text{ kg}}{30 \text{ kg}} * 100$$

$$\%R = 66,57 \%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de densidad de colofonia

La densidad se calculó con base en la colofonia recuperada en la cubeta, pues de esta se midió el volumen y así mismo, la masa.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Donde

ρ = densidad de colofonia (kg/m³)

m = masa de colofonia (kg)

V = volumen de colofonia (m³)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$\rho = \frac{19,78 \text{ kg}}{0,019 \text{ m}^3}$$
$$\rho = 1\,041,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de promedio aritmético

Se obtuvo mediante la siguiente ecuación

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde

\bar{x} = promedio aritmético

$\sum x_i$ = sumatoria de datos de variable x

n = número de datos analizados de la variable x

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación

$$\bar{x} = \frac{66,57 \% + 66,94 \% + 66,75 \%}{3}$$
$$\bar{x} = 66,75 \%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

El desarrollo experimental del proyecto brindó los datos iniciales que describían la extracción de colofonia y que permitieron obtener los resultados con los que se cumplirían los objetivos propuestos. A continuación, en las tablas XII, XIII, XIV Y XVI se muestra la información de los datos originales de la investigación.

Tabla XII. **Resina recuperada después de las filtraciones**

Tambo	Tambo con resina filtrada (kg)	Tara de tambo 30 gal (kg)	Masa resina filtrada (kg)	Incerteza (kg)
1	141,02	4,94	136,08	± 0,05
2	137,46	4,94	132,52	± 0,05
		Resina filtrada	268.60	± 0,05

Fuente: elaboración propia, con datos experimentales en LIEXVE.

Tabla XIII. **Masa de resina, agua y aguarrás utilizadas en la formulación de la mezcla 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

		Componente			Mezcla total (kg)	
		Repetición	Resina (kg)	Agua (kg)		Aguarrás (kg)
Mezcla	1	1	22,29	6,00	1,71	30,00
		2	22,29	6,00	1,71	30,00
		3	22,29	6,00	1,71	30,00
	2	1	22,29	5,14	2,57	30,00
		2	22,29	5,14	2,57	30,00
		3	22,29	5,14	2,57	30,00

Fuente: elaboracion propia, con datos experimentales en LIEXVE.

Tabla XIV. **Masa de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

MEZCLA	Tiempo	Repetición	Cubeta colofonia (kg)	Tara cubeta (kg)	Frasco muestra (kg)	Tara frasco (kg)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	20,54	0,76	0,32	0,13
		2	20,66	0,76	0,31	0,13
		3	20,60	0,76	0,32	0,13
	7 horas	1	20,18	0,76	0,32	0,13
		2	20,10	0,76	0,32	0,13
		3	19,18	0,78	0,32	0,13
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %:8,57 %	4 horas	1	20,80	0,76	0,32	0,13
		2	21,02	0,76	0,32	0,13
		3	20,92	0,78	0,31	0,13
	7 horas	1	20,46	0,78	0,32	0,13
		2	20,92	0,78	0,32	0,13
		3	20,86	0,76	0,32	0,13

Fuente: elaboracion propia, con datos experimentales en LIEXVE.

Tabla XV. **Parámetros de trabajo**

Parámetro	Rango
Temperatura de destilación	95-98 °C
Presión de vapor suministrado	7-8 psi
Presión de caldera	100-120psi
Temperatura de condensador	17-20 °C

Fuente: elaboracion propia, con datos experimentales en LIEXVE.

Tabla XVI. **Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

MEZCLA	Tiempo	Repetición	Dureza 1 (kg/cm2)	Dureza 2 (kg/cm2)	Dureza 3 (kg/cm2)	Promedio (kg/cm2)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	2,50	3,00	3,00	2,83
		2	1,50	2,00	2,50	2,00
		3	2,75	3,50	3,50	3,25
	7 horas	1	4,50	4,50	4,50	4,50
		2	3,00	3,25	3,25	3,17
		3	4,50	4,25	4,25	4,33
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	1,00	1,50	2,00	1,50
		2	0,25	0,50	0,50	0,42
		3	0,50	0,75	1,00	0,75
	7 horas	1	0,75	0,50	0,50	0,58
		2	1,00	1,50	1,50	1,33
		3	1,75	1,75	1,75	1,75

Fuente: elaboracion propia, con datos experimentales en LIEXVE.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los resultados se obtuvieron a partir de los datos calculados que se muestran en las tablas XVII, XVIII, XIX y XX:

Tabla XVII. **Cálculo de masa total de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo de extracción	Rep.	Cubeta colofonia (kg)	Tara cubeta (kg)	Masa colofonia cubeta (kg)	Frasco muestra (kg)	Tara frasco (kg)	Masa colofonia muestra (kg)	Masa total colofonia (kg)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	20,54	0,76	19,78	0,32	0,13	0,19	19,97
		2	20,66	0,76	19,90	0,31	0,13	0,18	20,08
		3	20,60	0,76	19,84	0,32	0,13	0,19	20,03
	7 horas	1	20,18	0,76	19,42	0,32	0,13	0,20	19,62
		2	20,10	0,76	19,34	0,32	0,13	0,19	19,53
		3	19,18	0,78	18,40	0,32	0,13	0,18	18,58
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	20,80	0,76	20,04	0,32	0,13	0,19	20,23
		2	21,02	0,76	20,26	0,32	0,13	0,19	20,45
		3	20,92	0,78	20,14	0,31	0,13	0,18	20,32
	7 horas	1	20,46	0,78	19,68	0,32	0,13	0,19	19,87
		2	20,92	0,78	20,14	0,32	0,13	0,19	20,33
		3	20,86	0,76	20,10	0,32	0,13	0,19	20,29

Fuente: elaboracion propia, con datos de las ecuaciones 1, 2 y 3.

Tabla XVIII. **Cálculo de rendimiento promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo de extracción	Repetición	Masa total colofonia (kg)	Masa inicial (kg)	Rendimiento colofonia (%)	Rendimiento promedio colofonia (%)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	19,97	30,00	66,57	66,75
		2	20,08	30,00	66,94	
		3	20,03	30,00	66,75	
	7 horas	1	19,62	30,00	65,39	64,14
		2	19,53	30,00	65,09	
		3	18,58	30,00	61,95	
Mezcla 2 74.29%: 17.14%: 8.57%	4 horas	1	20,23	30,00	67,42	67,77
		2	20,45	30,00	68,15	
		3	20,32	30,00	67,75	
	7 horas	1	19,87	30,00	66,22	67,21
		2	20,33	30,00	67,75	
		3	20,29	30,00	67,64	

Fuente: elaboracion propia, con datos de las ecuaciones 4 y 6.

Tabla XIX. **Cálculo de densidad promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo de extracción	Rep.	Masa (kg)	Volumen (m ³)	Densidad colofonia (kg/m ³)	Densidad promedio colofonia (kg/m ³)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	19,78	0,019	1 041,05	1 035,26
		2	19,90	0,020	1 020,51	
		3	19,84	0,019	1 044,21	
	7 horas	1	19,42	0,018	1 078,89	1 058,57
		2	19,34	0,019	1 045,41	
		3	18,40	0,018	1 051,43	
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	20,04	0,020	1 027,69	1 033,16
		2	20,26	0,020	1 038,97	
		3	20,14	0,020	1 032,82	
	7 horas	1	19,68	0,019	1 035,79	1 042,17
		2	20,14	0,020	1 032,82	
		3	20,10	0,019	1 057,89	

Fuente: elaboracion propia, con datos de las ecuaciones 5 y 6.

Tabla XX. **Cálculo de dureza promedio de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo	Repetición	Dureza colofonia (kg/cm ²)	Dureza promedio colofonia (kg/cm ²)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	2,83	2,69
		2	2,00	
		3	3,25	
	7 horas	1	4,50	4,00
		2	3,17	
		3	4,33	

Continuación de la tabla XX.

Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	1,50	0,89
		2	0,42	
		3	0,75	
	7 horas	1	0,58	1,22
		2	1,33	
		3	1,75	

Fuente: elaboracion propia, con datos de la ecuación 6.

3.8. Análisis estadístico

- Comprobación de hipótesis

Con el fin comprobar de forma cuantitativa si existía una diferencia entre los resultados obtenidos se utilizó el método de la *t*-Student, el cual permite comparar medias de dos experimentos llevados a cabo en condiciones distintas. Este método estadístico fue el que más se adaptó, ya que se estaban analizando únicamente dos medias y no más, en cada caso. Esto se logró mediante los siguientes pasos generales:

- Planteamiento de hipótesis nula: para todos los casos ésta establecía que no existe una diferencia significativa entre las dos medias analizadas.

$$\mu_1 = \mu_2$$

- Planteamiento de hipótesis alternativa: para todos los casos, esta establecía que existe una diferencia significativa entre las dos medias analizadas.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

- Definición del nivel de aceptación: se estableció como 5 %.

$$\alpha = 0,05$$

- Límites de región de rechazo de hipótesis nula: esta región se obtuvo mediante los valores de cola positivos y negativos definidos a partir del nivel de significancia y los grados de libertad que están basados en los tamaños de muestra, como se describe a continuación.

$$\pm t\left(\frac{\alpha}{2}, g.l.\right)$$

$$\pm t\left(\frac{\alpha}{2}, n_1 + n_2 - 2\right)$$

Para todos los casos, ambos tamaños de muestra (n_1, n_2) fueron 3, debido a las limitaciones de costo de cada destilación. Por tanto, los límites se definieron como:

$$\pm t\left(\frac{0,05}{2}, 3 + 3 - 2\right) = \pm t(0,025, 4)$$

Utilizando la figura 6, que muestra los distintos valores de la distribución t-student, se obtiene el valor de t para un nivel de significancia de 0,025 y 4 grados de libertad.

Figura 6. Distribución t-student

α r	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,656	636,578
2	0,816	1,061	1,396	1,896	2,920	4,303	6,965	9,925	31,600
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	16,924
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,189	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,768
24	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,689
28	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,660
30	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,290

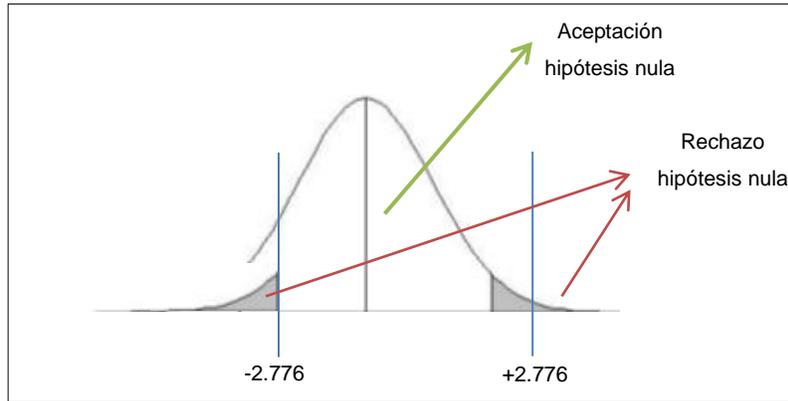
Fuente: BERENGUER SUBILS, María José. *Colofonia: riesgos asociados a su utilización*.
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>. Consulta: 20 de marzo de 2014.

Por tanto, el valor de los límites es:

$$\pm t(0,025,4) = \pm 2,776$$

Entonces

Figura 7. **Región de rechazo de la hipótesis nula**



Fuente: elaboración propia.

- Cálculo del estadístico de prueba: se realiza por medio de las siguientes ecuaciones.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1-1)*s_1^2 + (n_2-1)*s_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{Sp * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad [\text{Ec. 8}]$$

Donde

Sp = desviación estándar combinada

n_1 = tamaño de muestra condición 1

n_2 = tamaño de muestra condición 2

s_1 = desviación estándar condición 1

s_2 = desviación estándar condición 2

t = valor t -Student

\bar{x}_1 = media condición 1

\bar{x}_2 = media condición 2

Ejemplo: análisis del rendimiento de colofonia al emplear la mezcla 1 (condición 1) en comparación de la mezcla 2 (condición 2) ambas a 4 horas de destilación.

$$S_p = \sqrt{\frac{(3-1)*0,19^2 + (3-1)*0,37^2}{3+3-2}} = 0,2941$$

$$t = \frac{66,75 - 67,77}{0,2941 * \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}}} = -4,25$$

- Conclusión: debido a que el valor está fuera de la región entre -2,776 y 2,776, la hipótesis nula se rechaza y se concluye que sí existe diferencia significativa entre el rendimiento de la mezcla 1 y la 2 a un tiempo de 4 horas.

Nota: de la misma forma se realizó el análisis que aparece en la tabla XXI para todos los casos correspondientes.

Tabla XXI. Comprobación de hipótesis planteadas para cada parámetro analizado

Condiciones comparadas	Parámetro	Constante	S_p	t	Conclusión	Análisis final
Mezcla1/Mezcla2	Rendimiento	4 horas	0,294	-4,248	Rechaza Ho	Diferencia significativa
Mezcla1/Mezcla2	Rendimiento	7 horas	1,478	-2,543	Acepta Ho	No diferencia significativa
4horas/7horas	Densidad	Mezcla 1	15,560	-1,835	Acepta Ho	No diferencia significativa
4horas/7horas	Densidad	Mezcla 2	10,479	-1,053	Acepta Ho	No diferencia significativa
4horas/7horas	Dureza	Mezcla 1	0,687	-2,837	Rechaza Ho	Diferencia significativa
4horas/7horas	Dureza	Mezcla 2	0,570	-0,709	Acepta Ho	No diferencia significativa

Fuente: elaboración propia, con datos de las ecuaciones 7 y 8.

- Error de precisión
 - Cálculo de desviación estándar: se obtuvo mediante la siguiente ecuación.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde

s = desviación estándar

\bar{x} = promedio aritmético de variable x

x_i = i -ésimo dato de la variable x

n = número de datos analizados de la variable x

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación

$$s = \sqrt{\frac{(6,75 \% - 66,57 \%)^2 + (6,75 \% - 66,94 \%)^2 + (6,75 \% - 66,75 \%)^2}{3 - 1}}$$

$$s = 0,19 \%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Error de exactitud
 - Cálculo de incerteza de masa total de colofonia: se obtiene derivando la ecuación núm. 3.

$$\delta m_T = \delta m + \delta m_m \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde

δm_T = incerteza del cálculo de la masa total de colofonia (kg)

Δm = incertidumbre al medir la masa de colofonia en cubeta (kg)

δm_m = incertidumbre al medirla masa de colofonia en frasco (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$\delta m_T = 0,05 \text{ kg} + 1,00 \text{ E} - 04 \text{ kg}$$

$$\delta m_T = 0,05 \text{ kg}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de incerteza del rendimiento de colofonia: se obtiene derivando la ecuación núm. 4.

$$\Delta \%R = \frac{\delta m_T}{m_i} - \frac{m_T \delta m_i}{m_i^2} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde

$\Delta \%R$ = incerteza del cálculo del rendimiento de colofonia (%)

δm_T = incerteza del cálculo de la masa total de colofonia (kg)

δm_i = incertidumbre al medir la masa de la mezcla inicial a destilar (kg)

m_T = masa total de colofonia obtenida (kg)

m_i = masa de mezcla inicial a destilar (kg)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$\Delta \%R = \frac{0,05 \text{ kg}}{30 \text{ kg}} - \frac{19,97 \text{ kg} * 0,05 \text{ kg}}{30 \text{ kg}^2}$$

$$\Delta\%R = 5,61 \text{ E} - 04 \%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Cálculo de incerteza de densidad de colofonia: se obtuvo derivando la ecuación núm. 5.

$$\Delta\rho = \frac{\delta m}{V} - \frac{m\delta V}{V^2} \quad [\text{Ec. 12}]$$

Donde

$\Delta\rho$ = incerteza del cálculo de densidad de colofonia (kg/m^3)

δm = incertidumbre al medir la masa de colofonia (kg)

δV = incertidumbre al medir el volumen de colofonia (m^3)

m = masa de colofonia (kg)

V = volumen de colofonia (m^3)

Ejemplo: para la mezcla 1, 4 horas de destilación, repetición 1

$$\Delta\rho = \frac{0,05 \text{ kg}}{0,019 \text{ m}^3} - \frac{19,78 \text{ kg} * 5,00 \text{ E} - 04 \text{ m}^3}{0,019 \text{ m}^3^2}$$

$$\Delta\rho = 24,76 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento con todas las repeticiones de ambos tiempos de la mezcla 1 y 2.

- Análisis de error

Tabla XXII. **Incerteza y desviación estándar del rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo	Rep.	Masa total colofonia (kg)	Incerteza masa total colofonia (kg)	Masa mezcla (kg)	Incerteza masa mezcla (kg)	Rendimiento (%)	Incerteza rendimiento (%)	Desviación estándar (±%)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	19,97	0,05	30,00	0,05	66,57	5,61E-04	0,19
		2	20,08	0,05	30,00	0,05	66,94	5,54E-04	
		3	20,03	0,05	30,00	0,05	66,75	5,57E-04	
	7 horas	1	19,62	0,05	30,00	0,05	65,39	5,80E-04	1,91
		2	19,53	0,05	30,00	0,05	65,09	5,85E-04	
		3	18,58	0,05	30,00	0,05	61,95	6,38E-04	
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	20,23	0,05	30,00	0,05	67,42	5,46E-04	0,37
		2	20,45	0,05	30,00	0,05	68,15	5,34E-04	
		3	20,32	0,05	30,00	0,05	67,75	5,41E-04	
	7 horas	1	19,87	0,05	30,00	0,05	66,22	5,66E-04	0,85
		2	20,33	0,05	30,00	0,05	67,75	5,41E-04	
		3	20,29	0,05	30,00	0,05	67,64	5,43E-04	

Fuente: elaboracion propia, con datos de las ecuaciones 9, 10 y 11.

Tabla XXIII. **Incerteza y desviación estándar de la densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo	Rep.	Masa (kg)	Incerteza a masa (kg)	Volumen (m ³)	Incerteza volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)	Incerteza densidad (kg/m ³)	Desviación estándar (±kg/m ³)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	19,78	0,05	0,019	5,00E-04	1 041,05	24,76	12,87
		2	19,90	0,05	0,020	5,00E-04	1 020,51	23,60	
		3	19,84	0,05	0,019	5,00E-04	1 044,21	24,85	
	7 horas	1	19,42	0,05	0,018	5,00E-04	1 078,89	27,19	17,85
		2	19,34	0,05	0,019	5,00E-04	1 045,41	25,55	
		3	18,40	0,05	0,018	5,00E-04	1 051,43	27,18	
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	20,04	0,05	0,020	5,00E-04	1 027,69	23,79	5,65
		2	20,26	0,05	0,020	5,00E-04	1 038,97	24,08	
		3	20,14	0,05	0,020	5,00E-04	1 032,82	23,92	
	7 horas	1	19,68	0,05	0,019	5,00E-04	1 035,79	24,63	13,70
		2	20,14	0,05	0,020	5,00E-04	1 032,82	23,92	
		3	20,10	0,05	0,019	5,00E-04	1 057,89	25,21	

Fuente: elaboracion propia, con datos de las ecuaciones 9 y 12.

Tabla XXIV. **Incertidumbre y desviación estándar para la medición de la dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación**

Mezcla	Tiempo	Repetición	Dureza (kg/cm ²)	Incerteza dureza (kg/cm ²)	Desviación estándar (±kg/cm ²)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4 horas	1	2,83	0,01	0,64
		2	2,00	0,01	
		3	3,25	0,01	
	7 horas	1	4,50	0,01	0,73
		2	3,17	0,01	
		3	4,33	0,01	
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4 horas	1	1,50	0,01	0,55
		2	0,42	0,01	
		3	0,75	0,01	
	7 horas	1	0,58	0,01	0,59
		2	1,33	0,01	
		3	1,75	0,01	

Fuente: elaboracion propia, con datos de la ecuación 9.

4. RESULTADOS

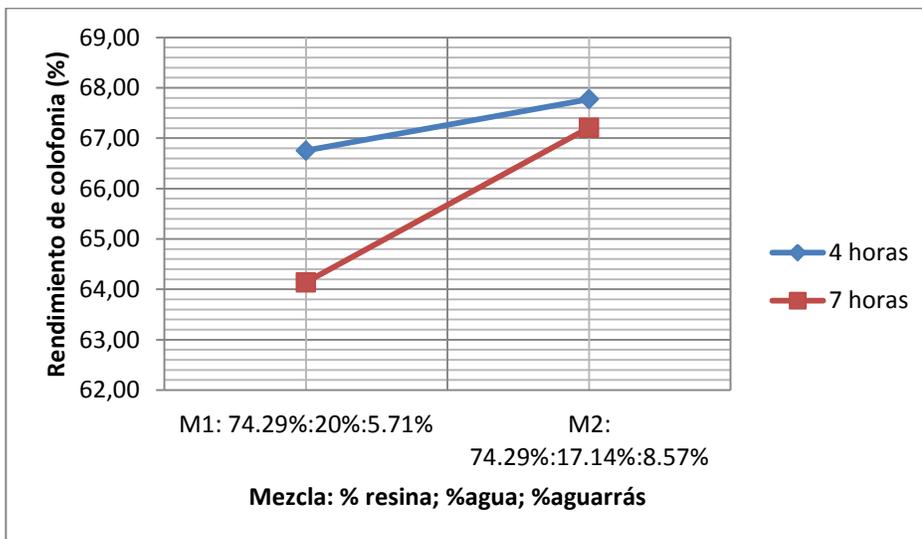
En las tablas de la XXV a la XXVIII se muestran los resultados obtenidos del rendimiento de colofonia, asimismo, en la figuras 8, 9 y 10 su interpretación, según las mezclas y tiempo.

Tabla XXV. **Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltl*) respecto a la formulación de la mezcla trabajada para cada tiempo de extracción**

TIEMPO (h)	Mezcla Resina/agua/aguarrás (%)	Rendimiento colofonia (%)	Desviación estándar (±%)
4,00	74,29 %; 20,00 %; 5,71 %	66,75	0,19
	74,29 %; 17,14 %; 8,57 %	67,77	0,37
7,00	74,29 %; 20,00 %; 5,71 %	64,14	1,91
	74,29 %; 17,14 %; 8,57 %	67,21	0,85

Fuente: elaboración propia con datos de la tabla XVIII.

Figura 8. Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) respecto a la formulación de la mezcla trabajada para cada tiempo de extracción



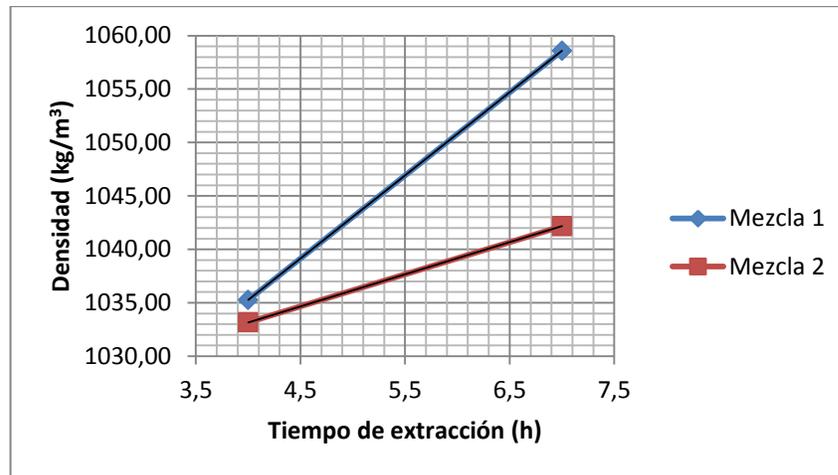
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXV.

Tabla XXVI. Densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada

Mezcla	Tiempo de extracción (h)	Densidad (kg/m ³)	Desviación estándar (±kg/m ³)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4	1 035,26	12,87
	7	1 058,57	17,85
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %:8,57 %	4	1 033,16	5,65
	7	1 042,17	13,70

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XIX.

Figura 9. **Densidad de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada**



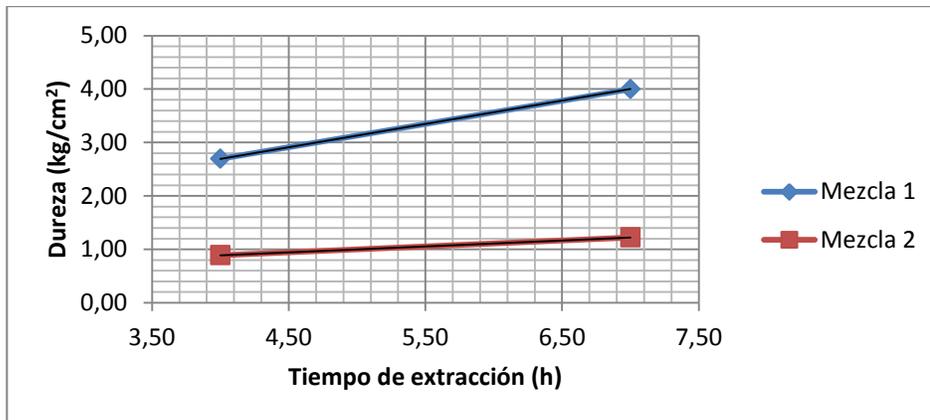
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXVI.

Tabla XXVII. **Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada**

Mezcla	TIEMPO (h)	Dureza (kg/cm ²)	Desviación estándar (±kg/cm ²)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4,00	2,69	0,64
	7,00	4,00	0,73
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %: 8,57 %	4,00	0,89	0,55
	7,00	1,22	0,59

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XX.

Figura 10. **Dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada**



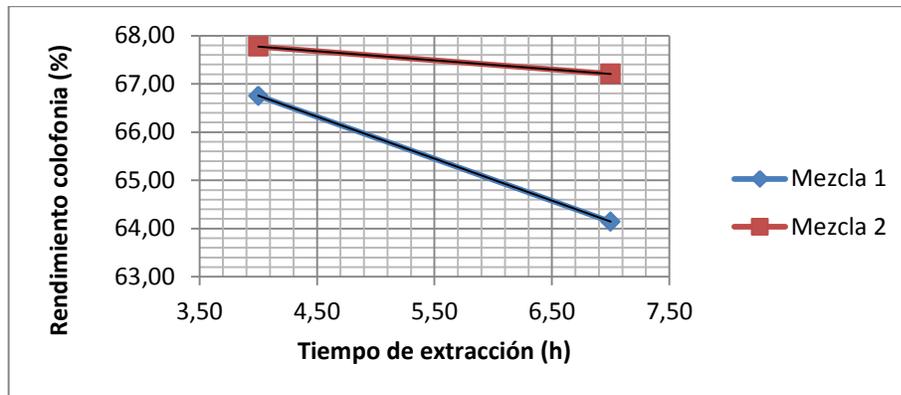
Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXVII.

Tabla XXVIII. **Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltdl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada**

Mezcla	Tiempo de extracción (h)	Rendimiento colofonia (%)	Desviación estándar ($\pm\%$)
Mezcla 1 74,29 %: 20 %: 5,71 %	4,00	66,75	0,19
	7,00	64,14	1,91
Mezcla 2 74,29 %: 17,14 %:8,57 %	4,00	67,77	0,37
	7,00	67,21	0,85

Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XVIII.

Figura 11. Rendimiento de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*) en función del tiempo de extracción en cada mezcla trabajada



Fuente: elaboración propia, con datos de la tabla XXVIII.

Tabla XXIX. Análisis cualitativo de muestras de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schldl*) a partir de las mezclas 1 y 2 para ambos tiempos de destilación

		Característica	
		Color	Elementos extraños
Mezcla	1	4 horas	Poseen el color ámbar más claro de todas las muestras, aunque la transparencia es casi nula.
		7 horas	Presentan un color significativamente más oscuro que a un tiempo de 4 horas. Sin embargo, se puede percibir una transparencia similar a la colofonia.
	2	4 horas	La mezcla es café de un tono mucho más oscuro, en comparación a ambos tiempos de la mezcla 1. No presenta transparencia.
		7 horas	La mezcla es la más oscura y opaca de todos los casos.
		Algunas muestras presentan partículas que no se pudieron eliminar por medio de las filtraciones realizadas.	

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El proyecto se basó en la extracción de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltzl*), eliminando la mayor cantidad de material volátil conformado por agua y aguarrás. El estudio consistió en realizar el procedimiento a escala planta piloto para evaluar las condiciones en las que el proceso es eficiente al momento de avanzar hacia la escala industrial.

Para extraer la colofonia a partir de la resina de pino ocote, esta última no requirió un calentamiento durante la filtración, pues presentaba una fluidez aceptable y además una cantidad reducida de residuos orgánicos. Se prepararon 2 tipos de mezclas en proporciones específicas de resina filtrada, agua y aguarrás, las cuales se calentaron en la marmita del sistema de destilación a 2 tiempos distintos cada una. El objetivo fue eliminar el material volátil llevándolo a su punto de ebullición, luego enfriándolo a través del condensador y finalmente, descartando el condensado. Esto permitió recuperar un producto en la marmita que era bajo en agua y aguarrás denominado colofonia.

El porcentaje de rendimiento se evaluó a partir de la masa de colofonia obtenida al final del proceso con respecto a la mezcla inicial, la cual varió en proporción de aguarrás según fuera la mezcla 1 o la 2. Para la destilación a 4 horas, la mezcla 1 con una proporción de 74,29 % de resina, 20 % de agua y 5,71 % de aguarrás presentó un rendimiento de 66,75 %, mientras que la mezcla 2 con una proporción de 74,29 % de resina, 17,14 % de agua y 8,57 % de aguarrás presentó uno de 67,77 % (tabla XXV), demostrando un comportamiento ascendente a mayor proporción de aguarrás en la mezcla

(figura 8). De la misma forma, la destilación a 7 horas demostró un rendimiento más alto al agregar una mayor proporción de aguarrás en la mezcla, resultando en 64,14 % para la mezcla 1 y 67,21 % para la mezcla 2 (tabla XXV). En contraste, al comparar los rendimientos con respecto a los tiempos de destilación, esta a un tiempo de 7 horas tuvo un menor porcentaje de rendimiento que a 4 horas tanto para la mezcla 1 como para la 2 (figura 11). De esa forma se concluyó que, al calentar la mezcla por un tiempo más prolongado esta perdió una mayor cantidad de material volátil; por tanto, esta masa ya no persistió dentro de la marmita como parte de la mezcla, sino se recuperó a la descarga del condensador. En este caso, el rendimiento de colofonia obtenido en la mezcla 1 a un tiempo de 7 horas, cuyo valor es el más bajo (64,14 %) representó el proceso más completo, pues implicó que efectivamente se había eliminado la parte no deseada en un porcentaje aceptable.

El efecto del tiempo de destilación fue evaluado sobre dos propiedades de la colofonia obtenida, la densidad y la dureza. La densidad de colofonia obtenida a partir de la destilación de la mezcla 1 a un tiempo de 4 horas fue 1 035,26kg/m³, mientras que a un tiempo de 7 horas fue 1 058,57 kg/m³ (tabla XXVI), esto indica que un mayor tiempo de destilación resultó en una colofonia más densa (figura 9). El mismo comportamiento se mostró para la mezcla 2, pues su densidad a 4 horas fue 1 033,16 kg/m³ y a 7 horas fue 1 042,17 kg/m³ (tabla XXVI). Analizando la densidad de ambas mezclas respecto a un tiempo específico, se denota un comportamiento inverso, pues la mezcla 1 que contenía una menor cantidad de aguarrás fue la que produjo una colofonia de mayor densidad, mientras que la mezcla 2, con una proporción mayor de aguarrás, resultó en una colofonia menos densa (figura 9). El tiempo afecta directamente a esta propiedad, ya que un mayor tiempo de proceso permitió eliminar un volumen más alto de material volátil y el remanente aumentó su proporción en material pesado. Aunado a esto, la pérdida de volumen fue mayor

al destilar durante un tiempo prolongado, por consiguiente la densidad del producto aumentó.

Por otro lado, la dureza de la colofonia obtenida se comportó de la misma forma que la densidad con respecto al tiempo, la destilación de 4 horas para la mezcla 1 brindó una colofonia cuya dureza fue 2,69 kg/cm² y al aumentar el tiempo de destilación a 7 horas la dureza de la colofonia obtenida también aumentó a 4,00 kg/cm² (tabla XXVII). Al destilar la mezcla 2 por 4 horas se obtuvo una dureza de colofonia de 0,89 kg/cm² mientras que a 7 horas la dureza de la colofonia aumentó a 1,22 kg/cm² (tabla XXVI). Esto demuestra que el tiempo de destilación más alto resultó en un producto con mayor dureza. Aunque para la mezcla 1 la diferencia entre 4 y 7 horas es más notable que para la mezcla 2, en ambos casos existe un comportamiento directamente proporcional entre el tiempo de destilación y la dureza de la colofonia obtenida (figura 10). Los datos obtenidos también muestran que una cantidad mayor de aguarrás en la mezcla inicial no favoreció la obtención de una colofonia con mayor dureza (figura 10).

En cuanto a las propiedades cualitativas de la colofonia obtenida, ningún tratamiento presentó la apariencia translúcida que caracteriza a la colofonia de mejor calidad. Sin embargo, la colofonia resultante de la mezcla 1 mostró un color más claro y se pueden percibir regiones de translucidez específicamente en la obtenida a un tiempo de 7 horas. La colofonia obtenida a partir de la mezcla 2 para ambos tiempos presentó un tono opaco y oscuro más parecido a la resina inicial que a la colofonia perseguida como producto final.

Existen diversos factores que contribuyeron a los resultados del proceso, como la temperatura de la marmita, cuyo máximo fue 98 °C. Por lo anterior, la mezcla requirió una agitación vigorosa para lograr evaporar los componentes

volátiles apropiada y efectivamente. Al paso de cierto tiempo la mezcla perdió volumen y la agitación ya no fue igual de efectiva, ya que el bajo nivel de líquido restringió el alcance del dispositivo. Como consecuencia, la liberación de material volátil se redujo, asimismo, el condensado que demostraba su eliminación de la marmita.

Gracias a pruebas preliminares, se concluyó que el sistema requería un aumento en el tamaño del lote para evitar el fenómeno antes descrito, no obstante, esto implicó un aumento en el tiempo de destilación. La agitación fue continua con el fin de compensar la falta de regulación de la temperatura. Esta última condición afectó directamente el proceso global de destilación pues el material necesitaba una temperatura más alta para eliminar eficientemente la masa volátil. Si bien una eliminación mayor no favoreció al rendimiento, sí resultó en un producto final con características de mejor calidad.

La diferencia entre las propiedades analizadas de colofonia se evaluó a través de la comparación de medias en dos experimentos a condiciones distintas, utilizando la *t*-Student como parámetro de referencia. La hipótesis a comprobar fue la inexistencia de una diferencia significativa entre las medias obtenidas de cada una de las propiedades de colofonia. El parámetro de referencia o estadístico de prueba se calculó para cada propiedad asimismo, se definieron los límites de la región de rechazo fuera de -2,776 y +2,776 (figura 6). La hipótesis no se aceptó al ubicar el estadístico de prueba en dicha región de rechazo, cuyo nivel de aceptación fue de 5 % (figura 7).

Para el rendimiento entre la mezcla 1 y la 2 a 4 horas el estadístico de prueba fue -4,248, en dicho caso la hipótesis se rechazó, ya que el valor quedó fuera del rango -2,776 y 2,776. Esto comprobó cuantitativamente que sí existe diferencia significativa entre el rendimiento obtenido de la mezcla 1 y el

obtenido de la mezcla 2, ambas a 4 horas de destilación. Para la mezcla 1 y la mezcla 2 a 7 horas de destilación, el estadístico de prueba fue -2,543, aceptando así la hipótesis de que no existe una diferencia significativa entre ambos rendimientos de colofonia (tabla XXI).

Al analizar la densidad no existe diferencia significativa al comparar una destilación de 4 horas y 7 horas, ya que los estadísticos de prueba fueron -1,835 y -1,053 para la mezcla 1 y 2, respectivamente. En cuanto a la comparación de la dureza de la colofonia obtenida a 4 y 7 horas de destilación, los estadísticos de prueba -2,837 y -0,709 para la mezcla 1 y mezcla 2, respectivamente, comprueban que existe diferencia significativa únicamente para la mezcla 1 al destilar a cada uno de esos tiempos (tabla XXI).

Esta evaluación demuestra que sí existió una diferencia considerable en el rendimiento al destilar con una cantidad distinta de aguarrás en la mezcla inicial cuando el tiempo de extracción fue bajo, afectando de forma significativa las propiedades de la colofonia obtenida. Además, que la dureza sí fue favorecida por el tiempo prolongado de destilación cuando la mezcla presentó una baja proporción de aguarrás.

La precisión al efectuar las diferentes repeticiones en cada experimento se cuantificó mediante la desviación estándar en cada uno de los casos, dichos valores se muestran en las tablas XXII, XXIII y XXIV. Los errores de exactitud se generaron, principalmente al medir en la báscula la masa de resina, aguarrás, agua, cubetas y colofonia obtenida, además del volumen de esta última en el recipiente graduado. Lo anterior se reflejó en los resultados de rendimiento y densidad de colofonia. La incerteza del rendimiento de colofonia se mantuvo entre 5 a 6 puntos porcentuales; mientras la densidad presentó una incerteza máxima de 27,2 kg/m³. Finalmente, la incerteza en la medición de la

dureza radicó del equipo utilizado, en este caso el penetrómetro, cuya incertidumbre fue $0,01 \text{ kg/cm}^2$.

CONCLUSIONES

1. Los rendimientos más altos de colofonia se presentaron en la mezcla 2 (74,29 %, 17,14 %, 8,57 %), 67,77 % y 67,21 %, para 4 y 7 horas respectivamente.
2. Se comprobó cuantitativamente que existe una diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento de colofonia de la mezcla 1 y la 2 (66,75 % y 67,77 %, respectivamente), a un tiempo de 4 horas según el estadístico de prueba -4,248.
3. Cuantitativamente se comprobó la existencia de una diferencia significativa entre la dureza de colofonia obtenida al destilar a 4 y 7 horas (2,69 kg/cm² y 4,00 kg/cm², respectivamente), para la mezcla 1 (74,29 %, 20 %, 5,71 %) con base en el estadístico de prueba -2,837.
4. La destilación de la mezcla 1 (74,29 %, 20 %, 5,71 %) sometida a un tiempo de 7 horas presentó los valores más altos de densidad y dureza de colofonia, 1 058,57 kg/m³ y 4,00 kg/cm² respectivamente.
5. La colofonia obtenida de la destilación de la mezcla 1 (74,29 %, 20 %, 5,71 %) a 7 horas presentó regiones de translucidez y un color claro característico de la colofonia, mostrando que las mejores propiedades se obtuvieron al destilar con la menor proporción de aguarrás y el mayor tiempo de proceso.

RECOMENDACIONES

1. Para recuperar una cantidad mayor de material volátil y un producto en la marmita con mayor pureza se debe mantener una temperatura mayor a 100 °C en la misma.
2. Agitar continuamente la mezcla en la marmita para favorecer la eliminación de material volátil.
3. Trabajar con un tamaño de lote de 30 kg teniendo previsto la pérdida de volumen que eventualmente se dará como consecuencia al calentamiento del material, y así, no afectar a la agitación del mismo.
4. Experimentar con proporciones menores a 5 % de aguarrás, para evaluar un comportamiento positivo en la separación del material volátil ya existente en la resina de pino.
5. Evaluar el proceso de destilación de colofonia a diferentes temperaturas con el objetivo de establecer la temperatura óptima del mismo, pues los resultados sugieren que este es un parámetro mucho más determinante que los analizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJA MORATAYA, Roderico Anibal. *Destilacion de la resina de pino ocote (Pinus Oocarpa schiede ex schltl) extraida en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterizacion de colofonia (Rosyn) a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 215 p.
2. Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso*. [en línea]. <www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1>. [Consulta: 16 de marzo de 2014].
3. ANDESIA QUÍMICOS. *Hoja de seguridad de colofonia*. [en línea]. <http://www.andesia.com/doc/quimicos/HojaSeguridad_Colofonia.pdf>. [Consulta: 11 de junio de 2014].
4. BERENGUER SUBILS, María José. *Colofonia: riesgos asociados a su utilización*. [en línea]. <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>>. [Consulta: 20 de marzo de 2014].
5. CANO MORALES, Telma Maricela. *Determinación de la composición química de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz*. Trabajo de graduacion Inga. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 285 p.

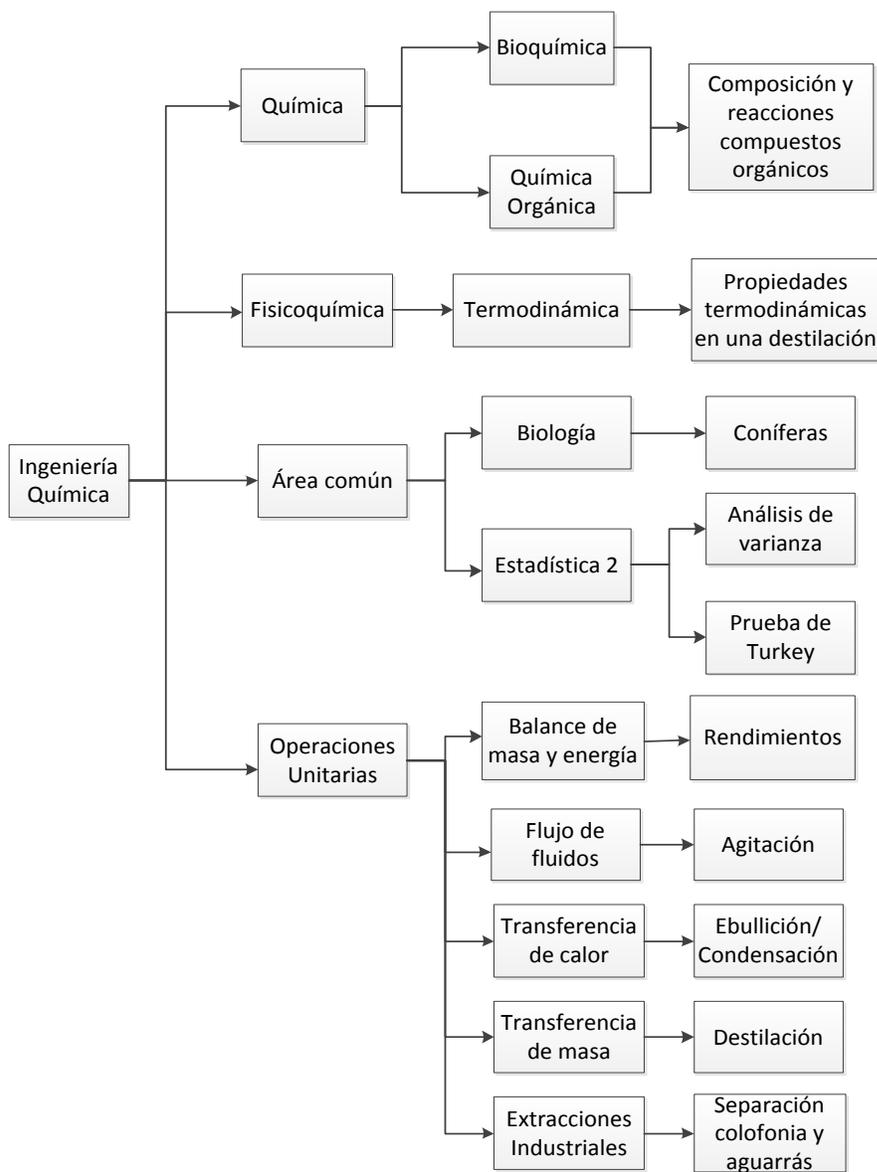
6. GARCÍA QUIROA, Geraldina Elizabeth. *Formulación y caracterización química del barniz fluorado para uso dental a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl), variando concentraciones de fluoruro de sodio y etanol, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 249 p.
7. GONZÁLEZ ALMENGOR, Ana Lucrecia. *Obtención y caracterización fisicoquímica de la colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) 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. 199 p.
8. GONZÁLEZ PIMENTEL, Mario Roberto. *Determinación de la composición química de la madera del pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl) procedente de plantación en Cucanjá, Tukurú, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 302 p.
9. HERNÁNDEZ CARDONA, Marcela Cristina. *Formulación y caracterización de un jabón para uso corporal a base de colofonia de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa schiede ex schltl), a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 188 p.

10. 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. 472 p.
11. McCABE, WARREN L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 265 p.
12. *Mercado libre*. [en línea]. <[http://listado.mercadolibre.com.ar/resina-colofonia-non-cristal-bolsa-de-25-kilos-\\$30](http://listado.mercadolibre.com.ar/resina-colofonia-non-cristal-bolsa-de-25-kilos-$30)>. [Consulta: 18 de marzo de 2014].
13. MORALES VALLEJO, Pedro. *Introducción al análisis de varianza*. [en línea]. <<http://www.upcomillas.es/personal/peter/analisisdevarianza/ANOVAIntroduccion.pdf>>. [Consulta: 29 de marzo de 2013].
14. Museo Nacional de Catalunya. *Colofonia*. [en línea]. <<http://museunacional.cat/es/colofonia>>. [Consulta: 26 de marzo de 2014].
15. PERRY, Robert H. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. Volumen II, España: McGraw-Hill, 2001. 277 p.
16. *Pinus oocarpa schiede ex schtdl.* [en línea]. <http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/pinus_oocarpa.pdf>. [Consulta: 20 de marzo de 2014].

17. *Recursos naturales de Guatemala y su explotación*. [en línea]. <http://www.deguate.com/artman/publish/produccion-guatemala/lo_srecursos-naturales_-de-guatemala-y-su-ex_plotacion.shtml#.U2HP DPI5P9s>. [Consulta: 20 de marzo de 2014].
18. *Resina de pino*. [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos57/resina-de-pino/resina-de-pino.shtml#ixzz30LVR2zrA>>. [Consulta: 20 de marzo de 2014].
19. RODRÍGUEZ NEGRÍN, Zack; GUERRA DE LEÓN, José O.; PÉREZ LEÓN, I. *Determinación cuantitativa de ácidos resínicos*. [en línea]. <<http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq/article/viewFile/2190/1732>>. [Consulta: junio de 2014].
20. SOLOMON, Eldra P.; BERG, Linda R.; MARTIN, Diana W. *Biología*. 8a. ed. México: McGraw-Hill, 2008. 1234 p.
21. Struktol Company of America. *Manual del caucho*. [en línea]. <http://www.struktol.com/pdfs/Manual_del_caucho.pdf>. [Consulta: junio de 2014].
22. TECA. *Resinación de pinos*. [en línea]. <<http://teca.fao.org/es/read/3689#sthash.g8ze5YfD.dpuf>>. [Consulta: 10 de junio de 2014].

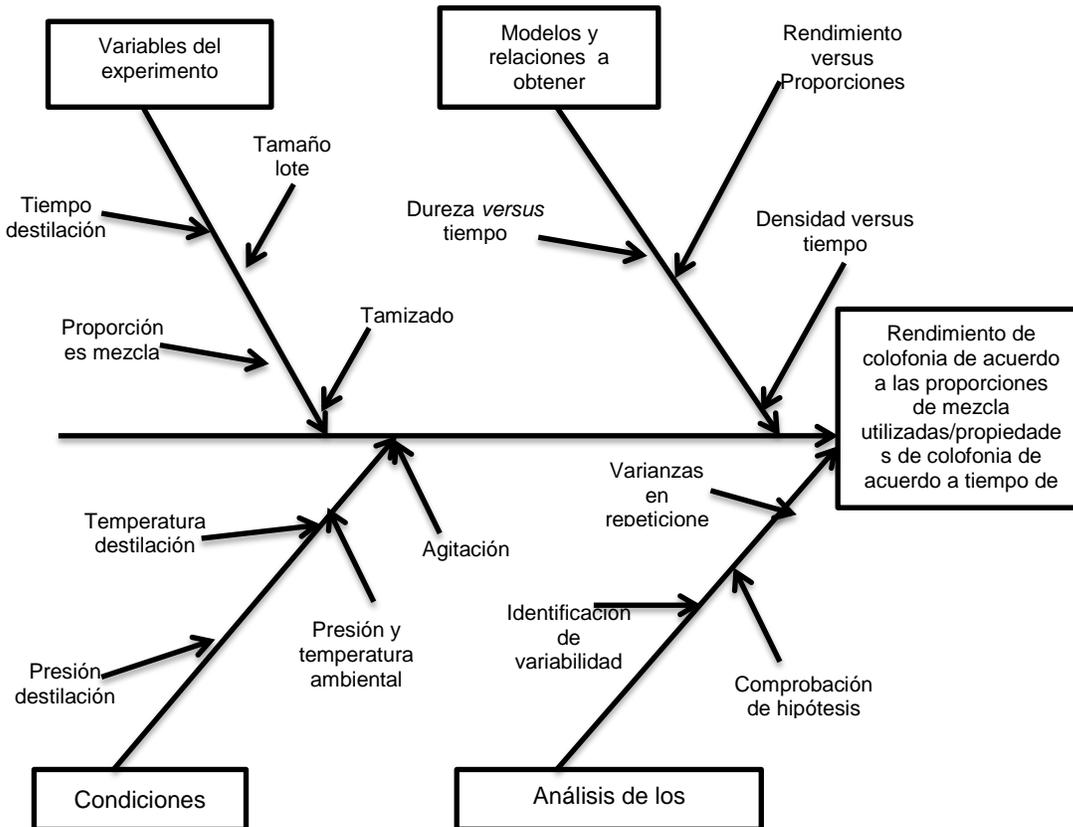
APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Producción artesanal de colofonia a partir de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schtdl*)**

Calentamiento de la resina



Descarga de resina filtrada con una malla artesanal



Sistema de enfriamiento



Continuación del apéndice 3.

Recuperación de aguarrás



Colofonia sólida empacada por proveedor de resina



Fuente: fotografía propia, tomada en Granados, Baja Verapaz.

Apéndice 4. **Eliminación de hojas, ramas, troncos, piedras e insectos de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa schiede ex schltl*)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIECVE- USAC.

Apéndice 5. **Eliminación de restos orgánicos de menor tamaño utilizando tamiz metálico, recipiente de acero inoxidable y espátula**



Continuacion del apéndice 5.



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIECVE- USAC.

Apéndice 6. **Equipo de protección utilizado para evitar el contacto con la piel (izquierda) y desechos de la filtración (derecha)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIECVE- USAC.

Apéndice 7. **Equipo de destilación. Calentamiento**

<p>Marmita de destilación con agitación</p> 	<p>Medidor de temperatura</p> 
<p>Medidor de presión instalado en la entrada de vapor a la marmita</p> 	<p>Tubería de vapor a condensar</p> 

Continuación del apéndice 7.



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 8. Equipo de destilación. Enfriamiento

Condensador y conexión hacia la marmita de calentamiento



Medidor de temperatura de agua de enfriamiento en condensador



Descarga de condensado

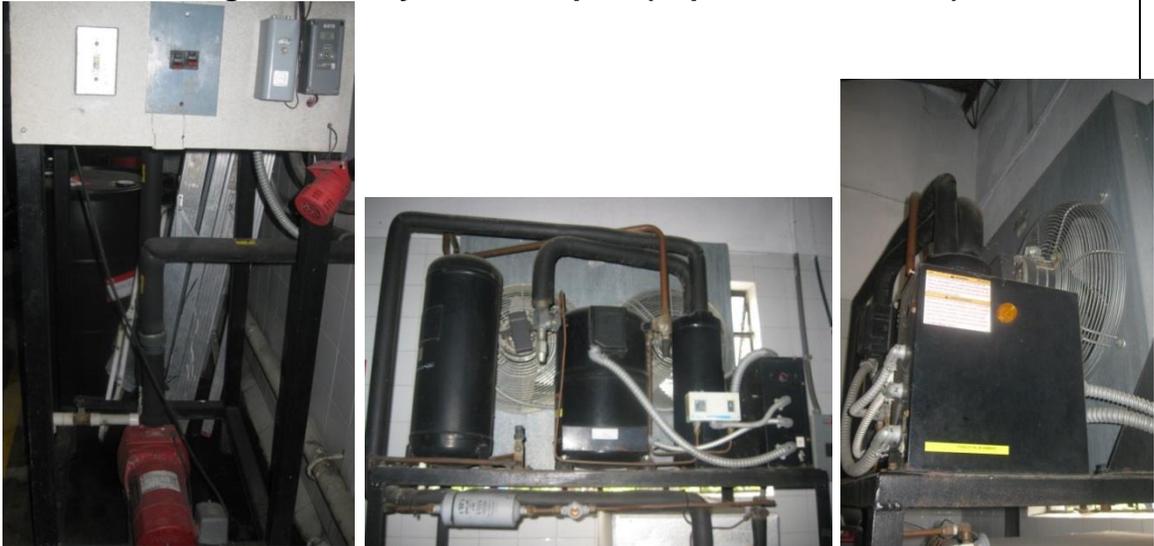


Continuación del apéndice 8.

Tuberías de ingreso y egreso de agua fría al condensador	Descarga al tanque de agua fría
	
Tanque de agua fría	bomba de circulación de Tanque/Chiller/Condensador
	

Continuación del apéndice 8.

Interruptor de bomba de circulación de agua, dispositivo de enfriamiento de agua, chiller y su interruptor (izquierda a derecha)



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIE XVE- USAC.

Apéndice 9. Báscula OHAUS



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIE XVE- USAC.

Apéndice 10. Caldera

Caldera



Panel de control y arranque



Caja de electricidad



Tanque de suministro de agua a caldera



Continuación del apéndice 10.

Válvulas de desga de agua para purga de caldera	Medidor McDonald para el nivel de agua en caldera
	
Tanque de suministro de diesel a caldera	
	

Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIEXVE- USAC.

Apéndice 11. **Medición de masa de cada componente de la mezcla resina/agua/aguarrás**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 12. **Transferencia de resina a marmita de calentamiento**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 13. **Transferencia de agua y aguarrás a marmita de agitación**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 14. **Mezcla Resina/agua/aguarrás**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 15. Colocación de cubierta en marmita



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 16. **Instalación de tuberías marmita/condensador**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIEXVE- USAC.

Apéndice 17. **Monitoreo del proceso de destilación: Temperatura de agua fría en condensador, temperatura de marmita, presión de ingreso de vapor en marmita y presión de caldera**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIEXVE- USAC.

Apéndice 18. **Descarga de colofonia obtenida a través del tamiz metálico**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIEXVE- USAC.

Apéndice 19. **Comparación entre colofonia solidificada (izquierda) y recién descargada (derecha)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIEXVE- USAC.

Apéndice 20. **Muestras de colofonia obtenida a partir de la mezcla 1 (izquierda) y la mezcla 2 (derecha)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 21. **Comparación de colofonia a un tiempo de destilación de 7 horas (izquierda) y a uno de 4 horas (derecha) para la mezcla 1**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto-LIEXVE- USAC.

Apéndice 22. **Comparación de colofonia obtenida de la mezcla 2 (izquierda) y la mezcla 1 (derecha)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIE XVE- USAC.

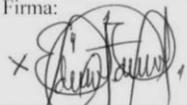
Apéndice 23. **Lotes de colofonia obtenidos por medio de la destilación de resina de pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schldl)**



Fuente: fotografía propia, tomada en Planta piloto–LIE XVE- USAC.

ANEXOS

Anexo 1. **Medición de dureza de colofonia obtenida de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*)**

ESCUELA DE QUIMICA UNIDAD DE ANALISIS INSTRUMENTAL Edificio T-13, Ciudad Universitaria, Zona 12 Tel: 24189412				INFORME DE ANÁLISIS DE LABORATORIO QUÍMICO			
NOMBRE COMÚN O COMERCIAL DE LA MUESTRA Muestra de etiqueta.				No. de Código / Marca del Remitente Muestra 1511158-169 Muestra de colofonia de Pino ocote			
No. Registro: 1511158-169		Empresa/Institución: Arturo Cabrera Remitente/Solicitante: Sr. Arturo Cabrera					
Fecha recepción 04/11/2015	Muestras recibidas por EC	Tipo de recipiente Recipiente de vidrio			Peso neto ***		
DETERMINACIONES SOLICITADAS: DUREZA MEDIDA CON PENETROMETRO							
RESULTADOS DE ANÁLISIS							
Muestra	Código UAI	Penetración				Observaciones	
		R1	R2	R3	Promedio		
M ₂ T ₂ R ₁	1511158	0.75	0.5	0.5	0.58	*****	
M ₂ T ₂ R ₂	1511159	1.00	1.50	1.50	1.33	*****	
M ₂ T ₂ R ₃	1511160	1.75	1.75	1.75	1.75	*****	
M ₁ T ₁ R ₁	1511161	2.50	3.00	3.00	2.83	*****	
M ₁ T ₁ R ₂	1511162	1.50	2.00	2.50	2.00	*****	
M ₁ T ₁ R ₃	1511163	2.75	3.50	3.50	3.25	*****	
M ₁ T ₂ R ₁	1511164	4.50	4.50	4.50	4.50	PRESENTA LA MAYOR DUREZA	
M ₁ T ₂ R ₂	1511165	3.00	3.25	3.25	3.17	*****	
M ₁ T ₂ R ₃	1511166	4.50	4.25	4.50	4.42	*****	
M ₂ T ₁ R ₁	1511167	1.00	1.50	2.00	1.50	*****	
M ₂ T ₁ R ₂	1511168	0.25	0.50	0.50	0.42	PRESENTA LA MENOR DUREZA	
M ₂ T ₁ R ₃	1511169	0.50	0.75	1.00	0.75	*****	
Costo por muestra:		Q 35.00 x 12					
Fecha: 09/11/2015	Analista(s) PJ	Ref. Registro Análisis: Cuaderno UAI/PJ		Costo total facturado: Q 420.00			
Firma: 	Recibido nombre:	Firma		Fecha:			

Fuente: Unidad de Análisis Instrumental de la Escuela de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

Anexo 2. Imagen de colofonia



Fuente: Museo Nacional de Catalunya. *Colofonia*. <http://museunacional.cat/es/colofonia>.

Consulta: 26 de marzo de 2014.

Anexo 3. Variedades de colofonia

Variedad	Descripción
Colofonias de miera (" <i>Gum rosin</i> ")	Se obtienen a partir de la secreción oleorresinosa de ciertas especies de pinos vivos de la que, por destilación con arrastre de vapor, se ha separado la fracción volátil, conocida como esencia de trementina o aguarrás.
Colofonias <i>tall-oil</i> (" <i>Tall oil rosin</i> ")	Se obtienen por destilación fraccionada del subproducto resultante de la obtención de celulosa para la fabricación del papel.
Colofonias de madera (" <i>Wood rosi</i> ")	Se obtienen a partir de troncos de pino cortados y envejecidos. Con ello se elimina la corteza y savia quedando la parte rica en resinas. La oleorresina se extrae con disolventes alifáticos de bajo punto de ebullición.

Fuente: BERENGUER SUBILS, María José. *Colofonia: riesgos asociados a su utilización*.

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a78>

3/752.pdf. Consulta: 20 de marzo de 2014.

Anexo 4. Aplicaciones de 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 anti verrugas. • 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 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 (emulsificantes). • 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: BERENGUER SUBILS, María José. *Colofonia: riesgos asociados a su utilización.*

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/752a783/752.pdf>. Consulta: 20 de marzo de 2014.

Anexo 5. **Buenas prácticas de laboratorio. Protección personal y manipulación del equipo**

Procedimiento	Protección	Manipulación del Equipo
Limpieza de resina, dilución con aguarrás y filtración.	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de protección para manipular el aguarrás y la resina. • Mascarilla para evitar inhalar material volátil. • Evitar cualquier fuente de ignición ya que el aguarrás es muy inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> • El tamiz debe ser lavado y desinfectado antes y después de cada filtración para evitar la contaminación cruzada con la siguiente muestra.
Dilución con agua y decantación.	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar agua libre de cualquier sustancia que pudiera afectar la calidad o contaminar la resina. 	<ul style="list-style-type: none"> • El tanque en el que se realizará la decantación debe ser lavado y desinfectado antes y después de cada decantación.
Mezcla resina purificada-agua-aguarrás.	<ul style="list-style-type: none"> • Nunca introducir las manos dentro de la marmita de agitación para evitar accidentes o lesiones graves. 	<ul style="list-style-type: none"> • La marmita debe ser lavada y desinfectada antes y después de cada mezcla realizada.
Destilación	<ul style="list-style-type: none"> • Guantes de protección térmica al manipular el equipo de destilación. • Mascarilla para evitar inhalar vapores dañinos. 	<ul style="list-style-type: none"> • La marmita de concentración debe ser lavada y desinfectada antes y después de cada destilación.
Manipulación de colofonia	<ul style="list-style-type: none"> • Es muy inflamable y arde con una llama humeante, por lo que se debe tener cuidado al derretirla. • Mascarilla que evite la exposición prolongada a los humos de colofonia que pueden causar asma ocupacional en personas sensibles. • Monogafas, guantes de neopreno, atuendo impermeable, botas, escudo facial, delantal químico, tener disponible ducha lavajos, ducha de emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes completamente libres de material contaminante y hermético. • Utilizar suficiente dilución o ventilación local de extracción de aire.

Fuente: Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso.*

www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1. Consulta: 16 de marzo de 2014.

Anexo 6. **Buenas prácticas de laboratorio. Peligros relacionados a la colofonia**

<p>Puede ser un polvo combustible al mezclarse con el aire. Puede quemarse si es fuertemente calentado. Es un sensibilizador de la piel, puede causar una reacción alérgica severa a la piel. Puede ser un sensibilizador respiratorio, Puede causar una reacción alérgica respiratoria.</p>		
Vía de exposición	Peligro	Primeros auxilios
Inhalación	La inhalación a niveles de 1 mg/m ³ ha reportado que causa irritación bronquial leve.	Retirar al aire fresco y ayudar en su respiración si es necesario
Ingestión	La Ingestión de grandes cantidades puede causar obstrucción intestinal con la dosis toxica siendo mayor de 2g/Kg.	Si se ha ingerido grandes cantidades comunicarse con el centro para el control de envenenamiento a menos que se aconseje lo contrario, cuando la persona este consiente suministrar 1 a 2 vasos de agua, entonces inducir al vomito.
Contacto con la piel	No se espera que el sólido sea irritante. El ácido abietico es un sensibilizador de la piel	Evitar el contacto directo. Usar ropa de protección contra químicos. Retirar la ropa y el calzado contaminado, lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Para piel enrojecida o con ampollas llamar al médico inmediatamente.
Contacto ocular	Causa irritación, enrojecimiento.	Evitar el contacto directo. Usar gafas de protección química. No permitir que la víctima se rasque el ojo. Suavemente lavar los ojos y enjuagar con abundante agua durante 15 minutos. Llame al médico urgentemente.
Efectos crónicos:		
<p>Existen varios reportes de dermatitis de contacto desarrollada en personas que han sido expuestas a la colofonia. Una vez que la persona se sensibiliza al material, el contacto con pequeñas cantidades causa episodios de dermatitis con enrojecimiento, picazón e hinchazón. Esta reacción puede extenderse desde las manos o brazos hasta otras partes del cuerpo.</p>		

Fuente: Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso.*

www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1. Consulta: 16 de marzo de 2014.

Anexo 7. Buenas prácticas de laboratorio. Medidas contra incendios

Peligro de incendio o explosión	El recipiente puede explotar en el calor de un incendio. La colofonia libera emanaciones irritantes y sofocantes al ser calentado. El polvo de colofonia presenta un peligro severo de explosión con el aire.
Precauciones para evitar Incendio y/o Explosión:	Mantenga alejado el producto de fuentes de ignición y cualquier área con alto riesgo de incendio. Evite el calor excesivo.
Procedimientos en caso de Incendio y/o Explosión:	Debido a que el incendio puede producir productos tóxicos de descomposición termal utilice un aparato de respiración contenedor de aire con una máscara completa que opere bajo demanda de presión o modo de presión positivo y un atuendo de protección completo.

Fuente: Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso.*
www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1. Consulta: 16 de marzo de 2014.

Anexo 8. Buenas prácticas de manufactura. Manipulación y almacenamiento de colofonia

Almacenamiento:	Evitar el daño físico a los recipientes. Almacenar en un área fría, seca y bien ventilada lejos de fuentes de ignición y oxidantes. Para prevenir chispas estáticas, unir a tierra todos los recipientes utilizados en la manufactura, almacenaje y transportación de la colofonia.
Manipulación:	Evitar el contacto con la piel, ojos y ropa. Utilizar el equipo de protección personal. Lavarse completamente con agua y jabón después de manipularlo. Alejar de la humedad, el aire y de fuentes de calor e ignición. Manipular el producto con ventilación localizada en el punto de emisión de los vapores. Mantener las normas de higiene, no comer, beber ni fumar dentro del área de trabajo.
Derrames	Se debe aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar el área, usar equipo de protección personal, absorber los derrames pequeños con material absorbente o con material que no produzca chispas y se debe colocar dentro de recipientes adecuados para su posterior evacuación. Para derrames mayores se debe hacer un dique para contener el derrame y luego disponer del mismo. Si la colofonia se encuentra caliente recoger con un absorbente que no sea combustible.

Fuente: Andaluza de Laminados. *El buen gusto por la madera: clases de uso.*
www.andaluzadelaminados.es/es/servicios/List/listing/clases-de-uso-104/1. Consulta: 16 de marzo de 2014.