



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

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO
OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldt!*) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS
ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS**

Ana Lucrecia González Almengor

Asesorada por la Inga. Telma Maricela Cano Morales

Asesorada por el Ing. Mario José Mérida Meré

Guatemala, mayo de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO
OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS
ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ANA LUCRECIA GONZÁLEZ ALMENGOR

ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES

ASESORADO POR EL ING. MARIO JOSÉ MÉRIDA MERÉ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, MAYO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herber de León Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
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:

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schtdl*) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha marzo de 2011.



Ana Lucrecia González Almengor



Guatemala, 13 de enero de 2012

Ingeniero
Williams Álvarez
Director
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Álvarez:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación **“Obtención y Caracterización Físicoquímica de la Colofonia de la Resina de Pino Ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) a Nivel Laboratorio, que Cumpla con las Especificaciones para la Formulación de Barnices Fluorados”**, de la estudiante de Ingeniería Química Ana Lucrecia González Almengor quien se identifica con el carné número 2006-10975.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Asesora



Ing. Mario José Mérida Meré
Coordinador
Laboratorio de Investigación
de Extractos Vegetales - LIEXVE -
Asesor





Guatemala, 05 de marzo de 2012
Ref. EI.Q.TG-IF.009.2012

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-005-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ana Lucrecia González Almengor.**

Identificada con número de carné: **2006-10975**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.

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

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera: **Telma Cano Morales.**

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.

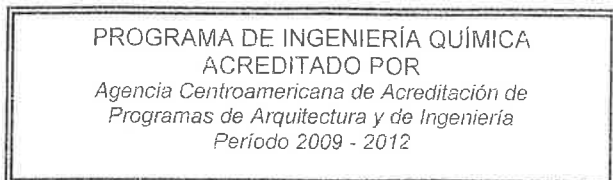
"D Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. César Alfonso García Guerra
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

C.c.: archivo



PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR
Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Guatemala, 06 de marzo de 2012
Ref. EI.Q.124A.2012

Señores
Área de Lingüística
Facultad de Ingeniería
Presente,

Estimados Señores:

Como consta en el Acta TG-005-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Ana Lucrecia González Almengor.**

Identificada con número de carné: **2006-10975**

Previo a optar al título de INGENIERA QUÍMICA.

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

OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera: **Telma Cano Morales.**

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Williams Guillermo Alvarez Mejia; C. D.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

C.c.: archivo

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ACREDITADO POR

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería
Período 2009 - 2012



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



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: **OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA COLOFONIA DE LA RESINA DE PINO OCOTE (*Pinus oocarpa* Schiede ex SchlII) A NIVEL LABORATORIO, QUE CUMPLA CON LAS ESPECIFICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE BARNICES FLUORADOS**, presentado por la estudiante universitaria **Ana Lucrecia González Almengor**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alfredo Beber'.

Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
Decano en Funciones

Guatemala, 7 de mayo de 2012.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi sabiduría y fortaleza para llegar a culminar mi carrera. Así como llenarme de bendiciones a lo largo de mi vida.
- Mis padres** Lidia Argentina Almengor Velásquez y Edgar Rodolfo González Mayen, por ser mis modelos de perseverancia, responsabilidad y amor. Este logro es de ustedes. Gracias por ser mis ángeles guardianes en este mundo.
- Mis hermanas** Iris Lucia, Claudia Liliana y Cristina Lisethe. Por compartir mis éxitos y fracasos. Gracias por su amor y apoyo. En especial gracias por todos esos momentos que quedaron grabados por siempre en mi corazón.
- Mis abuelos** Argentina Velásquez, por haberme dado a mi ángel guardián, por tu apoyo incondicional y sabiduría brindada. Gracias.
Natalia Mayen (q.e.p.d.) por haberme dejado en este mundo a mi ángel guardián. Gracias.
Aparicio Almengor, por haberme guiado en mi camino y por tu sabiduría brindada. Gracias.
Daniel González (q.e.p.d.) por haber sido el modelo a seguir de mi mejor amigo. Gracias.

Familiares

Con cariño sincero. En especial a mis tíos maternos: Sonia, Henry y Jorge Almengor por demostrarme lo que es el amor incondicional de una familia.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser el guía de mi vida.
Mi familia	Por su apoyo, amor incondicional y por enseñarme a luchar por mis sueños.
Mis abuelos	Por estar junto a mí en los momentos más difíciles de mi vida.
Mis tíos	Por ser cada uno especial conmigo. Gracias por todos sus consejos.
Mis primos	En especial a Claudia Granados, Andrea Almengor, Vanessa Granados, Patricia Almengor, Sindy Almengor, Gabriela Granados, Mildred Almengor, Pablo Almengor, Henry Almengor y Jorge Almengor por brindarme una infancia memorable junto a ustedes. Gracias por todo su apoyo y cariño.
Mis amigos	Por ser incondicionales. Gracias por todo su apoyo y cariño.
Mis asesores	Telma Maricela Cano Morales, por su tiempo, apoyo, motivación y comprensión en la realización de este trabajo. Mario José Mérida Meré por abrirme las puertas y darme la oportunidad de aprender.

Los ingenieros

César García, Federico Salazar y Artemio Ramírez. Gracias por todas las enseñanzas, por su tiempo y consejos invaluable.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Pino de Ocote (<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl</i>).....	5
2.1.1. Descripción.....	5
2.1.2. Sinónimos.....	5
2.1.3. Uso.....	5
2.2. Resina.....	6
2.2.1. Sistemas de resinación.....	9
2.2.1.1. Sistema chino.....	9
2.2.1.2. Sistema de cajete o americano primitivo.....	10
2.2.1.3. Sistema americano.....	11
2.2.1.4. Sistema de crott.....	11
2.2.1.5. Sistema mazek, rill o alemán-americano.....	12
2.2.1.6. Sistema Hugues o Francés.....	13

2.2.2.	Componentes principales de la resina de pino ocote.....	17
2.2.2.1.	Colofonia.....	17
2.3.	Filtración.....	22
2.4.	Destilación.....	23
2.5.	Barniz fluorado.....	24
2.6.	Flúor y fluoruros.....	27
2.7.	Fluoruros empleados en los barnices dentales.....	29
2.7.1.	Fluoruro de sodio (NaF).....	29
2.7.2.	Monofluoruro fosfato de sodio (NaMFP).....	29
2.8.	Mecanismo de acción del fluoruro en los dientes.....	30
2.8.1.	Disminución de la solubilidad del esmalte y dentina.....	30
2.8.2.	Desmineralización y remineralización.....	31
2.8.3.	Metabolismo bacteriano.....	32
2.8.4.	Adhesión bacteriana.....	33
2.8.5.	Formación del fluoruro de calcio.....	33
2.8.6.	Fluorosis dental.....	34
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
3.1.	Variables.....	35
3.1.1.	Variables independientes.....	35
3.1.2.	Variables dependientes.....	35
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	36
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	37
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	37
3.4.1.	Materia prima y reactivos.....	38
3.4.2.	Cristalería y equipos.....	38
3.5.	Técnicas cuantitativas y cualitativas.....	39

3.5.1.	Diseño general.....	40
3.5.2.	Descripción de técnicas cuantitativas y cualitativas.....	40
3.5.2.1.	Rendimiento.....	41
3.5.2.2.	Densidad.....	41
3.5.2.3.	Color.....	41
3.5.2.4.	Elementos extraños.....	41
3.5.2.5.	Índice de acidez.....	42
3.5.2.6.	Trazas de aguarrás presentes.....	42
3.5.2.7.	Cenizas totales.....	44
3.5.2.8.	Punto de reblandecimiento.....	44
3.5.2.9.	Dureza.....	46
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	47
3.6.1.	Diseño de tratamientos.....	47
3.6.2.	Diseño experimental.....	50
3.6.3.	Procesamiento de la información.....	50
3.6.4.	Datos originales.....	52
3.7.	Tabulación y procesamiento de la información.....	65
3.7.1.	Muestra de cálculo.....	65
3.8.	Análisis estadístico.....	81
3.8.1.	Análisis de varianza.....	85
4.	RESULTADOS.....	107
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	117
5.1.	Prueba de rendimiento.....	117
5.2.	Prueba de densidad.....	118
5.3.	Prueba de dureza.....	119
5.4.	Prueba de índice de acidez.....	120

5.5.	Prueba de elementos extraños.....	121
5.6.	Prueba de reblandecimiento.....	121
5.7.	Prueba de cenizas totales.....	123
5.8.	Prueba de color.....	124
5.9.	Prueba de trazas de aguarrás.....	124
CONCLUSIONES.....		127
RECOMENDACIONES.....		129
BIBLIOGRAFÍA.....		131
APÉNDICE.....		133
ANEXOS.....		145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Pino de Ocote (<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltl</i>) del municipio de Granado, Baja Verapaz.....	6
2.	Canales Resiníferos del Pino de Ocote (<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltl</i>) del municipio de Granados, Baja Verapaz.....	7
3.	Resina de Pino de Ocote (<i>Pinus oocarpa Schiede ex Schltl</i>) del municipio de Granados , Baja Verapaz.....	8
4.	Sistema Chino.....	10
5.	Sistema americano.....	11
6.	Sistema de crott.....	12
7.	Sistema mazek o rill.....	13
8.	Sistema Hugues o Francés.....	14
9.	Precios de la colofonia y sus derivados en el mercado mundial.....	16
10.	Colofonia extraída de la resina de pino ocote.....	20
11.	Estructura de los ácidos presentes en la colofonia.....	20
12.	Filtración de la resina de Pino de Ocote.....	22
13.	Equipo de destilación a nivel laboratorio, LIEXVE.....	24
14.	Diseño general.....	40
15.	Cromatografía típica de la colofonia, obtenida por destilación.....	43
16.	Método de bola-anillo.....	45
17.	Durómetro y sus medidas.....	46
18.	Comportamiento de la dureza de la colofonia.....	107
19.	Comportamiento de la densidad de la colofonia.....	108
20.	Comportamiento de los elementos extraños.....	109

21.	Comportamiento del índice de acidez.....	110
22.	Comportamiento del rendimiento.....	111

TABLAS

I.	Especies resinadas en toneladas de oleoresina/año datos estimados para la zafra 2006/2007.....	9
II.	Composición de ácidos resínicos en distintos tipos de colofonia.....	21
III.	Efectividad de los agentes de flúor.....	27
IV.	Valores de α para los diferentes combinaciones de k y n_o en un diseño compuesto central ortogonal.....	48
V.	Factores evaluados.....	48
VI.	Tratamientos resultantes.....	49
VII.	Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	52
VIII.	Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición dos.....	53
IX.	Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición tres.....	53
X.	Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro.....	54
XI.	Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	55
XII.	Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición dos.....	55
XIII.	Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición tres.....	56
XIV.	Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro.....	57

XV.	Mediciones de la dureza de la colofonia para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro.....	57
XVI.	Mediciones del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición uno y dos.....	58
XVII.	Mediciones del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición tres y cuatro.....	59
XVIII.	Mediciones del punto de reblandecimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro.....	60
XIX.	Mediciones del color de la colofonia para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro.....	61
XX.	Mediciones de las cenizas totales para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro.....	61
XXI.	Mediciones de los elementos extraños para los nueve tratamientos, de la repetición uno y dos.....	62
XXII.	Mediciones de los elementos extraños para los nueve tratamientos, de la repetición tres y cuatro.....	63
XXIII.	Mediciones de las trazas de aguarrás para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	63
XXIV.	Datos de la muestra comercial, fecha de fabricación fue el 11/03/2011.....	64
XXV.	Resumen del cálculo de la varianza univariante de la densidad de la colofonia a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada.....	70
XXVI.	Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	71
XXVII.	Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición dos.....	72
XXVIII.	Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición tres.....	72

XXIX.	Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro.....	73
XXX.	Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	74
XXXI.	Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición dos.....	74
XXXII.	Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición tres.....	75
XXXIII.	Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro.....	75
XXXIV.	Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición uno.....	76
XXXV.	Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición dos.....	77
XXXVI.	Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición tres.....	77
XXXVII.	Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro.....	78
XXXVIII.	Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición uno.....	79
XXXIX.	Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición dos.....	79
XL.	Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición tres.....	80
XLI.	Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición cuatro.....	81
XLII.	Datos típicos para el diseño de bloques al azar.....	82

XLIII.	Análisis de la varianza para el diseño compuesto central ortogonal para $k=2$, estimando el error experimental por replicaciones del conjunto total de combinaciones.....	83
XLIV.	Resumen del cálculo de la varianza univariante de la dureza de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	85
XLV.	DHS de Tukey de la dureza, de la colofonia a diferentes concentraciones.....	86
XLVI.	DHS de Tukey de la dureza, de la colofonia a diferentes tiempos.....	86
XLVII.	Resumen del cálculo de la varianza univariante de la densidad de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	87
XLVIII.	DHS de Tukey de la densidad, de la colofonia a diferentes concentraciones.....	88
XLIX.	DHS de Tukey de la densidad, de la colofonia a diferentes tiempos.....	88
L.	Resumen del cálculo de la varianza univariante de la rendimiento de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	89
LI.	DHS de Tukey del rendimiento, de la colofonia a diferentes concentraciones.....	90
LII.	DHS de Tukey del rendimiento, de la colofonia a diferentes tiempos.....	90
LIII.	Resumen del cálculo de la varianza univariante del índice de acidez de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	92
LIV.	DHS de Tukey del índice de acidez de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes concentraciones.....	92

LIV.	DHS de Tukey del índice de acidez, de la colofonia a diferentes tiempos.....	93
LVI.	Resumen del cálculo de la varianza univariante del las cenizas totales de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos.....	94
LVII.	DHS de Tukey de las cenizas totales de la colofonia, <i>Rosyn</i> a diferentes concentraciones.....	94
LVIII.	DHS de Tukey de las cenizas totales de la colofonia, a diferentes tiempos.....	95
LIX.	Resumen del cálculo de la varianza univariante de los elementos extraños de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	96
LX.	DHS de Tukey de los elementos extraños, de la colofonia a diferentes concentraciones.....	96
LXI.	DHS de Tukey de los elementos extraños, de la colofonia a diferentes tiempos.....	97
LXII.	Resumen del cálculo de la varianza univariante del punto de reblandecimiento de la colofonia, <i>Rosyn</i> , a diferentes tiempos de destilación.....	98
LXIII.	DHS de Tukey del punto de reblandecimiento, de la colofonia a diferentes concentraciones.....	98
LXIV.	DHS de Tukey del punto de reblandecimiento, de la colofonia a diferentes tiempos.....	99
LXV.	Coeficientes de la dureza.....	100
LXVI.	Resumen del modelo de la dureza.....	100
LXVII.	Anova de la dureza.....	100
LXVIII.	Coeficientes de la densidad.....	101
LXIX.	Resumen del modelo de la densidad.....	101
LXX.	Anova de la densidad.....	101
LXXI.	Coeficientes del rendimiento.....	102

LXXII.	Resumen del modelo del rendimiento.....	102
LXXIII.	Anova del rendimiento.....	103
LXXIV.	Coeficientes del índice de acidez.....	103
LXXV.	Resumen del modelo del índice de acidez.....	104
LXXVI.	Anova del índice de acidez.....	104
LXXVII.	Coeficientes de los elementos extraños de la colofonia.....	105
LXXVIII.	Resumen del modelo de los elementos extraños.....	105
LXXIX.	Anova de los elementos extraños.....	105
LXXX.	Coeficientes del punto de reblandecimiento.....	106
LXXXI.	Resumen del modelo del punto de reblandecimiento.....	106
LXXXII.	Anova del punto de reblandecimiento.....	106
LXXXIII.	Correlación, coeficiente y rangos de la figura 17.....	108
LXXXIV.	Correlación, coeficiente y rangos de la figura 18.....	109
LXXXV.	Correlación, coeficiente y rangos de la figura 19.....	110
LXXXVI.	Correlación, coeficiente y rangos de la figura 20.....	111
LXXXVII.	Correlación, coeficiente y rangos de la figura 21.....	112
LXXXVIII.	Comportamiento del punto de reblandecimiento.....	112
LXXXIX.	Correlación, coeficiente y rangos del punto de reblandecimiento.....	113
XC.	Mediciones del color de la colofonia obtenida.....	113
XCI.	Mediciones de las cenizas totales de la colofonia obtenida.....	114
XCII.	Mediciones de las trazas de aguarrás para la colofonia obtenida.....	114

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
σ	Desviación estándar
\$	Dólar
β_i	Efecto de la i-ésima mezcla
α_j	Efecto del j-ésimo tiempo
EE	Elementos extraños
ϵ_{ijk}	Error aleatorio
Fo	Fisher observada
F	Fisher tabulada
°C	Grado Celsius
g	Gramo
g/cm ³	Gramo por centímetro cúbico
Ha	Hipótesis alternativa

Ho	Hipótesis nula
H	Horas
I	Índice de acidez
μ	Media general
ml	Mililitros
α	Nivel de confianza
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
A	Porcentaje de aguarrás
PR	Punto de reblandecimiento
Σ	Sumatoria
T	Tiempo
Ton	Toneladas
y_{ijk}	Valor de la variable de respuesta

GLOSARIO

Aceite esencial	Constituyen una mezcla de sustancias volátiles, en donde predominan los terpenos y terpenoides oxigenados, alcoholes y ácidos.
Ácidos grasos	Compuestos orgánicos pertenecientes a los ácidos carboxílicos. Presentes en aceites y grasas como mezclas de ésteres grasos y glicerina.
Adhesivo	Sustancia capaz de mantener materiales juntos por medio de una unión superficial.
Aguarrás	Es uno de los compuestos que se obtienen al destilar la goma de trementina, conocido como esencia de trementina.
Albura	Capa de color blancuzco, blanda que se halla bajo la corteza en los troncos o tallos leñosos, de los vegetales angiospermos dicotiledóneos y de los gimnospermos dicotiledóneos, formada de anillos anuales más jóvenes.
AOAC	Asociación oficial de químicos analistas.

ASTM	Significa American section of the international association for testing materials (sociedad americana para pruebas y materiales).
Barniz farmacéutico	Es una solución alcohólica de Goma Laca, especialmente desnaturalizada, que contiene entre 20,0 y 57,0 por ciento de goma laca anhidra y que está elaborada con alcohol deshidratado o con un alcohol que contenga 5 por ciento de agua en volumen.
Carie	Es una enfermedad infecciosa producida por algunas determinadas bacterias que acidifican el medio bucal, produciendo la destrucción de los tejidos duros dentales, esmalte y dentina, hasta alcanzar los vasos y nervios de la pulpa.
Cohesión	Estado en el cual, las partículas de un adhesivo se mantienen unidas.
Colofonia	Es un producto que se obtiene de la resina de pino o de la madera de tocones de los pinos y contiene, principalmente, ácidos resínicos con pequeñas cantidades de compuestos no ácidos. Su color varía de amarillo pálido a rojo oscuro, varían según la fuente, el método de recogerla y tratarla; es traslúcida y frágil a temperaturas ordinarias. La colofonia es el vehículo del flúor en el barniz dental fluorado.

Corteza	Parte exterior dura de árboles, de cortezas de frutos y algunos alimentos.
Desmineralización	Se produce cuando el azúcar y el almidón se combinan con las bacterias y forman ácidos que disuelven el esmalte de los dientes. La caries se forma cuando se destruye el calcio y los fosfatos del esmalte.
Destilación	Separación de los constituyentes de una mezcla líquida por vaporización parcial de la misma, y la recuperación separada del vapor y residuo. Los constituyentes más volátiles de la mezcla inicial se obtienen en concentración creciente en el vapor; y los menos volátiles, en el residuo.
FDA	Food and Drug Administration (Administración de alimentos y fármacos).
FODECYT	Significa Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico.
Fuste	Parte sólida de los árboles, conjunto del tallo y las hojas.
Goma de trementina	Es la oleoresina que fluye de la corteza del pino y que puede separarse, por destilación, en esencia de trementina y colofonia.

LIEXVE	Es el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales.
Ligamiento	La propiedad de un adhesivo de ser capaz de formar una unión de fuerza medible, inmediatamente, después de que el adhesivo es puesto en contacto, bajo ligera presión; es conocida como ligamiento o pegajosidad.
Lignina	Compuesto de naturaleza aromática de alto peso molecular, con una probable asociación con los polisacáridos de la madera.
Médula	Conocida como duramen, en el interior de las raíces y tallos de las plantas fanerógamas. Parte compacta y seca, de color oscuro, de las ramas gruesas y del tronco del árbol.
MSE	Media cuadrática del error.
MStratamientos	Media cuadrática de los tratamientos.
Oleorresina	Líquido procedente de plantas, en donde en un aceite volátil se disuelve en la resina.
pH	Es una medida de acidez o alcalinidad de una sustancia. El pH es una función logarítmica.

Polimerización

Reacción química en la cual las moléculas de un monómero son enlazadas en sí mismas para constituir grandes moléculas. Cuando están envueltos dos monómeros es llamada copolimerización.

SPSS

Programa estadístico para las ciencias sociales.

Terpenos

Son hidrocarburos que poseen composición $C_{10}H_{16}$ derivados del isopreno C_5H_{10} . En los aceites esenciales aparecen monoterpenos.

Xilitol

Pentitol que se presenta en la naturaleza en pequeñas cantidades. Es un producto que no produce caries ya que no es metabolizado por los microorganismos que las generan.

RESUMEN

La colofonia, Rosyn, es una resina natural derivada de la resina cruda de las coníferas la cual es traslúcida, frágil a temperaturas ordinarias, insoluble en agua y soluble en la mayoría de grasas y disolventes orgánicos. En el presente trabajo de graduación se obtuvo y caracterizó la colofonia de la resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) a nivel laboratorio por medio de una destilación de cinco mezclas de resina-agua-aguarrás a 5 diferentes tiempos y 4 repeticiones, se utilizó un diseño de segundo orden para el estudio de superficies de respuesta, siendo este diseño la matriz central compuesta ortogonal. Generando de esta manera un total de 9 tratamientos y 36 unidades experimentales.

Posteriormente de la obtención se realizó la caracterización fisicoquímica de la colofonia con la cual se obtuvo que la mezcla óptima de elaboración eran porcentajes de 74,29 colofonia- 15,60 aguarrás – 10,11 agua desmineralizada con 6 horas. El presente trabajo de graduación se realizó en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE.

OBJETIVOS

General

Obtener y caracterizar fisicoquímicamente la colofonia de la resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) a nivel laboratorio, que cumpla con las especificaciones para la formulación de un barniz dental fluorado.

Específicos

1. Obtener la colofonia de la resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) por medio de destilación a nivel laboratorio.
2. Evaluar el porcentaje de rendimiento de la colofonia obtenida en el proceso de destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) en función de 5 mezclas de resina-agua-aguarrás.
3. Evaluar el efecto del tiempo en el proceso de destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) para la obtención de colofonia (*Rosyn*).
4. Caracterizar fisicoquímicamente la colofonia obtenida de la destilación de la resina de pino ocote.
5. Comparar fisicoquímicamente la colofonia obtenida de la destilación con la colofonia comercial utilizada en un barniz dental fluorado.

HIPÓTESIS

Hipótesis de la investigación

Es posible por la operación llamada destilación, la obtención de la colofonia, *Rosyn*, de la resina de pino de ocote, *Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl*, y su caracterización fisicoquímica que cumple con las especificaciones que la colofonia debe poseer para la elaboración de un barniz fluorado, la destilación puede ser afectada significativamente por el tiempo y la proporción de la mezcla, agua-aguarrás-resina.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H₀)

1. No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de colofonia, *Rosyn*, a diferentes proporciones de mezcla, agua-aguarrás-resina, en la destilación de la misma.
2. No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa (Ha)

1. Existe diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento de colofonia, *Rosyn*, a diferentes proporciones de mezcla, agua-aguarrás-resina, en la destilación de la misma.
2. Existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

INTRODUCCIÓN

La región centroamericana se ha caracterizado por ser un cinturón entre la América del Norte y América del Sur, es evidente su alta biodiversidad, en flora y fauna las cuales hacen de esta región un lugar con alto potencial para un desarrollo forestal sostenible que mejore la calidad de vida, especialmente de la gente que habita en el área rural.

La resinación es la extracción de las resinas que el árbol ha acumulado entre la corteza, el cambium y dentro de la estructura de la madera, es decir que la resina se encuentre en el árbol desde las raíces hasta el follaje. Esta actividad ha sido y sigue siendo de importancia para los sectores pobres de Honduras, Guatemala y una opción para Nicaragua. Es una actividad noble porque, no daña a los árboles y se logra favorecer el clima.

Entre algunos de los campos de uso de la colofonia extraída de la resina se encuentra el barniz fluorado; siendo así, el principal objetivo del presente trabajo de graduación que la colofonia obtenida a nivel laboratorio cumpla con cada una de las especificaciones fisicoquímicas requeridas para la elaboración de dicho barniz.

1. ANTECEDENTES

La actividad de resinación se inicio en Guatemala a finales de 1800 en los municipios de Santa Cruz el Chol y Granados, ambos pertenecientes al departamento de Baja Verapaz. Para el caso de Honduras la resinación se inicia en la misma época, en el municipio de Lepaterique y la comunidad de Villa Santa. En ese entonces, los moradores aprovechaban la resina del pino para destilarla en forma rudimentaria y extraer de la misma dos productos, el aguarrás y la colofonia, siendo comercial únicamente el aguarrás, ya que la colofonia la enterraban como desperdicio por no tener mercado.

Según la experiencia en Honduras y Guatemala la época de cosecha (zafra), oscila entre los meses de octubre a julio (10 meses), siendo los de mayor producción los meses de noviembre – mayo (época seca o verano). Los otros meses son de producción pero con mermas en una tercera parte de la producción del verano.

En Honduras y Guatemala, un agricultor o resinero puede atender entre 800-1 000 árboles, siendo la producción promedio por árbol aproximadamente la de dos libras por mes. Por lo tanto un resinero con la cantidad anterior de árboles puede producir entre 1600 a 2000 libras de resina; esto equivale a 3,30 toneles de 54 galones cada uno si se trabaja con 800 árboles y 4,2 toneles si se trabaja con 1 000 árboles/mes.

El volumen anual total de la producción de colofonia del mundo se mantuvo entre 1,1 a 1,2 millones de toneladas desde los años noventa del siglo pasado hasta hoy. Cabe mencionar que los competidores fuertes de esta

actividad complementaria son los países asiáticos como la China y que ellos se caracterizan por lo siguiente: cuando caen o sufren bajas los precios ellos producen más para compensar las pérdidas; en cambio en Centro América cuando el precio baja se deja de producir.

En Guatemala existió entre 1994-2005 una empresa que se dedicó a la fabricación de colofonia, aguarrás y aceite derivados de la resina de pino de ocote la cual se llama Industrias Químicas de Oriente sociedad anónima con nombre comercial INQUIOSA, esta empresa se encontraba ubicada en el kilómetro 129 carretera al Atlántico, Río Hondo, Zacapa, Guatemala. La mayoría de sus productos se exportaban a otros países, siendo así desconocidos dentro de su propio país. Además de esto, Guatemala se encontraba en desventaja con Honduras la cual posee cinco de estas empresas con las cuales le resultaba difícil competir.

En Guatemala se han realizado estudios sobre destilación de resina para obtener colofonia la cual se puede utilizar como vehículo en medicina, cosmética, agricultura e industria en general, pero no se han realizado estudios para la elaboración de barnices fluorados a partir de materia prima nacional. Se han realizado estudios del uso de la colofonia con otro objetivo, por ejemplo el trabajo de graduación realizado en 1994 en la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala por el Ingeniero Químico Rodolfo Villalba Farnes titulado: Desarrollo de un producto adhesivo para una aplicación específica en la industria papelera que utiliza como base una materia prima nacional: Colofonia.

Actualmente en Guatemala, se cuenta con la comercialización del barniz fluorado Duraphat® y Fluor Protector los cuales son producidos por Colgate y a Vivadent, Schaan, Liechtenstein ambos importan la colofonia desde otros

países. En 1997, en Suecia, Twetman S, Petersson LG; publican los resultados de un estudio para evaluar y comparar la eficiencia de un barniz de clorhexidina contenido timol (CHX), versus uno de clorhexidina I timol más fluoruro (CHX+F) para disminuir los niveles de *Streptococosmutans* (MS) en los espacios interdentales.

Los resultados sugieren que la adición de flúor a un barniz antibacteriano podría mejorar la eficiencia a largo plazo en la disminución del desafío cariogénico microbiano. Otro estudio se publicó en 2008 el cual es un informe de la Universidad de Carolina del Norte, Chapell Hill (USA), en el cual amplían el reciente informe del grupo de expertos encargado por la Asociación Dental Americana del Consejo de Asuntos Científicos aportando recomendaciones basadas en la evidencia clínica para la aplicación profesional de fluoruro tópico. En el cual los autores plantean cuando han tomado la decisión de recurrir a la terapia tópica de flúor, los barnices de fluoruro deben ser la única opción para niños de 0-6 años.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Pino de Ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*)

Pino de Ocote también conocido como ocote macho (México), pino (América Central), pertenece a la familia Pinaceae. Habita entre los 900 y 2400 metros sobre el nivel del mar. En El Salvador, Honduras y Nicaragua crece arriba de los 1100 metros.

2.1.1. Descripción

El pino de ocote tiene su distribución natural entre los 29 y los 14 grados de latitud norte. Necesita de 15 a 24 grados Celsius para un buen desarrollo. Las necesidades de lluvia oscilan entre los 1000-1900 milímetros por año.

2.1.2. Sinónimos

Pinus oocarpoides Lindl, *Pinus oocarpa* subesp. *microphylla* Shaw, *Pinus oocarpa* subesp. *Trifoliata* Mart, *Pinus oocarpa* subesp. *Ochoterenai*.

2.1.3. Usos

El producto maderable del pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*) se utiliza como combustible o para la elaboración de carbón. El principal producto no maderable se utiliza en la industria su abundante resina. Además posee diversos usos medicinales.

Figura 1. **Pino de Ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) del municipio de Granados, Baja Verapaz**



Fuente: Granados, Baja Verapaz.

2.2. Resina

Una resina u oleorresina es una sustancia orgánica, amorfa, sólida o semifluida, en general insoluble en agua, y soluble, bajo ciertas condiciones, en numerosos disolventes orgánicos, con poca tendencia a cristalizar. Las resinas son secreciones externas del metabolismo de los vegetales, excretadas, sobre todo en las plantas coníferas, a través de canales intercelulares (canales resiníferos) cuando se practican incisiones en su corteza. Los canales resiníferos se forman por absorción celular y las células reabsorbidas vacían su contenido sobre dichos canales encargados de hacer el transporte de la resina hasta la superficie, como un mecanismo de defensa antiagrietamientos o heridas naturales o artificiales.

Figura 2. **Canales Resiníferos del Pino de Ocote (*Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl)**



Fuente: Granados, Baja Verapaz.

Las resinas naturales son mezclas complejas, cuya composición no es siempre totalmente conocida, y que varía en función de la especie arbórea utilizada, de su origen geográfico y de los procedimientos de fabricación y almacenaje.

En ellas se han podido caracterizar distintos constituyentes, de los cuales aproximadamente un 90 por ciento son ácidos resínicos y el 10 por ciento restante son compuestos neutros, esencialmente alcoholes diterpénicos, sesquiterpenos, aldehídos e hidrocarburos. Los ácidos resínicos son ácidos monocarboxílicos con núcleos alquílicos hidrofenantrénicos principalmente de dos tipos. Los denominados tipo ácido abiótico (abiótico, palústrico, levopimárico y dehidroabiótico) se caracterizan por tener dos dobles enlaces

conjugados, mientras que los denominados tipo ácido pimárico (pimárico, isopimárico y sandarapimárico), con los dobles enlaces no conjugados. Los ácidos tipo abiótico se oxidan con facilidad en contacto con el aire.

Figura 3. **Resina de Pino de Ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*) del municipio de Granados, Baja Verapaz**



Fuente: Granados, Baja Verapaz.

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

Tabla I. **Especies resinadas en toneladas de oleoresina/año datos estimados para la zafra 2006/2007**

Especie	CHINA	BRASIL	INDONESIA	OTROS	TOTAL	%
Pinus massoniana	750.000				750.000	58
Pinus elliottii	140.000	60.000		20.000	220.000	17
Pinus merkusii	5.000		95.000		100.000	8
Pinus caribaea	10.000	30.000		30.000	70.000	5
Pinus simao kesiya	60.000				60.000	5
Otras especies		10.000	5.000	50.000	65.000	5
Pinus yunnanensis	35.000				35.000	2
TOTAL	1.000.000	100.000	100.000	100.000	1.300.000	100

Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. p 25.

2.2.1. Sistemas de resinación

Un sistema de resinación, se trata de las diferentes formas de cortar el pino con estrías en el cual se puede usar un estimulante como ácido clorhídrico o ácido sulfúrico para la obtención de la resina.

2.2.1.1. Sistema chino

Una estría en forma de V es cortada diariamente sin aplicación de estimulante químico. Las estrías son cortadas en sentido descendente y en su profundidad alcanzan el xilema secundario.

La primera estría es cortada a una altura aproximadamente de 1,20 metros desde el suelo y las siguientes en forma descendente. La estría cubre un 50 por ciento de la circunferencia de la planta. Este sistema es aplicado en la China.

Figura 4. **Sistema chino**



Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. p. 26.

2.2.1.2. Sistema de cajete o americano primitivo

También conocido como *box system* este método de extracción de resina originalmente consistía en abrir una oquedad o cajete en la parte inferior del fuste, que alcanzaba más de la mitad del diámetro, el cual servía para recolectar la resina que fluía de las paredes de la cavidad. Posteriormente a este sistema se le añadió la apertura de caras o entalladuras de 50 centímetros de ancho y más de 5 centímetros de profundidad en el que para las picas o rebanas periódicas, utilizando hacha plana se hacían sangrías de corte oblicuo, innecesariamente profundas por donde se canalizaba la resina hasta el cajete.

2.2.1.3. Sistema americano

Una estría horizontal es cortada cada 15 a 18 días con aplicación de pasta estimulante (formulada básicamente con 18 a 24 por ciento de H_2SO_4). Las estrías son cortadas en forma ascendente, cortando la primera a 20 centímetros del suelo y removiendo sólo corteza y floema. La cara resinada cubre 1/3 de la circunferencia de la planta. Sistema aplicado por ejemplo en Brasil y Argentina.

Figura 5. **Sistema americano**



Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. p. 27.

2.2.1.4. Sistema de crott

Este sistema fue una modificación al sistema americano primitivo en el que el árbolado se debilitaba menos al no abrirse el cajete en el fuste sino que este se abría en la tierra al pie del árbol. Una desventaja adicional de este sistema fue la mala calidad de los productos por la gran cantidad de impurezas propiciadas por la apertura del cajete en la tierra y las pérdidas inherentes a la misma. Era un sistema de resinación a muerte.

Figura 6. **Sistema de crott**



Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. p. 28.

2.2.1.5. Sistema mazek, rill o alemán-americano

Estrías de 2 a 3 milímetros de ancho son cortadas cada 3 a 7 días, en forma de V. Las estrías son cortadas en forma ascendente con aplicación de estimulante en forma de spray (50 por ciento de H_2SO_4 más 50 por ciento de HCl). Este sistema se aplica actualmente en Indonesia e India.

Principiando a una altura de 18-30 centímetros del suelo. La cara incrementaba en el sentido longitudinal del árbol de 28 a 60 centímetros anuales trabajándose cada sujeto de 2 a 8 años con caras de anchos variables de 15 a 35 centímetros. Los americanos abrían caras a continuación de las otras mientras que los alemanes dejaban una costilla o entre cara entre una y otra cara.

Figura 7. **Sistema mazeko rill**



Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. 150 p.

2.2.1.6. Sistema Hugues o Francés

Lonjas de 8 a 10 centímetros de ancho son cortadas en el tronco de la planta con una frecuencia de 10 a 15 días, alcanzando el xilema secundario. La cara estriada puede llegar a 1,80 del suelo después de 2 años de resinación. Este sistema fue desarrollado en la mitad del siglo XIX en Francia y es utilizado actualmente en Indonesia.

Las especificaciones generales del sistema son las siguientes: el diámetro mínimo resinable originalmente este se implantó de 30 centímetros modificándose posteriormente a 35 centímetros para los bosques y arbolado que se iba a abrir a la resinación. Originalmente se autorizaba un ancho variable de acuerdo a la conicidad del fuste que iba de 12 centímetros en la parte inferior y de 10 centímetros en la parte superior con un máximo tolerable de 15 y 13 centímetros respectivamente. La anchura máxima tolerable de la cara a cualquier altura de fuste se fijó en 10 centímetros.

La profundidad máxima tolerable de la pica, una vez que la zona ha sido derroñada fue fijada en 15 centímetros. Este sistema tiene establecido que se debe dejar una faja vertical de la superficie del árbol o costilla entre las caras en resinación con una anchura mínima de 10 centímetros que deberá ser constante a cualquiera que sea el alto que alcance la cara.

Figura 8. **Sistema francés o de Hughes**



Fuente: REMAHN, Carlos. Resina de pino. Universidad Autónoma de Chilpancingo. p. 29.

Debido a las diferentes características en la operación de extracción de la oleorresina en los distintos locales de producción, no es posible comparar sus precios de mercado. Por ejemplo en China, la resinación se lleva a cabo por pequeños grupos familiares o individuos, a diferencia de Brasil en donde la producción se lleva a cabo por empresas con empleados asalariados. La producción de colofonia de China es diez veces mayor que la producida por Brasil y es por eso que sirve de referencia del precio en el mercado internacional. Debido a la gran producción a escala de China, esta logra mantener precios más bajos que la competencia.

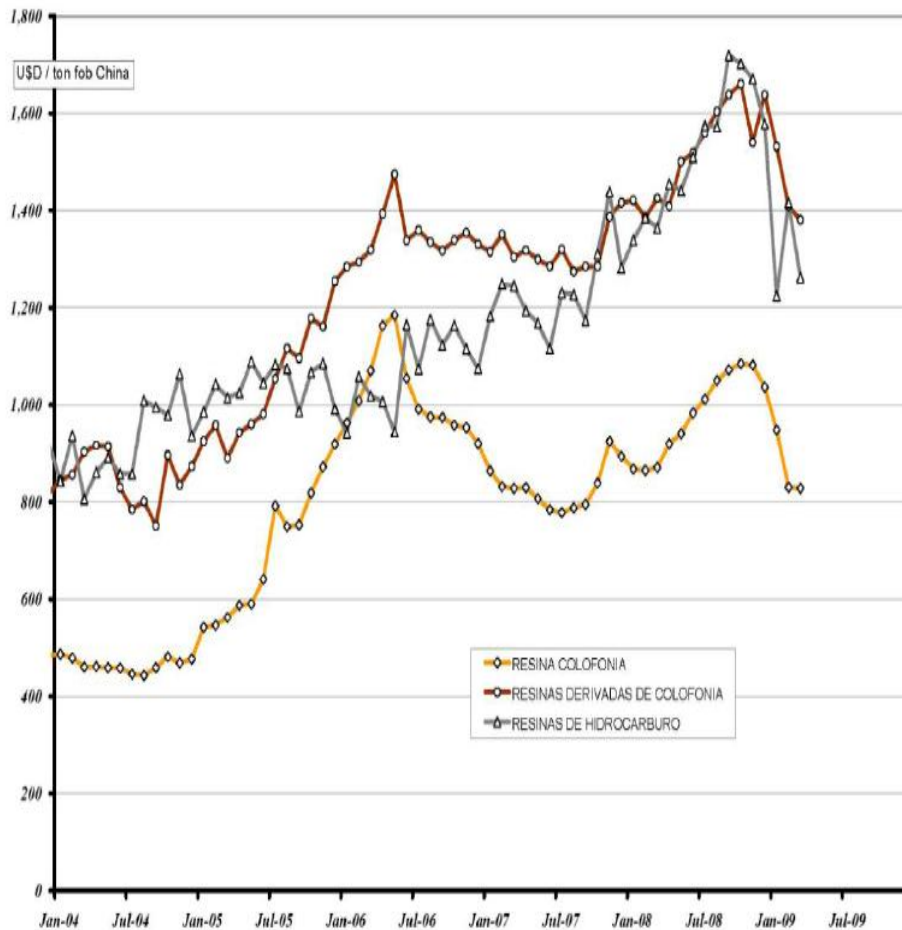
Por otra parte y de acuerdo a las empresas nacionales en los últimos años el consumo interno de China ha aumentado desabasteciendo los mercados externos y brindando una oportunidad para los pequeños productores como Honduras.

En Honduras no se compete por cantidad, (es una producción no significativa para competir con estos países) más bien se debe satisfacer las calidades de mercados especiales. Las fábricas deben prestar mayor atención a cuidar de los clientes fieles que ya tienen y a reducir en lo posible los gastos operativos existentes. La colofonia que se cristaliza es generalmente de menor calidad y de menor precio en el mercado, en Honduras esta resina se obtiene de la especie de *Pinus caribaea* y la colofonia que no se cristaliza es la de mayor calidad y de mejor precio y se obtiene de la especie *Pinus oocarpa*.

La resina se mide mediante la cantidad de sub productos que se obtienen por barril de resina. Se requieren 6 barriles para una tonelada de colofonia y 8 galones de aguarrás. Para mantener estos estándares la resina no debe de exponerse mucho tiempo al sol ni debe de exponerse a fuego para que no pierda su contenido de aguarrás y otros compuestos volátiles.

El uso de ácido provoca una oxidación acelerada en la resina y afecta los componentes de la maquinaria de procesamiento. Si se considera que dependiendo de la especie resinada, 70 a 80 por ciento de la oleoresina, es convertida en resina colofonia, podemos por ejemplo comparar el precio de este producto y el de los derivados de la resina colofonia en el mercado mundial, con los precios de las resinas de hidrocarburo sus competidores directos en la fabricación de adhesivos y tintas de impresión. Por lo tanto Guatemala ha considerado competir en la producción de colofonia con países como Honduras por calidad puesto que no puede competir con China por cantidad.

Figura 9. Precios de la colofonia y sus derivados en el mercado mundial



Fuente: www.cesefor.com/descargabiblioteca.asp?codArchivo=594. Consulta: 2 de junio de 2010.

Se puede observar en la figura anterior que los precios de las resinas derivadas de la colofonia compiten directamente con los precios de las resinas de hidrocarburo. Esto pone un precio límite para la colofonia a unos 200 a 250 dólares americanos por tonelada por debajo del precio de sus derivados; lo que a su vez limita el precio al cual la oleoresina puede ser comercializada.

2.2.2. Componentes principales de la resina de pino ocote

La resina de pino de ocote es, una secreción que contiene dos principales componentes los cuales son: la colofonia y el aguarrás, el aguarrás es altamente volátil. A continuación se describen los tres tipos de colofonia existentes los cuales son: colofonia de trementina, colofonia de madera y colofonia de aceite de resina.

2.2.2.1. Colofonia

a) Colofonia de trementina

La oleorresina obtenida por incisión del pino vivo fue en un tiempo la única fuente industrial de colofonia. Su extracción es sencilla; requiere solamente herir el árbol y recoger el exudado o trementina. Las incisiones superficiales, en forma de “V” se hacen frecuentemente durante la época de formación de la trementina.

La oleorresina recogida, formada principalmente por colofonia (*Rosyn*) y esencia de trementina, se diluye con más esencia de trementina, se deja sedimentar y se filtra y calienta en un destilador para evaporar la esencia de trementina o aguarrás. El color del residuo, (la colofonia, *Rosyn*, fundida) depende mucho de la época en que fue sangrado el árbol y el cuidado que se ponga al recoger y tratar la oleorresina.

La trementina o aceite de pino es conocido también como aguarrás, es un líquido volátil e incoloro producido mediante la destilación de la resina, también llamada miera, de los pinos. La trementina es utilizada en la fabricación de materiales para lustrar muebles, zapatos, y automóviles (ceras). Es usada

también, en la fabricación de alcanfor, materiales de limpieza y desinfección, tinturas, masillas, resinas, soluciones desgrasadoras y pinturas ligeras. El aceite de pino está formado principalmente por una mezcla de hidrocarburos terpénicos, mayormente alfa y beta pinenos, aunque su composición varía dependiendo de la clase de pino de la que provenga la resina. Es soluble en alcohol, éter, cloroformo y ácido acético glacial.

El aceite de pino es una mezcla de muchas sustancias de la familia de los terpenos y alcoholes terpénicos, y sus vapores son más ligeros que el aire, por lo que pueden acumularse en las partes altas de las habitaciones donde se usa, si hay poca ventilación. Es un irritante de los ojos, y la aspiración del líquido a los pulmones puede causar neumonitis química.

Ciertos componentes de la trementina causan sensibilización en algunos individuos susceptibles, produciendo reacciones alérgicas en la piel y asma. Las reacciones tóxicas son atribuibles a la inhalación y a la absorción cutánea, e incluyen daño a los riñones, vejiga, el sistema nervioso central y la sangre; por tales motivos debe evitarse el contacto por largo tiempo con los vapores de trementina, así como utilizar adecuada ventilación cuando se trabaja con productos que la contienen. La trementina es eliminada en el aliento y también metabolizada y excretada en la orina. El aliento de las personas expuestas tiene un característico olor a violetas.

b) Colofonia de madera

Los tocones envejecidos del pino de hoja larga son una gran fuente de colofonia (*Rosyn*). Después de dejarlos en el suelo durante unos 10 años, la corteza y la albura han desaparecido y ha quedado el duramen, rico en resina. Un análisis típico de un tocón de madera de pino de hoja larga es: 19 por ciento

de colofonia, 4 por ciento de esencia de trementina, 4 por ciento de una resina insoluble en gasolina (los tres componentes forman la resina mencionada), 23 por ciento de agua y 50 por ciento de celulosa y lignina.

Cuando se obtuvo por primera vez colofonia (Rosyn) de madera, solo se alcanzó un mercado limitado, principalmente a causa de tener un color rojo oscuro en vez de los grados de color amarillo a pardo usuales de la colofonia de trementina. Esta fue la primera indicación de la existencia de dos tipos de componentes coloreados en la colofonia: el visible y el latente éste se transforma en el tipo visible por contacto con álcalis.

c) Colofonia de aceite de resina

El aceite de resina contiene aproximadamente 90 por ciento de materia ácida que se compone esencialmente de partes iguales de ácidos grasos y resínicos. En los procesos alcalinos de obtención de pulpa de madera, los ácidos se disuelven en el líquido, flotan y se obtienen por desespumado del líquido. Esta espumadura jabonosa se cuece con ácido mineral para obtener aceite de resina con rendimiento de 35-45 kilogramos por tonelada de pulpa.

La colofonia tiene numerosas aplicaciones industriales ya que posee propiedades que justifican una amplia utilización como colorante, emulsificante y decapante. Las industrias en las que tanto la colofonia como sus derivados se utilizan de una manera más extendida son en la fabricación de tintas (23 por ciento), adhesivos (23 por ciento) y papel (21 por ciento). También se utiliza en la industria electrónica para el recubrimiento de las varillas para soldadura blanda, ya que sus propiedades decapantes provocan una limpieza efectiva de las superficies a unir, facilitando el proceso de soldadura entre dos metales

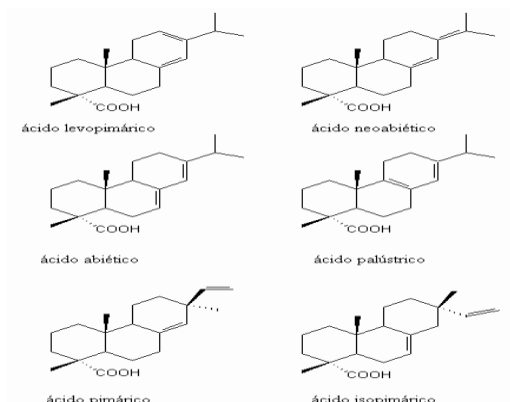
Figura 10. **Colofonia extraída de la resina de pino ocote**



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se emplea en la fabricación de papel para hacerlo más resistente al agua; el papel reciclable compuesto de pasta mecánica no tratada químicamente, utilizada para papel de periódico contiene más colofonia que el papel a base de pasta tratada químicamente.

Figura 11. **Estructura de los ácidos presentes en la colofonia**



Fuente: elaboración propia.

La colofonia se obtiene por refinado de la resina natural por medio de la destilación esta es una mezcla de ácidos diterpenoicos tales como: ácido abiético, ácido neoabiético, ácido dehidroabiético, ácido pimárico, dextropimárico, levopimárico y ácido palústrico.

La colofonia contiene ácido abiético, ácido neoabiético, ácido levopimárico y ácido pimárico. La composición varía en dependencia del método de separación como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla II. **Composición de ácidos resínicos en distintos tipos de colofonia**

ACIDO RESINICO	TIPO DE COLOFONIA			
	MIERA AMERICANA	MADERA AMERICANA	TALL OIL AMERICANO	MIERA PORTUGUESA
ABIETICO	25-30	30-40	25-35	25-30
LEVOPIMARICO	<1	<2	-	<1
NEOABIETICO	15-20	5-15	5	15-20
PALUSTRICO	-	5-15	5	15-20
DEHIDROABIETICO	6-8	5-10	20-25	5-10
DIHIDROABIETICO	<2	2	5	5-8
TETRAHIDROABIETICO	<2	2	3-5	-
PIMARICO	5	5-10	3-5	8-12
ISOPIMARICO	15-20	10-15	2-6	10-15

Fuente: Instituto centroamericano de investigación y tecnología industrial. Proyecto de desarrollo Forestal comunal. p. 73

2.3. Filtración

Se define como la separación de uno o más elementos sólidos de un elemento líquido, mediante el paso de la mezcla a través de un elemento poroso filtrante, llamado filtro donde se retiene de la mayor parte de él o de los componentes sólidos de la mezcla.

Las aplicaciones de los procesos de filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas de ingeniería química.

Figura 12. **Filtración de la resina de Pino de Ocote**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Destilación

Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. En la destilación, la nueva fase difiere de la original por su contenido calorífico, pero el calor se incrementa o se elimina sin dificultad; por supuesto, debe considerarse inevitablemente el costo de aumentarlo o eliminarlo.

En la evaporación y en el secado, normalmente el objetivo es obtener el componente menos volátil; el componente más volátil, casi siempre agua, se desecha; sin embargo, la finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura. Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en una destilación individual.

Mediante la manipulación adecuada de las fases, o mediante evaporaciones y condensaciones repetidas, es generalmente posible lograr una separación tan completa como se quiera y recobrar, en consecuencia, los dos componentes de la mezcla con la pureza deseada.

En la figura 13 se observa un equipo de destilación el cual se ve acompañado de un sistema de recirculación el cual condensa adecuadamente los componentes volátiles de la mezcla a destilar, como se menciono anteriormente este se basa en la diferencia de temperatura de ebullición.

Figura 13. **Equipo de destilación a nivel laboratorio, LIEXVE**



Fuente: elaboración propia.

2.5. Barniz fluorado

El barniz farmacéutico es una solución alcohólica de Goma Laca, especialmente desnaturalizada, que contiene entre 20,0 y 57,0 por ciento de goma laca anhidra y que está elaborada con alcohol deshidratado o con un alcohol que contenga 5 por ciento de agua en volumen.

Los barnices fluorados a diferencia de las otras presentaciones de flúor, se caracterizan por su vehículo, un polímero clasificado como un sistema de matriz difusional de liberación sostenida, significando que la liberación disminuye exponencialmente con el tiempo, no habiéndose encontrado hasta el momento un sistema de liberación controlada, lo cual sería lo óptimo.

Desde su introducción en la década de los sesenta, los barnices fluorados se han convertido en la forma más comúnmente usada de aplicar flúor tópico en Europa y su uso parece estar aumentando en el mundo. Sin embargo, ninguna de las presentaciones ha sido aceptada por el *Council on Dental Therapeutics of the American Dental Association*.

Los barnices de flúor tienen una larga tradición y un potencial efecto preventivo de caries que varía entre un 20 y un 70 por ciento, esta variación depende probablemente de diferentes factores como la edad de los sujetos, la incidencia de caries y el modo e intensidad de las aplicaciones del barniz.

La ventaja del barniz de flúor sobre otros compuestos fluorados es su capacidad para permanecer por un tiempo prolongado sobre la superficie del esmalte, favoreciendo el intercambio iónico entre este y la placa. Entre los tipos de barnices fluorados que contienen resina comercializados internacionalmente se encuentran:

- Duraphat (Colgate Oral Pharmaceuticals)

Fluoruro de sodio al 5 por ciento en base viscosa de colofonia (resina derivada de la resina del pino). 1 ml de barniz contiene 50 miligramos. De NaF (22,6 miligramos por mililitro de fluoruro). La presentación es un tubo de 10 mililitros. La FDA (*Food and Drug Administration*) permite su uso como agente desensibilizante en dientes hipersensibles.

La base de la resina es una suspensión alcohólica que, cuando se aplica en la superficie del diente y se evapora el componente volátil, deja una capa de barniz rica en fluoruro adherida a la superficie.

- Duraflor (Medicom)

Fluoruro de sodio al 5 por ciento y xilitol en suspensión alcohólica de resinas naturales (22,6 miligramos por mililitro de F). El xilitol hace que tenga un sabor más aceptado por el paciente. La presentación es un tubo de 10 mililitros.

- Cavity Shield (3M Espe Omni Preventive Care)

Fluoruro de sodio al 5 por ciento en base de resina, 1 mililitro de barniz contiene 50 miligramos de NaF. Presentación: barniz monodosis de 0,25 o 0,40 mililitros dependiendo del número de dientes a tratar.

Es importante señalar que la FDA aprueba estas 3 marcas pero solo como barniz cavitario y para la sensibilidad dentinaria más no como agente quimioterapéutico contra la caries dental. La FDA requiere más estudios clínicos para su aprobación final. El efecto preventivo del barniz fluorado en dentición permanente, ha sido confirmado en numerosos ensayos clínicos. Un estudio de meta análisis de ocho estudios sobre barnices de fluoruro de sodio (F 2,26 por ciento) reportó un 38 por ciento de reducción de caries dental llegando a 47.06 por ciento luego de un año de aplicación. Para el caso de la dentición primaria, varios estudios han reportado porcentajes de prevención de 30-44 por ciento.

Otros estudios han encontrado que el barniz fluorado puede retrasar la progresión de caries incipiente de esmalte en dentición decidua. Sin embargo los ensayos clínicos que respaldan su efecto resultan insuficientes para confirmar su efecto preventivo en dentición primaria. Por otro lado, se ha encontrado una reducción en la desmineralización del esmalte debajo de bandas ortodónticas y *brackets*.

Se han reportado resultados alentadores a partir de mezclas de barnices de flúor y antimicrobianos, en ocasión de ser utilizados sistemas de desmineralización, encontrándose una disminución significativa del número de *Streptococosmutans* luego de tres meses después de ser utilizado un barniz con la combinación flúor-clorhexidina. En pacientes con bajo flujo salival, luego de la terapia de radiaciones, una combinación de clorhexidina y fluoruros en forma de gel, fue comparativamente más efectiva que la terapia con flúor solo.

La acción del flúor-clorhexidina se basa en el aumento de la resistencia del esmalte, la disminución del grado de infección por *Streptococosmutans* y la inhibición de la formación de la placa.

Tabla III. **Efectividad de los agentes de flúor**

Agente	(ppm F)	% Reducción caries
NaF 2%	9,200	29
APF (1.2%)	12,300	22
8% SnF2	19,500	32
Barniz (5 % NaF)	22,600	38

Fuente: elaboración propia.

2.6. Flúor y fluoruros

El flúor es el más electronegativo de todos los elementos químicos y por lo tanto nunca se halla en la naturaleza en su forma elemental. Químicamente combinado en forma de fluoruros, el flúor ocupa el lugar 17 entre los elementos por orden de frecuencia de aparición representando entre el 0,06 y 0,09 por ciento de la corteza terrestre.

En 1771, Scheele da a conocer la existencia de un ácido gaseoso que años después sería conocido como ácido hidrofúorico. En 1880 Moissan logra mediante métodos electrolíticos liberar por primera vez el flúor gaseoso como elemento puro. El flúor por ser el elemento más electronegativo de todos, no es posible encontrarlo en su forma libre, sino combinado como sales de fluoruros siendo los más importantes el fluoruro de calcio (CaF_2), la criolita (Na_3AlF_6) y la flúorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$) de dientes y huesos. Las dos primeras son las fuentes principales industriales de obtención de sales solubles de fluoruro para uso odontológico.

En 1916 se produjo la introducción del flúor en el campo odontológico, cuando Black y McKay descubrieron por primera vez bajo el término de esmalte moteado, un tipo de hipoplasia del esmalte. Las formas que se han desarrollado para la administración de fluoruros son las siguientes:

- Vía sistémica: en la que los fluoruros son ingeridos y vehiculados a través del torrente circulatorio depositándose fundamentalmente a nivel óseo y en menor medida en los dientes. El máximo beneficio de esta aportación se obtiene en el período pre-eruptivo tanto en la fase de mineralización como en la de postmineralización.
- Vía tópica: supone la aplicación directa del fluoruro sobre la superficie dentaria, por lo que su uso es pos-eruptivo, pudiendo iniciarse a los 6 meses de edad y continuarse durante toda la vida. Lógicamente su máxima utilidad se centraría en los períodos de mayor susceptibilidad a la caries (infancia y primera adolescencia) o en adultos con elevada actividad de caries. Entre los productos dentífricos que se administran por vía tópica se encuentran: barnices, geles, pasta profiláctica, etc.

2.7. Fluoruros empleados en los barnices dentales

Los barnices dentales utilizan como fluoruros, el fluoruro de sodio y el monofluoruro fosfato de sodio, de los cuales a continuación se describe sus porcentajes en el barniz fluorado así como sus ventajas al utilizarlo.

2.7.1. Fluoruro de sodio (NaF)

El producto comercial suele contener 94-97 por ciento de fluoruro de sodio y 1,5-3 por ciento de silicio fluoruro sódico. En los preparados de 1000 partes por millón de flúor, el fluoruro de sodio constituye el 0,22 por ciento del barniz fluorado. En estas formulaciones el fluoruro es altamente ionizable por lo que se vuelve activo tan pronto como se introduce en la boca. Es el compuesto que más se ha utilizado para los programas de prevención de caries dental.

2.7.2. Monofluoruro fosfato de sodio (NaMFP)

Conocido también como fluoruro fosfato de sodio, monofluorofosfato sódico. Cada gramo provee 6,9 milimoles de fluoruro. Soluble 1 parte en 2 de agua, prácticamente insoluble en alcohol en una solución de 2 por ciento en agua, tiene un pH de 6,5-8, debe almacenarse en recipientes cerrados herméticamente.

En los preparados de MFP el fluoruro se encuentra unido al fosfato en forma covalente, para que el flúor sea activo deber ser liberado por hidrólisis enzimática de la molécula de MFP durante el cepillado por acción de las fosfatasas presente en placa y saliva.

2.8. Mecanismo de acción del fluoruro en los dientes

La resistencia del diente aumenta porque se combina con hidroxiapatita y da fluorhidroxiapatita, que es más resistente porque forma una estructura espacial mucho más ordenada, es más resistente al ataque de los ácidos. Además el flúor favorece la remineralización del esmalte cuando ha sido atacado. El flúor es un ión que tiene mucha afinidad por el calcio (que es el que remineraliza). El flúor además impide la adhesión de la placa bacteriana en la superficie del esmalte y también inhibe el metabolismo bacteriano.

2.8.1. Disminución de la solubilidad del esmalte y dentina

La parte mineral de los dientes está formada principalmente por hidroxiapatita cálcica carbonatada, esta difiere de la hidroxiapatita cálcica por presentar parte del fosfato sustituido por el ión carbonato. La hidroxiapatita cálcica carbonatada es más soluble que la hidroxiapatita cálcica especialmente en medio ácido. Aunque algo insoluble a pH mayores de 7, la hidroxiapatita cálcica carbonatada se hace cada vez más soluble a medida que el pH disminuye.

Durante la remineralización, los grupos carbonatos son excluidos, en consecuencia el nuevo cristal remineralizado es menos soluble que la apatita carbonatada original lo cual hace que el pH crítico para disolver estos cristales nuevos sea de 4,5 y no de 5,5.

Los fluoruros actúan reduciendo la solubilidad del esmalte por simple acción dinámica en el medio líquido entre el fluido de la placa y el esmalte, la capa del esmalte al entrar en contacto con el ión flúor reacciona con este, formando fluoruro de calcio.

A partir de este precipitado de CaF se producen intercambios más profundos del fluoruro con la hidroxiapatita, donde por diversos mecanismos de intercambio, recristalización, crecimiento del cristal y absorción; los oxidrilos son reemplazados por el fluoruro formándose fluorapatita, compuesto estable y permanente que aumenta significativamente la resistencia del esmalte a la desmineralización. Hasta hace años se pensaba que las partículas de CaF_2 que se formaban en el esmalte se perdían a las 24 horas. Actualmente se sabe que son mantenidas por periodos extensos de tiempo, liberando flúor durante los ciclos de disminución del pH en la placa dental. Entre las formas posibles que el fluoruro puede disminuir la solubilidad del esmalte se mencionan:

- El flúor entra a la apatita del esmalte durante su formación a expensas del carbonato y se cree que si la concentración de carbonato es baja, la solubilidad se reduce
- La concentración de flúor en un medio donde se forman los cristales de apatita puede modificar su cristalinidad o bien aumentar el tamaño y reducir los defectos en los cristales, y ambos factores tienden a disminuir la solubilidad del cristal
- Mientras mayor sea la concentración de fluoruro, mayor será la tendencia a que se deposite alguna apatita

2.8.2. Desmineralización y remineralización

Silverstone, definió la remineralización en forma muy amplia diciendo que: el proceso de remineralización es cualquier modificación de las estructuras del diente incluyendo dentina y cemento, que ocurre por intermedio de la concentración de minerales en el interior de los tejidos duros dentales

previamente desmineralizados. Se ha comprobado que la remineralización está vinculada a un aumento del tamaño de los cristales del esmalte y por consiguiente de la resistencia a la caries. Tras el contacto con un azúcar, el pH de la placa disminuye, a medida que las bacterias entran en contacto con esta lo transforman en un ácido. En pocos minutos, el pH de la placa puede disminuir hasta 4 o menos.

Mientras la placa permanece en este entorno ácido ocurre un proceso de desmineralización y su fluido se hiposatura respecto a dicho mineral del diente, ocurriendo la disolución del esmalte. Por el contrario, cuando el pH aumenta, la placa se hipersatura respecto de dicho mineral y ello hace que el esmalte capte estos iones en las zonas desmineralizadas.

Durante el proceso de remineralización el flúor difunde al interior del esmalte, primero a través de la sustancia inter prismática y desde ella al cristal, a través de la matriz orgánica que lo rodea. Esto fue demostrado por Koulonder y Reed en 1964 quienes descubrieron como el flúor aumento el proceso de remineralización y Silverstone en 1977 detalló cambios en la histología de la lesión.

2.8.3. Metabolismo bacteriano

El flúor en diversas concentraciones influye en el crecimiento y función de algunos microorganismos orales, entre ellos algunas bacterias cariogénicas. Es así que se demostró que el flúor puede inhibir el crecimiento de bacterias orales en el orden de 0,16-0,31 moles por litro, los cuales son más altos que aquellos encontrados en la placa dental. Sin embargo, bajas concentraciones han demostrado interferir en la producción ácida de las bacterias.

2.8.4. Adhesión bacteriana

Los efectos adicionales del potencial anticaries del fluoruro en la placa podrían incluir efectos en la formación de polisacáridos extracelulares con sus efectos en la colonización bacteriana.

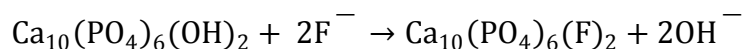
Se ha sugerido que el fluoruro actúa disminuyendo la energía superficial del esmalte e inactivando a la enzima enolasa, importante para la síntesis de dextranes y levanes, los cuales son constituyentes de la película adquirida, importante para la adhesión bacteriana.

El fluoruro en concentraciones superiores a 40 partes por millón retarda notablemente la formación de polisacáridos extracelulares en los dientes los cuales entonces desempeñan un papel importante en la adhesión bacteriana.

A partir de estudios clínicos se confirmó que el fluoruro puede reducir el crecimiento de la placa (grosor). Esto podría ser resultado de la competencia entre el fluoruro y la matriz de la placa por el calcio que promueve la adhesión bacteriana.

2.8.5. Formación del fluoruro de calcio

Cuando se utilizan compuestos fluorados en forma de geles, soluciones, barnices o dentífricos dotando al medio bucal una concentración mayor de 100 partes por millón de fluoruro, se produce una reacción química en la superficie del esmalte. La hidroxiapatita se descompone y el fluoruro se combina con los iones del calcio, dando como resultado la formación de fluoroapatita.



El flúor, reemplaza iones hidroxilos (OH^-) de la hidroxiapatita, y ésta se transforma en fluorapatita, que es más estable y además se disuelve menos ante ataques ácidos. La fluorapatita se disuelve a un pH por debajo de 4,5 un punto menos que la hidroxiapatita (5,5).

El flúor también tiene un efecto sobre la placa bacteriana, inhibe parcialmente la producción de ácidos de las bacterias de la placa, tiene acción tóxica sobre éstas e impide a la adsorción de las bacterias sobre la película adquirida.

2.8.6. Fluorosis dental

El flúor a altas dosis y consumido en exceso es tóxico y puede producir la fluorosis dental. El resultado son dientes con diferentes opacidades, descoloraciones y fositas en la superficie, dando un aspecto poroso al diente.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables del presente estudio de investigación, se dividen en independientes y dependientes, la destilación como sistema genera las variables independientes a temperatura y presión constantes.

3.1.1. Variables independientes

- Composición de la mezcla resina-aguarrás-agua: en la destilación se tuvo cinco composición es resina-aguarrás-agua correspondientemente en porcentajes son las siguientes 74,29 –15,60 – 10, 11; 74,29 -16,00 – 9,71, 74,29 -18,00 – 7,71, 74,29 -20,00 – 5,71 y 74,29 – 20,40 – 5,31 por ciento
- Tiempo de destilación: la variación del tiempo de destilación fue de 3,60, 4, 6, 8 y 8,40 horas

3.1.2. Variables dependientes

- Rendimiento: se midió el rendimiento de la colofonia en las cinco composiciones de las mezcla resina-agua-aguarrás
- Densidad: se obtuvo por la determinación de la masa a un volumen constante en una probeta

- Punto de reblandecimiento: se determino utilizando el aparato denominado de bola-anillo
- Dureza: se colocó un durómetro sobre la superficie de la colofonia obtenida
- Color: se obtuvo este parámetro por medio de inspección visual con patrones
- 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
- Elementos extraños: se detectaron por inspección a simple vista o con ayuda de una lupa (x 6)
- Cenizas totales: se introdujo en un crisol de platino colofonia, se calcino y luego se deseco
- Trazas de aguarrás: se determinó por cromatografía de gases

3.2. Delimitación del campo de estudio

La recolección de muestra, resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*), 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 Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería,

Universidad de San Carlos de Guatemala. La medición de cenizas totales se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología, edificio M6 de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La determinación de trazas de aguarrás por medio de cromatografía de gas se realizó en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI), el cual pertenece a la facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Ana Lucrecia González
- Asesora: Inga. Telma Maricela Cano (Colegiada No. 433)
- Asesor: Ing. Mario José Mérida Meré (Colegiado No. 1411)
- Director de Escuela: Ing. Williams G. Álvarez Mejía

3.4. Recursos materiales disponibles

El presente trabajo se realizó en la sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales LIEXVE. Se realizó el proceso de extracción de la colofonia y las pruebas fisicoquímicas correspondientes. A excepción de la medición de las cenizas totales y de las trazas de aguarrás que se realizaron en el laboratorio de Bromatología y en el laboratorio de Unidad de análisis instrumental respectivamente, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.4.1. Materia prima y reactivos

- Colofonia obtenida de resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldl*)
- Aguarrás mineral grado reactivo
- Agua desmineralizada, marca Salvavidas
- Metanol grado reactivo
- Éter dietílico
- Hidróxido de potasio 0,1 molar

3.4.2. Cristalería y equipos

- Frascos de vidrio para guardar materia prima fresca de 25 mililitros
- Recipientes plásticos para guardar materia exhausta de 5 litros
- Beackers de 50, 100, 250 y de 600 mililitros marca *Pirex*
- Balones de destilación de 500 mililitros con condensador acoplado
- Probetas
- Termómetro de mercurio 0 – 150 grados Celsius
- Durómetro PCE-D (*Shore D*)
- Balanza Marca: Adventur serie: G1231202040133. Voltaje 8-14,5 volts y frecuencia 50/60 hertz. Máxima capacidad 150gramos y lectura mínima 0,001gramos. Hecha en USA
- Cromatógrafo de gases. Marca: *Agilent Technologies*. Serie: 6850
- Plancha de calentamiento con agitación, marca *Corning*, modelo PC-620, 120/100 volts, frecuencia 60 hertz, potencia 1113 watts, rango 0 – 4800 grados Celsius, 0 – 1 100 revoluciones por minuto
- Erlenmeyers de 150 mililitros
- Pipetas volumétricas de 10, 50 y de 5 mililitros

- Varillas de agitación
- Campana de extracción de 110 volts y 900 watts, marca Serproma
- Probeta de 100 mililitros
- Codo de 90 grados, con justas 24/40, marca PYREX
- Condensador de tubo recto para balón de 500 mililitros, 24/40
- Aparato para destilación con balón *Kjeldahl* de 500 mililitros
- Mangueras de hule
- 10 Perlas de ebullición
- Placa de gel de sílice
- Crisol de sílice o de platino
- Desecador
- Aparato bola-anillo
- Horno mufla
- Papel filtro
- Cronómetro digital, con marcador de segundos, minutos y hora, marca CASIO
- Embudos
- Paquete estadístico SPSS
- 36 recipientes de porcelana
- Colador grande
- 3 recipientes plásticos grandes
- Tamiz 300 micras

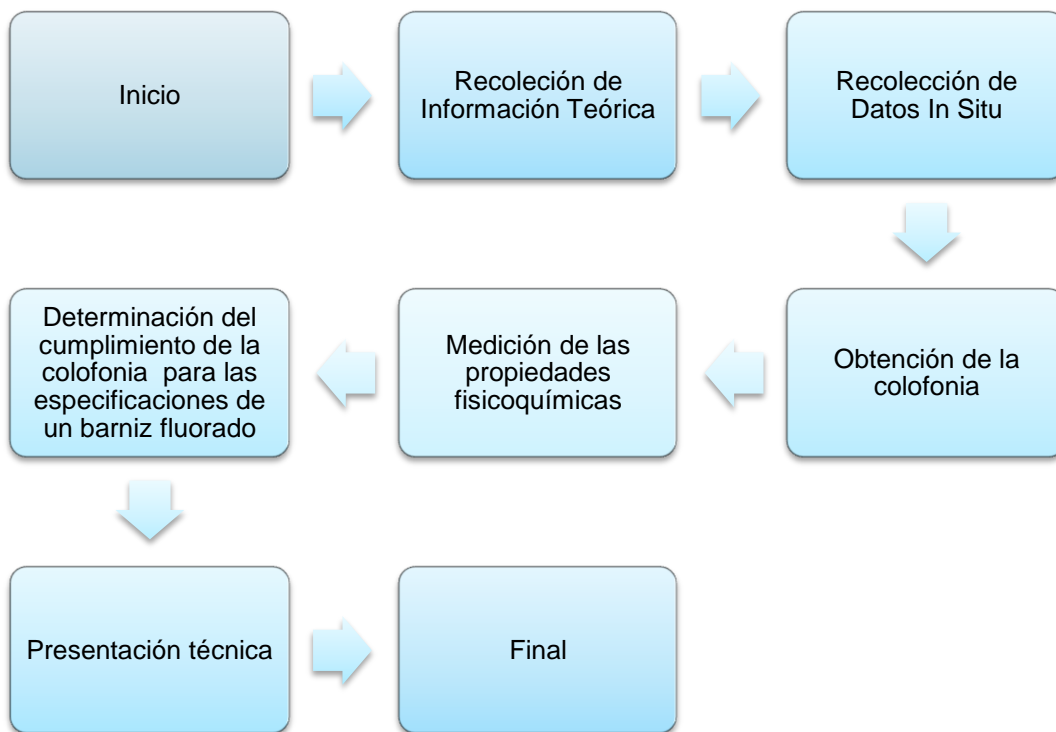
3.5. Técnicas cuantitativas y cualitativas

A continuación se realiza un breve análisis del diseño general del presente trabajo de investigación seguido por la descripción de las técnicas cuantitativas y cualitativas de los parámetros fisicoquímicos de la colofonia.

3.5.1. Diseño general

El diseño general del presente trabajo de estudio de investigación se describe en la figura 14, en la que se representa un pequeño esquema de los pasos a seguir para llevar a cabo los objetivos del mismo.

Fuente 14. **Diseño general**



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Descripción de técnicas cuantitativas y cualitativas

La descripción de técnicas cuantitativas y cualitativas hace referencia a los procedimientos realizados para las determinaciones fisicoquímicas de la colofonia obtenida, las cuales hacen referencia a las normas utilizadas.

3.5.2.1. Rendimiento (%)

Se pesó un beacker con la mezcla de resina-agua-aguarrás y un frasco de polipropileno con colofonia obtenida del proceso de destilación de la resina de pino de ocote. Previamente se taró el beacker y el frasco de polipropileno.

3.5.2.2. Densidad (g/cm³)

Se realizó en probetas con un volumen de una pulgada cúbica. Las probetas se pesaron previamente, luego se pesaron cuando estaban llenas y completamente frías.

3.5.2.3. Color

Se colocó una muestra de la colofonia obtenida y se comparó 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.

3.5.2.4. Elementos extraños

Las drogas vegetales deben estar exentas de enmohecimiento, de insectos y de otras contaminaciones de origen animal. Los elementos extraños están constituidos, en su totalidad o en parte.

- Partes extrañas: todo elemento que procede de la planta originaria pero no constituye la droga
- Materias extrañas: todo elemento ajeno a la planta de origen, de procedencia vegetal o mineral

Según norma USP 30-NF 25: se debe de 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 ($\times 6$). Se utilizó 500 gramos, luego se separaron los elementos extraños, se pesaron y por último se procedió al cálculo del porcentaje que representan.

3.5.2.5. Índice de acidez

El 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 disolvió 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.

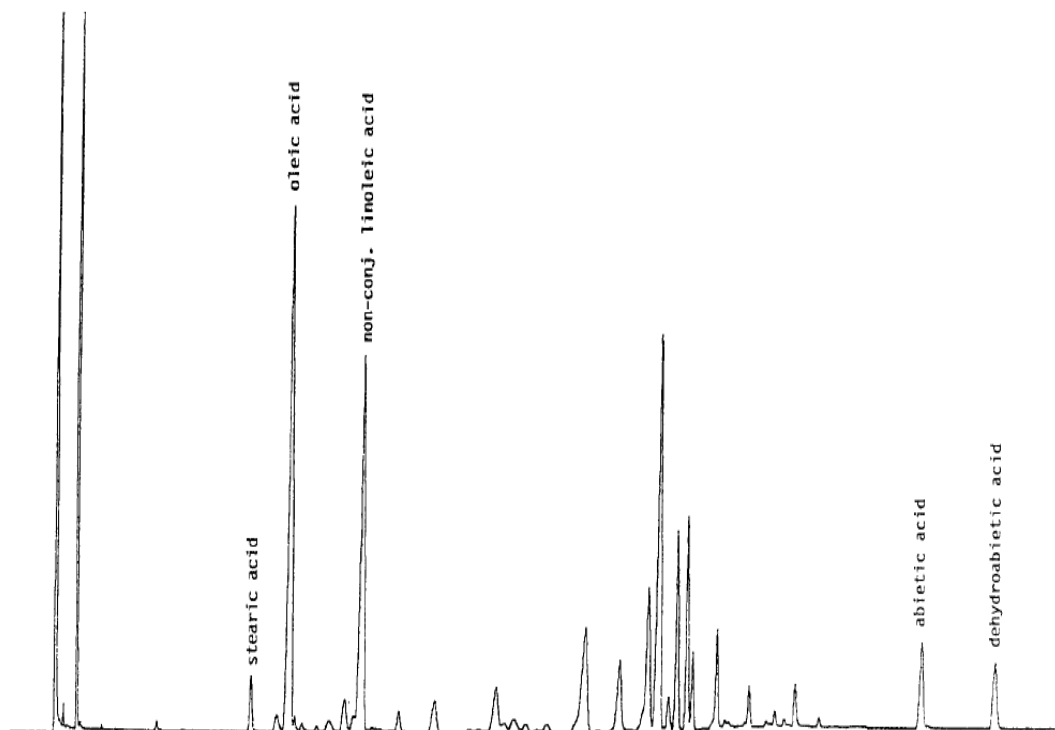
La valoración se da por terminada cuando el color rosa persistió durante 15 segundos por lo menos (mililitros de hidróxido de potasio 0,1 molar). En el presente trabajo de graduación se utilizaron 10,00 gramos a examinar.

3.5.2.6. Trazas de aguarrás presentes

Es la técnica a elegir para la separación de compuestos orgánicos e inorgánicos técnicamente estables y volátiles. En el cual 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 basó en la norma ASTM D_5974.

Figura 15. **Cromatografía típica de la colofonia, obtenida por destilación**



Fuente: ASTM D_5974.

Como primer paso se sacó la cromatografía del aguarrás, luego se utilizó n-heptano como disolvente de la colofonia obtenida de la destilación y por último se sacó la cromatografía de esta. De tal manera que se obtuvo un análisis cualitativo solo determinando si existían o no trazas de aguarrás presentes. Para la cromatografía se utilizó un detector y un inyector, a una temperatura de 260 grados Celsius.

3.5.2.7. Cenizas totales

Se calentó 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 introdujo 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 desecó durante 2 horas a 100-105 grados Celsius y después se calcinó en un horno mufla, a una temperatura de 600 ± 25 grados Celsius. La muestra no debe incendiarse en ningún momento de la operación. Después de cada calcinación, se dejó 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 se debe reunir el filtrado y las cenizas, evaporar a sequedad prudentemente y calcinar hasta masa constante. Según norma ASTM D_1063 y AOAC_942.05.

3.5.2.8. Punto de reblandecimiento

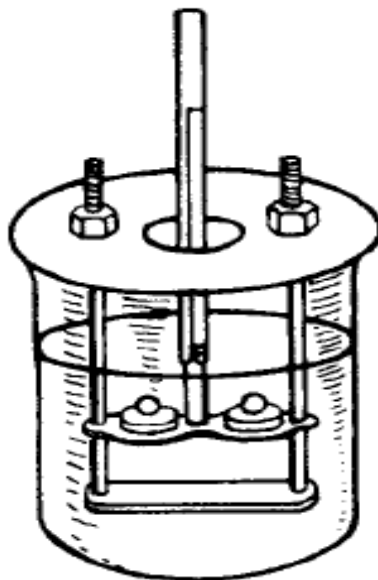
El procedimiento para la determinación del punto de reblandecimiento de la colofonia es el aparato denominado de bola-anillo. La colofonia no tiene punto de fusión y por ello se determina su punto de reblandecimiento que es realmente un punto de fluidez. El punto de reblandecimiento se basa en las normas 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.

En este caso se utilizó agua destilada recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre el espécimen, en este caso colofonia. Se debe usar baño con agua destilada recién hervida, para ablandamiento esperado entre 30 y 80 grados Celsius; además se usó un termómetro. La temperatura al comenzar el baño fue de 5 ± 1 grados Celsius. Se deberá llenar hasta 105 ± 3 milímetros. Al aparato únicamente se le verificó su calibración por medio de termocuplas; si no se encuentra calibrado se debe enviar con el proveedor bajo ninguna circunstancia se debe tratar de manipular el equipo.

Figura 16. **Método bola-anillo**



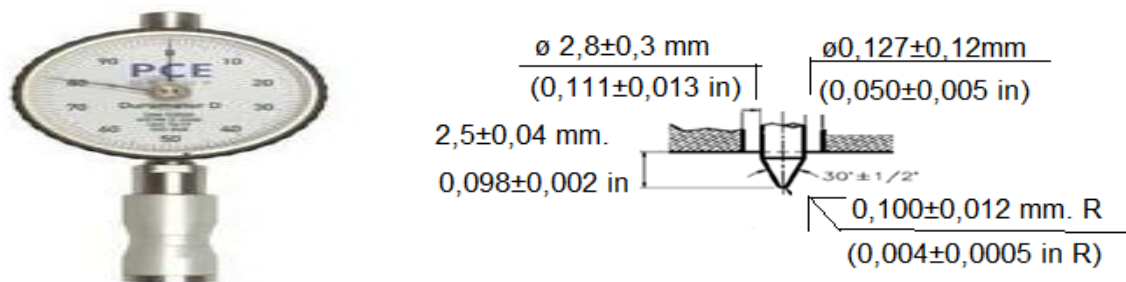
Fuente: Norma ASTM E_28.

3.5.2.9. 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.

Figura 17. Durómetro y sus medidas



Fuente: durómetro (izquierda) cámara SONY Cyber-shot DSC-W55 7.2 Mega pixeles 2.5" LCD monitor, función macro 2cm. Propiedad de Ana Lucrecia González. De las medidas(derecha) Norma ASTM D2240.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La recolección de muestra, resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl*), 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 Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales de la Sección de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, edificio T-5 de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.6.1. Diseño de tratamientos

Los diseños compuestos fueron generados por Box y colaboradores en una serie de trabajos presentados en la década del 50, en la cual se tienen como característica esencial el menor número de tratamientos si se le compara con los factoriales completos. Los tipos de diseños más utilizados son los compuestos centrales. Los diseños compuestos centrales están constituidos por:

- Un factorial 2^k , con los niveles ± 1 como núcleo básico. El número de puntos experimentales por consiguiente son 2^k .
- Un grupo de puntos axiales con niveles $\pm \alpha$. El número de puntos experimentales son $2k$.
- Un determinado número $n_0 \geq 1$ de puntos centrales.

El valor de α será seleccionado por el investigador de acuerdo a una serie de criterios, como por ejemplo: que el diseño sea ortogonal, que el diseño sea rotatable y lograr afectar la varianza de las predicciones.

Tabla IV. **Valores de α para los diferentes combinaciones de k y n_o en un diseño compuesto central ortogonal**

K	n_o	A	K	n_o	α
2	1	1,0000	3	1	1,2154
	2	1,0781		2	1,2872
	3	1,1474		3	1,3531
	4	1,2100		4	1,4142
	5	1,2671		5	1,4712
	6	1,3197		6	1,5246

Fuente: FRANKLIN, Chacin. Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta. p. 233-234.

De la tabla IV se obtiene que α es 1,2100 para K=2 variables independientes (tiempo y agua en la mezcla) y $n_o=4$ repeticiones.

Tabla V. **Factores evaluados**

Factores Evaluados	Niveles Evaluados
Tiempo (horas)	3,60-4,00-6,00-8,00-8,40
Agua en la Mezcla (% v/v)	15,60-16,00-18,00-20,00-20,40

Fuente: elaboración propia.

Los tratamientos resultan de combinar los niveles de la tabla V, detallándose a continuación en la tabla VI.

Tabla VI. **Tratamientos resultantes**

Tratamiento No.	Valores Reales		Valores Codificados	
	Tiempo (horas)	Agua (% v/v)	Tiempo (horas)	Agua (% v/v)
1	6,00	15,60	0	-1,21
2	4,00	16,00	-1	-1
3	8,00	16,00	1	-1
4	3,60	18,00	-1,21	0
5	6,00	18,00	0	0
6	8,40	18,00	1,21	0
7	4,00	20,00	-1	1
8	8,00	20,00	1	1
9	6,00	20,40	0	1,21

Fuente: elaboración propia.

Para la obtención de la colofonia en la formulación del barniz fluorado se utilizaron factoriales fraccionados a partir de cinco mezclas de resina-agua-aguarrás (mezcla 1: 74,29 -15,60 – 10,11 por ciento, la mezcla 2: 74,29 -16,00 – 9,71 por ciento, la mezcla 3: 74,29 -18,00 – 7,71 por ciento, la mezcla 4: 74,29 - 20,00 - 5,71 por ciento, y la mezcla 5: 74,29 – 20,40 - 5,31 por ciento) a 5 diferentes tiempos (tiempo 1 = 3,60 horas, tiempo 2 = 4 horas, tiempo 3 = 6 horas, tiempo 4 = 8 horas y tiempo 5 = 8,40 horas)se efectuará un diseño compuesto ortogonal dando como resultando 9 tratamientos con 4 repeticiones, teniendo un total así de 36 unidades experimentales.

Posteriormente a la obtención de la colofonia se le realizó los análisis fisicoquímicos para determinar su cumplimiento con las especificaciones para formulación de barnices fluorados.

3.6.2. Diseño experimental

La recolección de la muestra de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldt*) se realizó en el municipio de Granados Baja Verapaz, de la cual se obtuvo la colofonia a nivel laboratorio que posteriormente fue utilizada para la formulación del barniz dental fluorado.

El diseño experimental a utilizar fue el de bloques al azar con 2 factores; se realizaron 9 tratamientos con 4 repeticiones, obteniendo así un total de 36 unidades experimentales con 7 variables de respuesta a continuación los resultados fueron tratados por medio del análisis de varianza utilizando el paquete estadístico SPSS. A la colofonia se les realizaron pruebas fisicoquímicas las cuales consisten en pruebas colorimétricas, punto de reblandecimiento, cenizas totales, densidad, índice de acidez, dureza y elementos extraños.

3.6.3. Procesamiento de la información

Tras la recolección de los datos se pudo tener la información suficiente para poder realizar una obtención adecuada de la colofonia, *Rosyn*. El procedimiento es el siguiente:

- Colocar en un beacker de 500 mililitros, para una base de 70 mililitros para mezcla 3 (7,70 agua-18,00 aguarrás-74,29 resina) porcentaje v/v.
- Colocar una muestra (libre de impurezas) de 52 mililitros de resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldt*).
- Colocar perlas de ebullición dentro del balón Kjeldahl (8-10 aproximadamente).

- Tomar una muestra de agua desmineralizada de 5,40 mililitros y colocarla dentro del beacker que contiene la resina de pino de ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schldtl*).
- Tomar una muestra de 12,6 mililitros de aguarrás y colocarla en el beacker que contiene las muestras de resina y agua desmineralizada.
- Agitar vigorosamente hasta obtener una solución homogénea.
- Colocar la solución del paso anterior dentro del balón Kjeldahl y armar el equipo de destilación y selle el equipo.
- Encender la plancha de calentamiento para dar paso a la destilación, el tiempo de duración de la destilación es de 6 horas.
- Recuperar el aguarrás en un erlenmeyer en la parte final del condensador colocado en un beacker con hielo.
- Se deben colocar las muestras en las probetas para realizar los ensayos fisicoquímicos.
- Tomar la temperatura de la probeta hasta que se produzca la primera capa de endurecimiento (temperatura del punto de fusión).
- Las probetas previamente taradas, péselas nuevamente cuando estén llenas y completamente frías para obtener la densidad posteriormente.
- Realizar prueba de colorimetría, cenizas totales, dureza, punto de reblandecimiento, índice de acidez y elementos extraños.
- Realizar pruebas de cenizas totales.
- Realizar pruebas de trazas de aguarrás por medio de cromatografía.
- Colocar las muestras en recipientes de porcelana con tapadera debido a que la colofonia reacciona al contacto con luz solar.

Nota: Se realizó el mismo procedimiento (1-13) para la mezcla 1 con 6 horas, mezcla 2 con 4 y 8 horas, la mezcla 3 con 3,60 y 8,40 horas, la mezcla 4 con 4 y 8 horas y la mezcla 5 con 6 horas.

3.6.4. Datos originales

A continuación se detalla los datos originales de la densidad, rendimiento, índice de acidez, dureza, color, trazas de aguarrás, punto de reblandecimiento, cenizas totales y elementos extraños obtenidos a nivel laboratorio.

- Datos para la determinación de la densidad

Tabla VII. **Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Densidad (g/ml)
15,6	6,0	0,99
16,0	4,0	0,95
16,0	8,0	1,02
18,0	3,6	0,92
18,0	6,0	1,11
18,0	8,4	1,05
20,0	4,0	0,95
20,0	8,0	0,99
20,4	6,0	1,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Densidad (g/ml)
15,6	6,0	0,99
16,0	4,0	0,96
16,0	8,0	0,91
18,0	3,6	0,92
18,0	6,0	1,11
18,0	8,4	0,91
20,0	4,0	0,95
20,0	8,0	1,02
20,4	6,0	1,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Densidad (g/ml)
15,6	6,0	0,98
16,0	4,0	0,93
16,0	8,0	1,02
18,0	3,6	0,91
18,0	6,0	1,11
18,0	8,4	1,04

Continuación de la tabla IX.

20,0	4,0	0,95
20,0	8,0	1,01
20,4	6,0	1,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Mediciones de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Densidad (g/ml)
15,6	6,0	0,99
16,0	4,0	0,96
16,0	8,0	1,00
18,0	3,6	0,93
18,0	6,0	1,11
18,0	8,4	1,04
20,0	4,0	0,96
20,0	8,0	1,02
20,4	6,0	1,06

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación del rendimiento

Tabla XI. **Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Rendimiento (%)
15,6	6,0	71,02
16,0	4,0	58,28
16,0	8,0	62,46
18,0	3,6	57,29
18,0	6,0	63,64
18,0	8,4	65,64
20,0	4,0	53,62
20,0	8,0	66,09
20,4	6,0	60,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Rendimiento (%)
15,6	6,0	71,65
16,0	4,0	59,34
16,0	8,0	62,58
18,0	3,6	58,60

Continuación de la tabla XII.

18,0	6,0	63,49
18,0	8,4	65,47
20,0	4,0	53,34
20,0	8,0	67,25
20,4	6,0	62,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Rendimiento (%)
15,6	6,0	71,73
16,0	4,0	59,74
16,0	8,0	68,63
18,0	3,6	57,26
18,0	6,0	63,41
18,0	8,4	65,76
20,0	4,0	53,59
20,0	8,0	67,15
20,4	6,0	60,87

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Mediciones del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Rendimiento (%)
15,6	6,0	71,86
16,0	4,0	58,73
16,0	8,0	68,36
18,0	3,6	57,06
18,0	6,0	64,67
18,0	8,4	64,86
20,0	4,0	66,10
20,0	8,0	52,54
20,4	6,0	61,46

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación de la dureza

Tabla XV. **Mediciones de la dureza de la colofonia para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Dureza (Shore D)			
		Repetición	Repetición	Repetición	Repetición
		1	2	3	4
15,6	6,0	84	83	84	83
16,0	4,0	74	75	74	73

Continuación de la tabla XV.

16,0	8,0	82	82	81	82
18,0	3,6	78	79	77	78
18,0	6,0	90	91	91	90
18,0	8,4	92	94	94	92
20,0	4,0	70	71	71	70
20,0	8,0	92	93	92	92
20,4	6,0	78	76	75	78

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación del índice de acidez

Tabla XVI. **Mediciones del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición uno y dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Índice de acidez (adimensional)	
		Repetición 1	Repetición 2
15,6	6,0	159,46	160,54
16,0	4,0	150,26	150,48
16,0	8,0	165,79	166,18
18,0	3,6	148,64	147,27
18,0	6,0	165,76	165,44
18,0	8,4	166,15	165,80

Continuación de la tabla XVI.

20,0	4,0	152,19	152,99
20,0	8,0	166,05	164,65
20,4	6,0	164,26	166,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Mediciones del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición tres y cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Índice de acidez (adimensional)	
		Repetición 3	Repetición 4
15,6	6,0	160,14	160,98
16,0	4,0	150,90	150,67
16,0	8,0	165,67	164,51
18,0	3,6	147,80	148,53
18,0	6,0	164,45	164,77
18,0	8,4	166,60	166,22
20,0	4,0	153,57	152,89
20,0	8,0	166,70	166,19
20,4	6,0	166,99	161,54

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la obtención del punto de reblandecimiento

Tabla XVIII. **Mediciones del punto de reblandecimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Punto de reblandecimiento (°C)			
		Repetición	Repetición	Repetición	Repetición
		1	2	3	4
15,6	6,0	75	74	74	75
16,0	4,0	70	71	70	70
16,0	8,0	77	76	77	78
18,0	3,6	69	68	68	69
18,0	6,0	73	73	73	72
18,0	8,4	78	78	78	77
20,0	4,0	72	71	71	71
20,0	8,0	74	75	75	74
20,4	6,0	75	74	74	75

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación del color

Tabla XIX. **Mediciones del color de la colofonia para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Color (unidades de color)			
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
15,6	6,0	N	N	M	N
16,0	4,0	N	N	N	N
16,0	8,0	M	M	N	M
18,0	3,6	M	N	M	M
18,0	6,0	M	M	M	M
18,0	8,4	N	N	N	N
20,0	4,0	N	N	N	M
20,0	8,0	M	M	M	M
20,4	6,0	N	N	N	N

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación de las cenizas totales

Tabla XX. **Mediciones de las cenizas totales para los nueve tratamientos, de la repetición uno a la cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Cenizas totales (% w/w)			
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Repetición 4
15,6	6,0	0,06	0,10	0,07	0,00
16,0	4,0	0,08	0,07	0,15	0,06
16,0	8,0	0,09	0,05	0,06	0,01

Continuación de la tabla XX.

18,0	3,6	0,07	0,05	0,03	0,03
18,0	6,0	0,07	0,06	0,08	0,02
18,0	8,4	0,04	0,03	0,00	0,05
20,0	4,0	0,12	0,06	0,07	0,05
20,0	8,0	0,11	0,06	0,06	0,02
20,4	6,0	0,04	0,05	0,04	0,05

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación de los elementos extraños

Tabla XXI. **Mediciones de los elementos extraños para los nueve tratamientos, de la repetición uno y dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Repetición 1		Repetición 2	
		Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)
15,6	6,0	500,01	1,30	500,03	1,25
16,0	4,0	500,02	1,05	500,01	1,10
16,0	8,0	500,03	1,15	500,05	1,20
18,0	3,6	500,02	0,90	500,03	0,95
18,0	6,0	500,05	0,75	500,01	0,70
18,0	8,4	500,01	1,75	500,00	1,65
20,0	4,0	500,07	1,55	500,05	1,45
20,0	8,0	500,05	1,75	500,01	1,70
20,4	6,0	500,02	0,60	500,01	0,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Mediciones de los elementos extraños para los nueve tratamientos, de la repetición tres y cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Repetición 3		Repetición 4	
		Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)
15,6	6,0	500,06	1,05	500,01	1,30
16,0	4,0	500,02	1,15	500,01	0,95
16,0	8,0	500,01	1,05	500,06	1,20
18,0	3,6	500,07	0,80	500,10	0,90
18,0	6,0	500,09	0,80	500,03	0,90
18,0	8,4	500,02	1,70	500,04	1,55
20,0	4,0	500,10	1,35	500,01	1,55
20,0	8,0	500,03	1,60	500,05	1,65
20,4	6,0	500,05	0,70	500,02	0,80

Fuente: elaboración propia.

- Datos para la determinación de trazas de aguarrás

Tabla XXIII. **Mediciones de las trazas de aguarrás para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Trazas de Aguarrás
15,6	6,0	No detectado
16,0	4,0	No detectado
16,0	8,0	No detectado

Continuación de la tabla XXXIII.

18,0	3,6	No detectado
18,0	6,0	No detectado
18,0	8,4	No detectado
20,0	4,0	No detectado
20,0	8,0	No detectado
20,4	6,0	No detectado

Fuente: elaboración propia.

- Datos del patrón comparativo

Tabla XXIV. **Datos de la muestra comercial**

Densidad (g/cm³)	0,9885
Punto de reblandecimiento (°C)	71-77
Dureza (unidades de dureza Shore D)	83
Color	WW o WG
Índice de acidez	145-180
Elementos extraños (% w/w)	2,00
Cenizas totales (% w/w)	0,20
Rendimiento colofonia (% w/w)	73,00

Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación y procesamiento de la información

La tabulación y procesamiento de la información, hace referencia a la muestra de cálculo de los parámetros fisicoquímicos de la colofonia obtenida a nivel laboratorio.

3.7.1. Muestra de cálculo

La muestra de cálculo hace referencia a la manera de procesar la información obtenida de los datos originales, para obtener el valor final de los parámetros fisicoquímicos de la colofonia obtenida.

- Determinación del rendimiento

Para determinar el rendimiento de la colofonia a partir de la resina *Rosyn*:

$$R\% = \frac{W_f - W_o}{W_h} \times 100$$

(Ecuación No. 1)

Donde:

W_o= Peso inicial del frasco (g)

W_f= Peso final del frasco con la colofonia (g)

W_h=Peso inicial de la resina (g)

R% = Rendimiento de la colofonia obtenida (%)

Ejemplo:

En el caso del tratamiento uno se realizó de la siguiente manera, realizándose de igual forma con sus respectivas repeticiones.

$$R\% = \frac{310,74g - 246,12g}{91g} \times 100$$

$$R\% = 71,01$$

Los datos calculados para los otros tratamientos y sus respectivas repeticiones se encuentran en la sección de datos calculados.

- Determinación de la densidad

Para determinar la densidad de la colofonia se utiliza:

$$\rho = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{V}$$

(Ecuación No.2)

Donde:

V= Volumen de la resina (ml)

ρ =Densidad de la resina (g/ml)

W inicial= Peso inicial de la bureta (g)

W final= Peso final de la bureta con resina (g)

Ejemplo:

En el caso del tratamiento uno se realizó de la siguiente manera, realizándose de igual forma con sus respectivas repeticiones.

$$\rho = \frac{65,49g - 61,04g}{4,5ml}$$

$$\rho = 0,99 \text{ g/ml}$$

Los datos calculados para los otros tratamientos y sus respectivas repeticiones se encuentran en la sección de datos calculados.

- Determinación del índice de acidez

Para determinar el índice de acidez de la colofonia se utiliza.

$$IA = \frac{5,610n}{m}$$

(Ecuación No.3)

Donde:

IA= Índice de acidez (adimensional)

m= colofonia (g)

n=hidróxido de potasio 0.1 M (ml)

Ejemplo:

En el caso del tratamiento uno se realizó de la siguiente manera, realizándose de igual forma con sus respectivas repeticiones.

$$IA = \frac{5,610 * 285}{10,03}$$

$$IA = 159,41$$

Los datos calculados para los otros tratamientos y sus respectivas repeticiones se encuentran en la sección de datos calculados.

- Determinación de los elementos extraños

Para determinar los elementos extraños de la colofonia se utiliza

$$EE = \frac{M_{ee}}{M_{col}} \times 100$$

(Ecuación No.4)

Donde:

EE= Elementos extraños (%)

Mcol= masa de colofonia inicial (g)

Mee= masa elementos extraños (g)

Ejemplo:

En el caso del tratamiento uno se realizó de la siguiente manera, realizándose de igual forma con sus respectivas repeticiones.

$$EE = \frac{1,30g}{500,01g} \times 100$$

EE=0,26 por ciento

Los datos calculados para los otros tratamientos y sus respectivas repeticiones se encuentran en la sección de datos calculados.

- Análisis de varianza

Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa:

Si existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de la colofonia, Rosyn, a diferentes tiempos de destilación.

Ejemplo:

En el caso de la densidad de la colofonia obtenida el análisis de varianza fue la siguiente.

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Si existe diferencia significativa en la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Nivel de significancia

$$\alpha = 0,05$$

Grados de libertad

$$Gl = k - 1 \quad \text{(Ecuación No. 5)}$$

$$Gl = 4 - 1 = 3$$

Donde:

Gl = Grados de libertad

k = Número de muestras

Gran media (\bar{X})

La gran media de todos los elementos de todas las muestras se calcula con la siguiente ecuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} X_i + \sum_{i=1}^{n_2} X_i + \dots + \sum_{i=1}^k X_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (\text{Ecuación No.6})$$

Donde:

X_i = Elementos

Estadístico crítico (F_c)

Con 3 grados de libertad, media cuadrática 0,011 en el numerador y 0,001 en el denominador, al 0,05de significancia, $F_c = 18,835$.

Tabla XXV. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de la densidad de la colofonia a diferentes concentraciones**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	0,032	3	0,011	18,835	0,000
Tiempo	0,088	3	0,029	52,289	0,000
Error	0,016	28	0,001		
Total corregida	0,125	35			
R^2 corregida	0,843				

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Basado en medias observadas se determina a que se rechaza H_0 . Con un nivel de significancia mayor a $\alpha = 0,05$.

Conclusión

Si existe diferencia significativa en la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación. Los resultados obtenidos para las otras especies se encuentran en la sección de análisis estadístico.

- Datos calculados

Tabla XXVI. **Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)	\bar{X} (g/ml)	σ (g/ml)
15,6	6,0	61,04	65,49	4,5	0,99	0,99	$\pm 2,50E-05$
16,0	4,0	63,57	67,84	4,5	0,95	0,95	$\pm 2,00E-04$
16,0	8,0	63,60	68,20	4,5	1,02	0,99	$\pm 2,76E-03$
18,0	3,6	59,29	63,43	4,5	0,92	0,92	$\pm 6,67E-05$
18,0	6,0	63,57	68,57	4,5	1,11	1,11	$\pm 0,00E+00$
18,0	8,4	59,30	64,01	4,5	1,05	1,01	$\pm 4,47E-03$
20,0	4,0	63,55	67,84	4,5	0,95	0,95	$\pm 2,50E-05$
20,0	8,0	63,60	68,08	4,5	0,99	1,01	$\pm 2,00E-04$
20,4	6,0	59,29	64,02	4,5	1,05	1,06	$\pm 6,67E-05$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)	\bar{X} (g/ml)	σ (g/ml)
15,6	6,0	59,26	63,71	4,5	0,99	0,99	$\pm 2,50E-05$
16,0	4,0	63,55	67,87	4,5	0,96	0,95	$\pm 2,00E-04$
16,0	8,0	59,28	63,91	4,5	0,91	0,99	$\pm 2,76E-03$
18,0	3,6	63,69	67,84	4,5	0,92	0,92	$\pm 6,67E-05$
18,0	6,0	63,63	68,63	4,5	1,11	1,11	$\pm 0,00E+00$
18,0	8,4	63,52	67,61	4,5	0,91	1,01	$\pm 4,47E-03$
20,0	4,0	63,56	67,82	4,5	0,95	0,95	$\pm 2,50E-05$
20,0	8,0	59,28	63,85	4,5	1,02	1,01	$\pm 2,00E-04$
20,4	6,0	63,53	68,34	4,5	1,07	1,06	$\pm 6,67E-05$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)	\bar{X} (g/ml)	σ (g/ml)
15,6	6,0	63,52	67,95	4,5	0,98	0,99	$\pm 2,50E-05$
16,0	4,0	63,52	67,71	4,5	0,93	0,95	$\pm 2,00E-04$
16,0	8,0	63,53	68,12	4,5	1,02	0,99	$\pm 2,76E-03$
18,0	3,6	63,52	67,62	4,5	0,91	0,92	$\pm 6,67E-05$
18,0	6,0	59,28	64,26	4,5	1,11	1,11	$\pm 0,00E+00$
18,0	8,4	63,53	68,21	4,5	1,04	1,01	$\pm 4,47E-03$

Continuación de la tabla XXVIII.

20,0	4,0	63,64	67,93	4,5	0,95	0,95	$\pm 2,50E-05$
20,0	8,0	59,26	63,81	4,5	1,01	1,01	$\pm 2,00E-04$
20,4	6,0	59,29	64,06	4,5	1,06	1,06	$\pm 6,67E-05$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Determinación de la densidad para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Inicial (g)	Masa final (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)	\bar{X} (g/ml)	σ (g/ml)
15,6	6,0	59,37	63,81	4,5	0,99	0,99	$\pm 2,50E-05$
16,0	4,0	59,30	63,61	4,5	0,96	0,95	$\pm 2,00E-04$
16,0	8,0	59,35	63,86	4,5	1,00	0,99	$\pm 2,76E-03$
18,0	3,6	59,26	63,44	4,5	0,93	0,92	$\pm 6,67E-05$
18,0	6,0	63,59	68,59	4,5	1,11	1,11	$\pm 0,00E+00$
18,0	8,4	59,26	63,94	4,5	1,04	1,01	$\pm 4,47E-03$
20,0	4,0	63,59	67,90	4,5	0,96	0,95	$\pm 2,50E-05$
20,0	8,0	63,52	68,12	4,5	1,02	1,01	$\pm 2,00E-04$
20,4	6,0	63,76	68,51	4,5	1,06	1,06	$\pm 6,67E-05$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa frasco (g)	Masa balón (g)	Rendimiento (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	64,62	90,99	71,02	71,57	±0,140
16,0	4,0	67,39	115,63	58,28	59,02	±0,420
16,0	8,0	68,07	108,98	62,46	65,51	±11,91
18,0	3,6	68,38	119,36	57,29	57,55	±0,500
18,0	8,4	75,47	114,97	65,64	65,43	±0,160
20,0	4,0	52,82	98,52	53,62	56,66	±39,60
20,0	8,0	80,84	122,31	66,09	63,26	±51,33
20,4	6,0	59,51	98,67	60,30	61,18	±0,580

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa frasco (g)	Masa balón (g)	Rendimiento (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	74,05	103,36	71,65	71,57	±0,140
16,0	4,0	63,93	107,74	59,34	59,02	±0,420
16,0	8,0	64,26	102,69	62,58	65,51	±11,91
18,0	3,6	58,50	99,82	58,60	57,55	±0,500
18,0	6,0	74,10	116,71	102,96	65,47	±0,340
18,0	8,4	67,40	102,96	65,47	65,43	±0,160
20,0	4,0	66,93	125,48	53,34	56,66	±39,60
20,0	8,0	65,37	97,20	67,25	63,26	±51,33
20,4	6,0	70,15	113,02	62,07	61,18	±0,580

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa frasco (g)	Masa balón (g)	Rendimiento (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	85,62	119,37	71,73	71,57	$\pm 0,140$
16,0	4,0	70,39	117,83	59,74	59,02	$\pm 0,420$
16,0	8,0	74,60	108,71	68,63	65,51	$\pm 11,91$
18,0	3,6	56,01	97,82	57,26	57,55	$\pm 0,500$
18,0	6,0	75,61	119,24	63,41	63,80	$\pm 0,340$
18,0	8,4	63,22	96,13	65,76	65,43	$\pm 0,160$
20,0	4,0	62,86	117,31	53,59	56,66	$\pm 39,60$
20,0	8,0	72,93	108,61	67,15	63,26	$\pm 51,33$
20,4	6,0	63,27	103,94	60,87	61,18	$\pm 0,580$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Determinación del rendimiento para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa frasco (g)	Masa balón (g)	Rendimiento (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	88,26	122,81	71,86	71,57	$\pm 0,140$
16,0	4,0	76,91	130,97	58,73	59,02	$\pm 0,420$
16,0	8,0	90,52	132,42	68,36	65,51	$\pm 11,91$
18,0	3,6	63,57	111,40	57,06	57,55	$\pm 0,500$
18,0	6,0	81,42	125,90	64,67	63,80	$\pm 0,340$

Continuación de la tabla XXXIII.

18,0	8,4	83,56	128,83	64,86	65,43	±0,160
20,0	4,0	73,22	110,77	66,10	56,66	±39,60
20,0	8,0	67,56	128,60	52,54	63,26	±51,33
20,4	6,0	76,29	124,14	61,46	61,18	±0,580

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa (g)	Volumen (ml)	Índice de acidez (adimensional)	\bar{X} (adimensional)	σ (adimensional)
15,6	6,0	10,03	285,0	159,46	160,28	±0,42
16,0	4,0	10,02	268,4	150,26	150,58	±0,07
16,0	8,0	10,01	295,80	165,79	165,54	±0,52
18,0	3,6	10,01	265,20	148,64	148,06	±0,42
18,0	6,0	10,09	298,20	165,76	165,11	±0,36
18,0	8,4	10,00	296,20	166,15	166,20	±0,11
20,0	4,0	10,10	274,10	152,19	152,91	±0,32
20,0	8,0	10,01	296,2	166,05	165,90	±0,77
20,4	6,0	10,08	295,2	164,26	164,76	±5,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa (g)	Volumen (ml)	Índice de acidez (adimensional)	\bar{X} (adimensional)	σ (adimensional)
15,6	6,0	10,00	286,20	160,54	160,28	$\pm 0,42$
16,0	4,0	10,02	268,8	150,48	150,58	$\pm 0,07$
16,0	8,0	10,01	296,6	166,18	165,54	$\pm 0,52$
18,0	3,6	10,09	264,8	147,27	148,06	$\pm 0,42$
18,0	6,0	10,09	297,6	165,44	165,11	$\pm 0,36$
18,0	8,4	10,01	295,8	165,80	166,20	$\pm 0,11$
20,0	4,0	10,09	275,2	152,99	152,91	$\pm 0,32$
20,0	8,0	10,09	296,2	164,65	165,90	$\pm 0,77$
20,4	6,0	10,08	298,8	166,26	164,76	$\pm 5,95$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa (g)	Volumen (ml)	Índice de acidez (adimensional)	\bar{X} (adimensional)	σ (adimensional)
15,6	6,0	10,01	285,8	160,14	160,28	$\pm 0,42$
16,0	4,0	10,00	269,0	150,90	150,58	$\pm 0,07$
16,0	8,0	10,10	298,2	165,67	165,54	$\pm 0,52$
18,0	3,6	10,07	265,2	147,80	148,06	$\pm 0,42$
18,0	6,0	10,00	293,2	164,45	165,11	$\pm 0,36$

Continuación de la tabla XXXVI.

18,0	8,4	10,01	297,2	166,60	166,20	±0,11
20,0	4,0	10,00	273,8	153,57	152,91	±0,32
20,0	8,0	10,01	297,4	166,70	165,90	±0,77
20,4	6,0	10,09	300,4	166,99	164,76	±5,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Determinación del índice de acidez para los nueve tratamientos, de la repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa (g)	Volumen (ml)	Índice de acidez (adimensional)	\bar{X} (adimensional)	σ (adimensional)
15,6	6,0	10,01	287,2	160,98	160,28	±0,42
16,0	4,0	10,01	268,8	150,67	150,58	±0,07
16,0	8,0	10,09	295,8	164,51	165,54	±0,52
18,0	3,6	10,00	264,8	148,53	148,06	±0,42
18,0	6,0	10,00	293,8	164,77	165,11	±0,36
18,0	8,4	10,00	296,4	166,22	166,20	±0,11
20,0	4,0	10,01	272,8	152,89	152,91	±0,32
20,0	8,0	10,01	296,4	166,19	165,90	±0,77
20,4	6,0	10,08	290,2	161,54	164,76	±5,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición uno**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Elementos extraños (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	500,01	1,30	0,26	0,245	$\pm 5,67E-04$
16,0	4,0	500,02	1,05	0,21	0,2125	$\pm 2,92E-04$
16,0	8,0	500,03	1,15	0,23	0,230	$\pm 2,00E-04$
18,0	3,6	500,02	0,90	0,18	0,1775	$\pm 1,58E-04$
18,0	6,0	500,05	0,75	0,15	0,1575	$\pm 2,92E-04$
18,0	8,4	500,01	1,75	0,35	0,3325	$\pm 2,92E-04$
20,0	4,0	500,07	1,55	0,31	0,295	$\pm 3,67E-04$
20,0	8,0	500,05	1,75	0,35	0,335	$\pm 1,67E-04$
20,4	6,0	500,02	0,60	0,12	0,1425	$\pm 2,92E-04$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición dos**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Elementos extraños (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	500,03	1,25	0,25	0,245	$\pm 5,67E-04$
16,0	4,0	500,01	1,10	0,22	0,2125	$\pm 2,92E-04$
16,0	8,0	500,05	1,20	0,24	0,23	$\pm 2,00E-04$
18,0	3,6	500,03	0,95	0,19	0,1775	$\pm 1,58E-04$

Continuación de la tabla XXXIX.

18,0	6,0	500,01	0,70	0,14	0,1575	±2,92E-04
18,0	8,4	500,00	1,65	0,33	0,3325	±2,92E-04
20,0	4,0	500,05	1,45	0,29	0,295	±3,67E-04
20,0	8,0	500,01	1,70	0,34	0,335	±1,67E-04
20,4	6,0	500,01	0,75	0,15	0,1425	±2,92E-04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición tres**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Elementos extraños (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	500,06	1,05	0,21	0,245	±5,67E-04
16,0	4,0	500,02	1,15	0,23	0,2125	±2,92E-04
16,0	8,0	500,01	1,05	0,21	0,23	±2,00E-04
18,0	3,6	500,07	0,80	0,16	0,1775	±1,58E-04
18,0	6,0	500,09	0,80	0,16	0,1575	±2,92E-04
18,0	8,4	500,02	1,70	0,34	0,3325	±2,92E-04
20,0	4,0	500,10	1,35	0,27	0,295	±3,67E-04
20,0	8,0	500,03	1,60	0,32	0,335	±1,67E-04
20,4	6,0	500,05	0,70	0,14	0,1425	±2,92E-04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Determinación de los elementos extraños para los nueve tratamientos, repetición cuatro**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Masa Total (g)	Masa Extraña (g)	Elementos extraños (%)	\bar{X} (%)	σ (%)
15,6	6,0	500,01	1,30	0,26	0,245	$\pm 5,67E-04$
16,0	4,0	500,01	0,95	0,19	0,2125	$\pm 2,92E-04$
16,0	8,0	500,06	1,20	0,24	0,23	$\pm 2,00E-04$
18,0	3,6	500,10	0,90	0,18	0,1775	$\pm 1,58E-04$
18,0	6,0	500,03	0,90	0,18	0,1575	$\pm 2,92E-04$
18,0	8,4	500,04	1,55	0,31	0,3325	$\pm 2,92E-04$
20,0	4,0	500,01	1,55	0,31	0,295	$\pm 3,67E-04$
20,0	8,0	500,05	1,65	0,33	0,335	$\pm 1,67E-04$
20,4	6,0	500,02	0,80	0,16	0,1425	$\pm 2,92E-04$

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

A continuación se describe el análisis estadístico a utilizar en el presente trabajo de investigación. Para cada componente químico a determinar se utilizó un análisis de varianza por medio de un diseño de bloques aleatorio con la distribución de *Fisher*, esto debido a que se tratan dos niveles. La distribución de *Fisher* es usada en teoría de probabilidad y estadística, la distribución de *Fisher* es una distribución de probabilidad continua. Ver tabla XLII.

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

Mezcla	Tiempo	Bloque			
1	1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{114}
1	2	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{124}
.	3	.	.	.	.
.	4	.	.	.	.
.	5	.	.	.	.
I	J	Y_{551}	Y_{552}	Y_{553}	Y_{554}

Fuente: elaboración propia.

$$i = 1, 2, \dots, 5.$$

$$j = 1, 2, \dots, 5.$$

$$k = 1, 2, \dots, 4.$$

Donde:

Y_{ijk} = datos obtenidos para cada observación bajo tratamiento

y = promedio total de las observaciones bajo el i, j -ésimo tratamiento

Generalmente el procedimiento para un diseño de bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con dos factores: A y B en a y b niveles. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal.

$$y_{ijk} = \mu + \beta_i + \alpha_j + (\beta_k \alpha_k)_{ij} + \theta_k + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, \dots, a = 5$$

$$j = 1, 2, \dots, b = 5$$

$$k = 1, 2, \dots, r = 4$$

Donde:

y_{ijk} = valor de la variable de respuesta

μ = media general

β_i = efecto de la i -ésima mezcla

α_j = efecto del j -ésimo tiempo

$(\beta_k \alpha_k)_{ij}$ = la interacción entre el tiempo y la mezcla

Θ_k = efecto del k -ésimo bloque o repetición

ε_{ijk} = error aleatorio

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

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

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

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

Tabla XLIII. **Análisis de la varianza para el diseño compuesto central ortogonal para $k=2$, estimando el error experimental por repeticiones del conjunto total de combinaciones**

F. de V.	g. de l.	SC
Replicaciones	$r-1=3$	$n \sum_{j=1}^r (\bar{Y}_j - \bar{Y}_{..})^2$
Tratamientos	$t-1=8$	$\sum_{j=1}^n r_i (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2$

Continuación de la tabla XLIII.

Regresión	5	$\sum_{j=1}^k b_j x_j Y_i + \sum_{j=1}^k b_{jj} \sum_{i=1}^n (x_{ji}^2 - c) Y_i + \sum_{j=1}^k b_{j1} \sum_{i=1}^n (x_j x_1)_i Y_i$
Falta de Ajuste	3	$\sum_{j=1}^k n_i (\bar{Y}_i - Y_i)^2$
Error Experimental	$(n_0-1)r+(t-1)(r-1)$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^r (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..})^2$
Estimado por los puntos centrales	$(n_0-1)r = 2(n_0-1) = 6$	$\sum_{u=1}^{n1} (Y_{iu} - \bar{Y}_u)^2$
Estimado por la interacción (RxT)	$(t-1)(r-1)$	Diferencia
Total	$r/2^k + 2K + n_0 - 1$	$\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2$

Fuente: FRANKLIN, Chacin. Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta. p. 233-234.

La hipótesis nula de ningún efecto de tratamiento se prueba mediante la razón de Fisher, que se define como: $F = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E}$ donde $MS_{\text{Tratamientos}}$ es la media cuadrática de los tratamientos y MSE es la media cuadrática del error; y que para un nivel de confianza $\alpha = 0,05$.

Luego se ajustará el modelo de regresión planteado y se realizará una descripción del modelo, esta parte se repitió varias veces hasta definir el modelo que mejor se ajuste a los datos.

3.8.1. Análisis de varianza

- Determinación de la dureza

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en la dureza de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en la dureza de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla XLIV. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de la dureza de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	427,167	3	142,389	18,522	0,000
Tiempo	1386,917	3	462,306	60,137	0,000
Error	215,250	28	7,688		
Total corregida	2178,750	35			
R ² corregido	0,877				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **DHS de Tukey de la dureza, de la colofonia a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto		
		1	2	3
20,4	4	76,75		
16,0	8	77,88		
20,0	8	81,38	81,38	
15,6	4		83,50	83,50
18,0	12			87,17
Sig.		0,053	0,677	0,178

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **DHS de Tukey de la dureza, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
4,0	8	72,25			
3,6	4		78,00		
6,0	12			83,58	
8,0	8			87,00	
8,4	4				93,00
Sig.		1,000	1,000	0,234	1,000

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H_0).

Conclusión

La dureza de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación de la densidad

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla XLVII. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de la densidad de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	0,032	3	0,011	18,835	0,000
Tiempo	0,088	3	0,029	52,289	0,000
Error	0,016	28	0,001		
Total corregida	0,125	35			
R ² corregido	0,843				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **DHS de Tukey de la densidad, de la colofonia a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto	
		1	2
20,4	4	0,9823	
16,0	8	0,9844	
20,0	8	0,9868	
15,6	4	1,01427	
18,0	12		1,0589
Sig.		0,164	1,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **DHS de Tukey de la densidad, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
3,6	4	0,9218		
4,0	8	0,9524		
8,4	4		1,0087	
8,0	8		1,0143	1,0143
6,0	12			1,0526
Sig.		0,197	0,994	0,064

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H_0).

Conclusión

La densidad de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación del rendimiento

Hipótesis nula

No existe diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento de colofonia, *Rosyn*, a diferentes proporciones de mezcla, agua-aguarrás-resina, en la destilación de la misma.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa entre el porcentaje de rendimiento de colofonia, *Rosyn*, a diferentes proporciones de mezcla, agua-aguarrás-resina, en la destilación de la misma.

Tabla L. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de la rendimiento de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	253,539	3	84,513	25,788	0,000
Tiempo	532,322	3	177,441	54,144	0,000

Continuación de la tabla L.

Error	91,761	28	3,277		
Total corregida	1010,415	35			
R ² corregido	0,886				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. **DHS de Tukey del rendimiento, de la colofonia a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto	
		1	2
20,4	4	59,9610	
16,0	8	61,1765	
20,0	8	62,2495	
15,6	4	62,2537	
18,0	12		71,5471
Sig.		0,211	1,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **DHS de Tukey del rendimiento, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
4,0	8	56,1490	
3,6	4	57,5287	

Continuación de la tabla LII.

6,0	12		65,5082
8,4	4		65,43185
8,0	8		66,0616
Sig.		0,6810	0,9740

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H_0).

Conclusión

Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación del índice de acidez

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en el índice de acidez de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia estadística significativa en el índice de acidez de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla LIII. **Resumen del cálculo de la varianza univariante del índice de acidez de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	65,311	3	21,770	19,857	0,000
Tiempo	1608,383	3	536,128	489,003	0,000
Error	30,698	28	1,096		
Total corregida	1763,417	35			
R ² corregido	0,978				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **DHS de Tukey del índice de acidez de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto		
		1	2	3
20,4	4	158,0583		
16,0	8	159,4043	159,4043	
20,0	8	159,7877	159,7877	
15,6	4		160,2783	
18,0	12			164,7615
Sig.		0,0560	0,605	1,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **DHS de Tukey del índice de acidez, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
3,6	4	148,0614			
4,0	8		151,7447		
6,0	8			163,3826	
8,0	4				165,7178
8,4	12				166,19357
Sig.		1,000	1,000	1,000	0,932

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H₀).

Conclusión

El índice de acidez de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación de las cenizas totales

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en las cenizas totales de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia estadística significativa en las cenizas totales de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla LVI. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de las cenizas totales de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	0,000	3	0,000	0,160	0,923
Tiempo	0,004	3	0,001	1,452	0,249
Error	0,026	28	0,001		
Total corregida	0,035	35			
R ² corregido	0,081				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **DHS de Tukey de las cenizas totales de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto
		1
20,4	4	0,0442
16,0	8	0,0450
20,0	8	0,0575
15,6	4	0,0688
18,0	12	0,0713
Sig.		0,543

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **DHS de Tukey de las cenizas totales de la colofonia, a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto	
		1	2
3,6	4	0,0300	
4,0	8	0,0450	0,0450
6,0	8	0,0533	0,0533
8,0	4	0,0575	0,0575
8,4	12		0,0825
Sig.		0,529	0,233

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Aceptar la hipótesis nula (Ho).

Conclusión

Las cenizas totales de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones de aguarrás y agua destilada, es igual a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación de los elementos extraños

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en el porcentaje de los elementos extraños de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en el porcentaje de los elementos extraños de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla LIX. **Resumen del cálculo de la varianza univariante de los elementos extraños de la colofonia, Rosyn, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	0,060	3	0,020	66,452	0,000
Tiempo	0,077	3	0,026	85,420	0,000
Error	0,008	28	0,000		
Total corregida	0,174	35			
R ² corregido	0,940				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LX. **DHS de Tukey de los elementos extraños, de la colofonia a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto		
		1	2	3
20,4	4	0,1425		
16,0	8		0,2212	
20,0	8		0,2225	
15,6	4		0,2450	
18,0	12			0,3150
Sig.		1,000	0,151	1,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **DHS de Tukey de los elementos extraños, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto		
		1	2	3
3,6	4	0,1775		
4,0	8	0,1817		
8,4	4		0,2537	
8,0	8		0,2825	
6,0	12			0,3325
Sig.		0,993	0,054	1,000

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H_0).

Conclusión

El porcentaje de elementos extraños de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones y tiempos, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

- Determinación del punto de reblandecimiento

Hipótesis nula

No existe diferencia estadística significativa en el punto de rendimiento de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en el punto de rendimiento de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación.

Tabla LXII. **Resumen del cálculo de la varianza univariante del punto de reblandecimiento de la colofonia, *Rosyn*, a diferentes tiempos de destilación**

Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Aguarrás	10,417	3	3,472	4,575	0,010
Tiempo	271,500	3	90,500	119,247	0,000
Error	21,250	28	0,7590		
Total corregida	306,889	35			
R ² corregido	0,913				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **DHS de Tukey del punto de reblandecimiento, de la colofonia a diferentes concentraciones**

Aguarrás	N	Subconjunto	
		1	2
20,4	4	72,8750	
16,0	8	73,0000	
20,0	8	73,6250	73,6250
15,6	4		74,5000
18,0	12		74,5000
Sig.		0,576	0,427

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIV. **DHS de Tukey del punto de reblandecimiento, de la colofonia a diferentes tiempos**

Tiempo	N	Subconjunto				
		1	2	3	4	5
3,6	4	68,5000				
4,0	8		70,7500			
8,4	4			73,9167		
8,0	8				75,7500	
6,0	12					77,7500
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Rechazar la hipótesis nula (H₀).

Conclusión

El punto de reblandecimiento de la colofonia obtenida a diferentes concentraciones y tiempos, es distinto a un nivel de confianza del 95 por ciento.

3.8.2. Análisis de los modelos matemáticos

En virtud del efecto significativo de la proporción de aguarrás y del tiempo sobre cada una de las variables medidas se procedió a estimar la superficie de respuesta.

El modelo correspondiente de la superficie de respuesta es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 T_i + \beta_2 T_i^2 + \beta_3 A_i + \beta_4 A_i^2 + \beta_5 A_i T_i$$

(Ecuación No.7)

Donde:

Y_i =variable de respuesta (dimensiones de las distintas variables de respuesta)

T= tiempo de duración de la reacción (h)

A = Aguarrás (%)

- Determinación de la dureza

Tabla LXV. **Coefficientes de la dureza**

Modelo 1	B	Error típico
(Constante)	61,538	3,008
Tiempo	3,452	0,481

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVI. **Resumen del modelo de la dureza**

Modelo	R	R²	R² corregida	Error típico
1	0.776	0.602	0.590	5.050

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVII. **Anova de la dureza**

Modelo 1	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1311,773	1	1311,773	51,443	0,000
Residual	866,977	34	25,499		
Total	2178,750	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

El modelo es Dureza (A,T)= 61,538+3,452T, siendo insatisfactoria R^2 corregida = 0,590

- Determinación de la densidad

Tabla LXVIII. **Coefficientes de la densidad**

Modelo 1	B	Error típico
(Constante)	0,903	0,029
AT	0,001	0,000

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Resumen del modelo de la densidad**

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típico
1	0,520	0,270	0,249	0,0518

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Anova de la densidad**

Modelo	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	0,034	1	0,034	12,575	0,001
Residual	0,091	34	0,003		
Total	0,125	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

El modelo es el siguiente: Densidad (A,T) = 0,903 + 0,001TA, siendo insatisfactoria debido a R^2 corregida = 0,249

- Determinación del rendimiento

Tabla LXXI. **Coefficientes del rendimiento**

	Modelo	β	Error típico
3	(Constante)	44,792	7,851
	Tiempo	12,093	2,302
	Aguarrás	-1,237	0,247
	Tiempo ²	-0,830	0,191
4	(Constante)	91,565	17,177
	Tiempo	4,298	3,327
	Aguarrás	-3,836	0,898
	Tiempo ²	-0,830	0,171
	AguarrásTiempo	0,433	0,145

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. **Resumen del modelo del rendimiento**

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típico de la estimación
2	0,813	0,661	0,640	3,2217
3	0,887	0,787	0,767	2,5928
4	0,914	0,835	0,813	2,3217

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. **Anova del rendimiento**

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
3	Regresión	795,293	3	265,098	39,435	0,00
	Residual	215,119	32	6,722		
	Total	1010,412	35			
4	Regresión	843,307	4	210,827	39,111	0,00
	Residual	167,105	31	5,390		
	Total	1010,412	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Siendo satisfactoria debido a R^2 corregida=0,813 el modelo es:
 Rendimiento (A,T) = $91,565+4,298T-3,836A-0,83T^2+0,433AT$.

- Determinación del índice de acidez

Tabla LXXIV. **Coefficientes del índice de acidez**

Modelo		β	Error típico
4	(Constante)	-12,890	33,817
	Tiempo	18,568	1,209
	Tiempo ²	-1,246	0,100
	Aguarrás	11,751	3,611
	Aguarrás ²	-0,310	0,100

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Resumen del modelo del índice de acidez**

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típico de la estimación
1	0,903	0,815	0,809	3,1014
2	0,972	0,944	0,941	1,7312
3	0,983	0,965	0,962	1,3808
4	0,987	0,974	0,970	1,2264

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVI. **Anova del índice de acidez**

Modelo		Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
3	Regresión	1702,400	3	567,467	297,605	0,000
	Residual	61,017	32	1,907		
	Total	1763,417	35			
4	Regresión	1716,793	4	429,198	285,375	0,000
	Residual	46,623	31	1,504		
	Total	1763,417	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

Para una R²corregida=0,970 satisfactoria, el modelo es: $I(A,T) = -12,890 + 18,568T + 11,751A - 1,246T^2 - 0,310A^2$.

- Determinación de elementos extraños

Tabla LXXVII. **Coefficientes de los elementos extraños de la colofonia**

Modelo		β	Error típico
2	(Constante)	0,645	0,134
	Tiempo ²	0,016	0,004
	Tiempo	-0,170	0,048

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXVIII. **Resumen del modelo de los elementos extraños**

Modelo	R	R ²	R ² corregida	Error típico
2	0,676	0,457	0,424	0,05354

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIX. **Anova de los elementos extraños**

Modelo		Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
2	Regresión	0,080	2	0,040	13,886	0,000
	Residual	0,095	33	0,003		
	Total	0,174	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

El modelo es: $EE(A,T)=0,645-0,170T+0,016T^2$, para una R² corregida = 0,42 insatisfactoria.

- Determinación del punto de reblandecimiento

Tabla LXXX. **Coefficientes del punto de reblandecimiento**

Modelo 1	B	Error típico
(Constante)	64,244	0,708
Tiempo	1,533	0,113

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXI. **Resumen del modelo del punto de reblandecimiento**

Modelo	R	R²	R² corregida	Error típico
1	0,918	0,843	0,839	1,189

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXII. **Anova del punto de reblandecimiento**

Modelo	Suma de cuadrados	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	258,843	1	258,843	183,172	0,000
Residual	48,046	34	1,413		
Total	306,889	35			

Fuente: elaboración propia.

Resultado

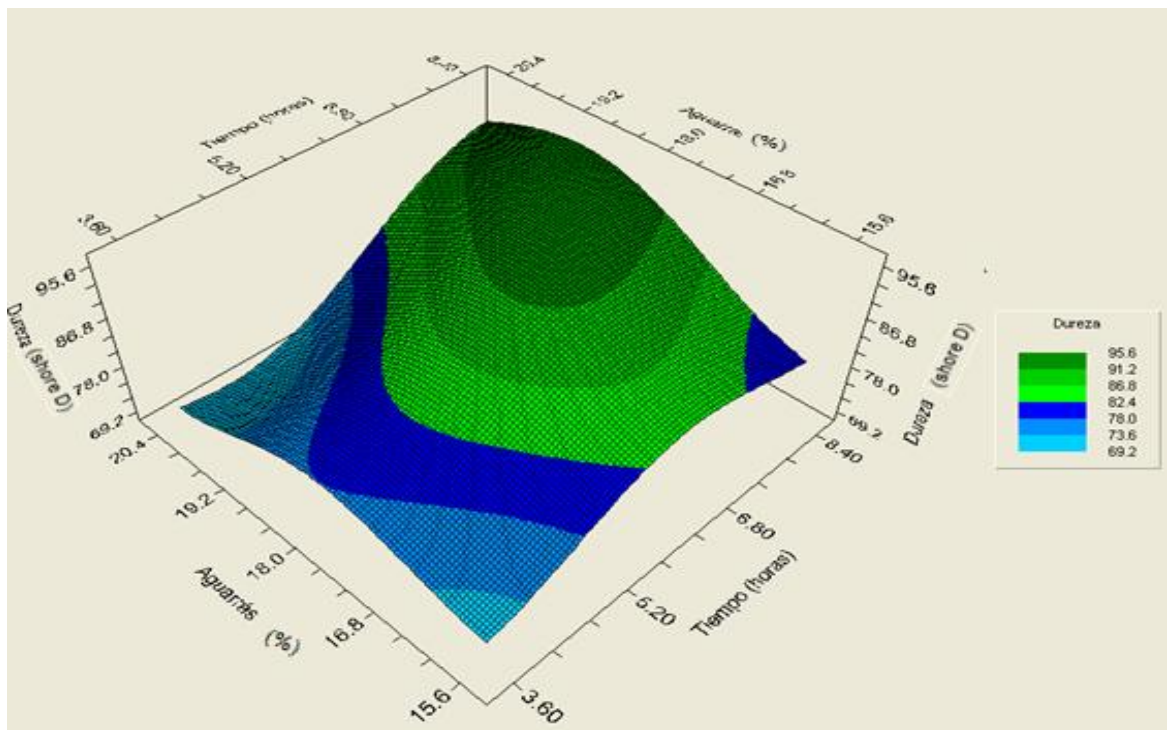
El modelo es el siguiente: $PR(A,T) = 64,244 + 1,533T$, siendo satisfactoria debido a $R^2_{\text{corregida}}=0,839$.

4. RESULTADOS

A continuación se describen los resultados obtenidos a nivel laboratorio, en los cuales se presenta la dureza, el punto de reblandecimiento, densidad, color, trazas de aguarrás, rendimiento, cenizas totales, índice de acidez y elementos extraños.

- Determinación de la dureza

Figura 18. Comportamiento de la dureza de la colofonia



Fuente: elaboración propia., tabla XV.

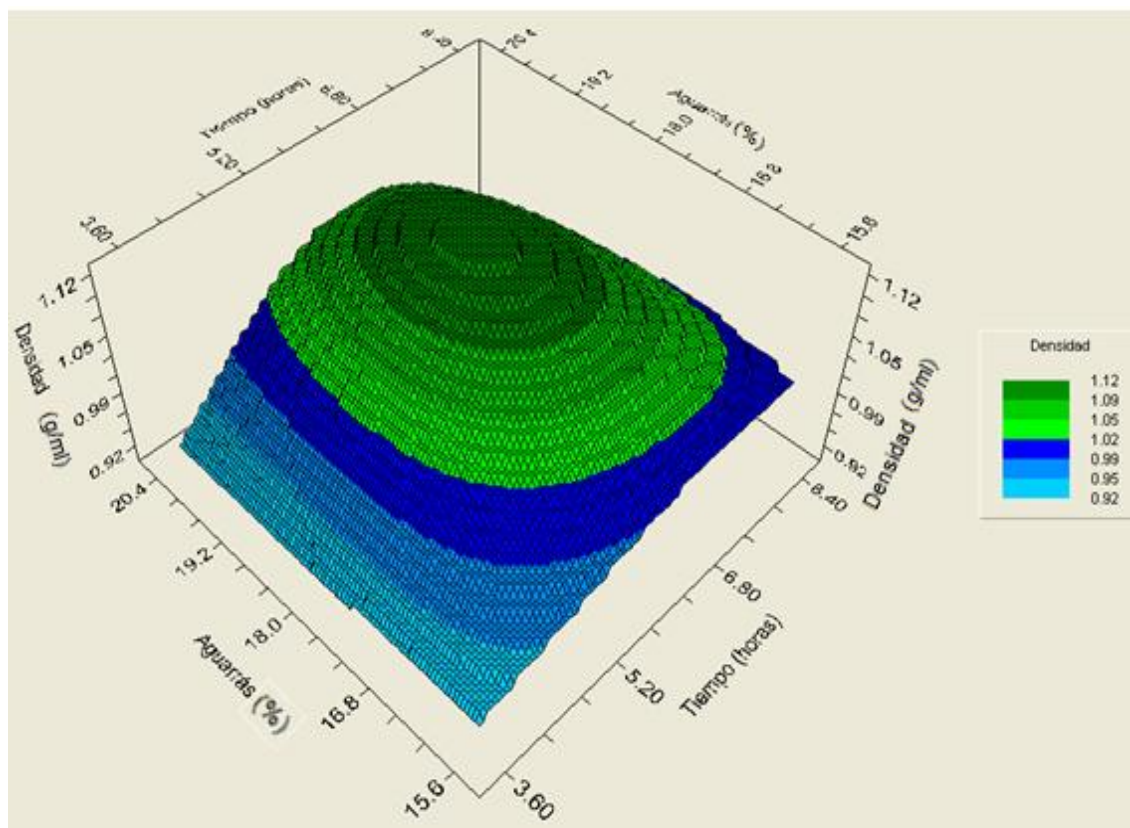
Tabla LXXXIII. **Correlación, coeficiente y rangos de la figura 18**

Correlación	Dureza (Shore D)	Tiempo (h)	Aguarrás (%)	R ² Corregido
Dureza(A,T) =61,538+3,452T	69,2-95,6	3,60-8,40	15,6-20,4	0,590

Fuente: elaboración propia, tabla LXV y LXVI.

- Determinación de la densidad

Figura 19. **Comportamiento de la densidad de la colofonia**



Fuente: elaboración propia, tabla XXVI-XXIX.

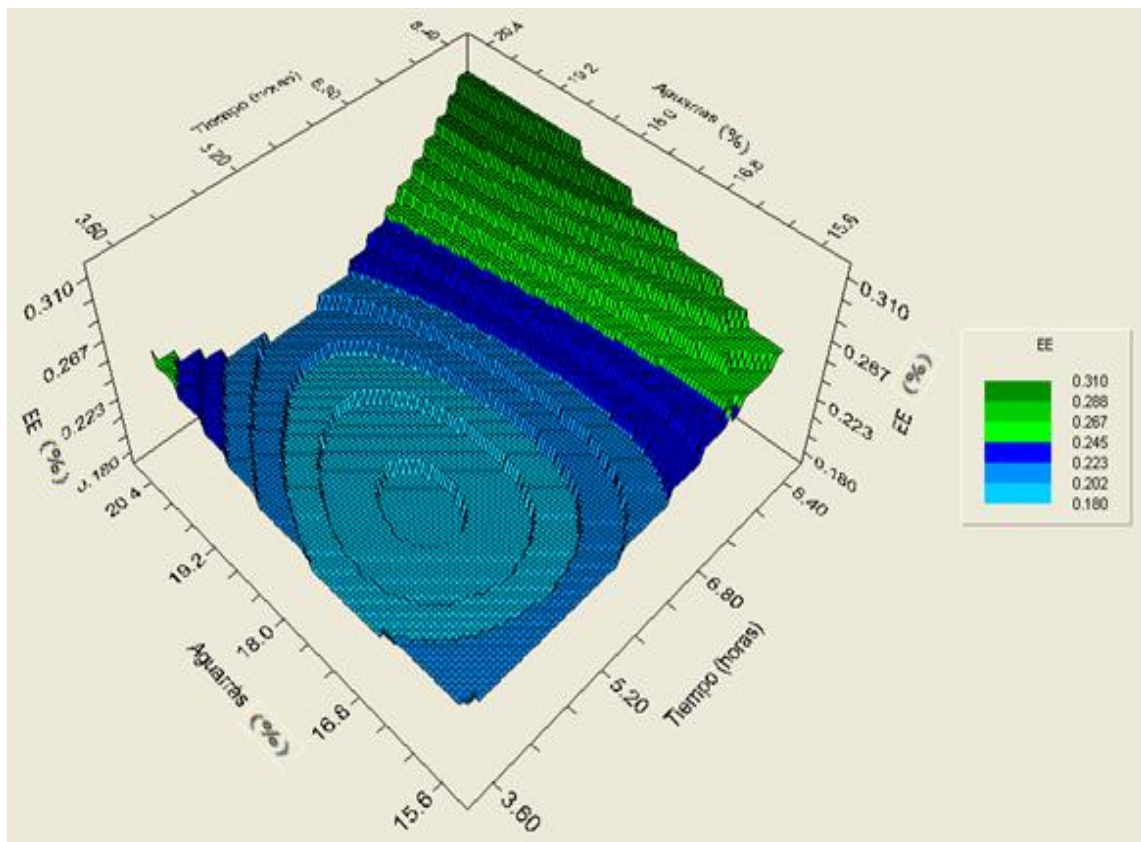
Tabla LXXXIV. **Correlación, coeficiente y rangos de la figura 19**

Correlación	Densidad (g/ml)	Tiempo (h)	Aguarrás (%)	R ² Corregido
Densidad (A,T) = 0,903 + 0,001TA	0,92-1,12	3,60-8,40	15,6-20,4	0,249

Fuente: elaboración propia, tabla LXVIII-LXIX.

- Determinación de los elementos extraños

Figura 20. **Comportamiento de los elementos extraños**



Fuente: elaboración propia, tabla XXXVIII-XLI.

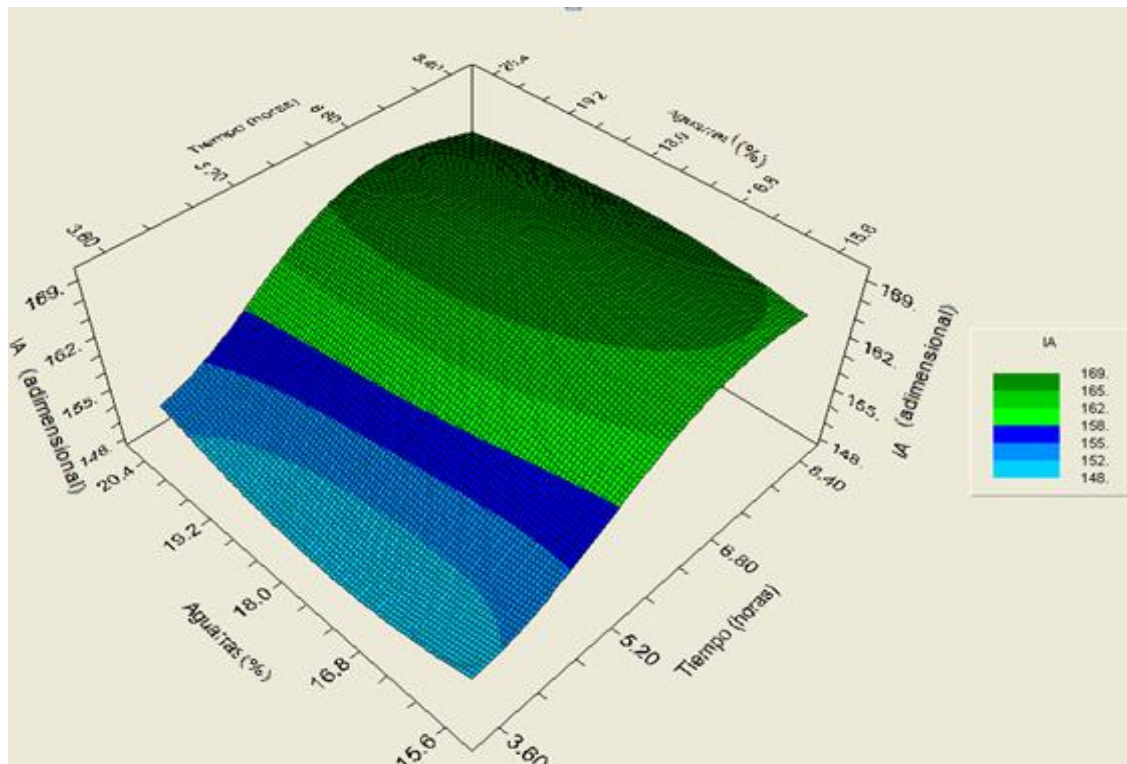
Tabla LXXXV. **Correlación, coeficiente y rangos de la figura 20**

Correlación	EE (%)	Tiempo (h)	Aguarrás (%)	R ² Corregido
$EE(A,T)=0,6450,170T+0,016T^2$	0,18-0,31	3,60-8,40	15,6-20,4	0,424

Fuente: elaboración propia, tabla LXXVII-LXXVIII.

- Determinación del índice de acidez

Figura 21. **Comportamiento del Índice de acidez**



Fuente: elaboración propia, tabla XXXIV-XXXVII.

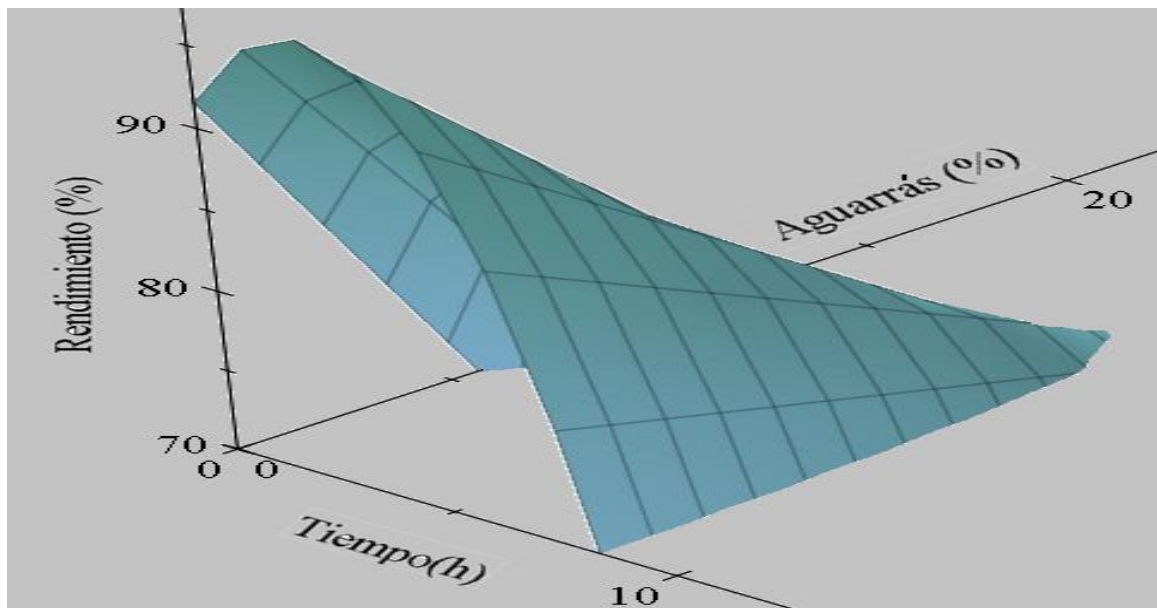
Tabla LXXXVI. **Correlación, coeficiente y rangos de la figura 21**

Correlación	$\hat{I}(A,T)=-12,890+18,568T+11,751A-1,246T^2-0,310A^2$
Índice de acidez (adimensional)	148-170
Tiempo (h)	3,60-8,40
Aguarrás (%)	15,6-20,4
R² Corregido	0,970

Fuente: elaboración propia, tabla LXXVII-LXXVIII.

- Determinación del rendimiento

Figura 22. **Comportamiento del rendimiento**



Fuente: elaboración propia, tabla XXX-XXXIII.

Tabla LXXXVII. **Correlación, coeficiente y rangos de la figura 22**

Correlación	Rendimiento (A,T) = 91,565 +4,298T-3,836A-0,83T ² +0,433AT
Rendimiento (%)	70-100
Tiempo (h)	3,60-8,40
Aguarrás (%)	15,6-20,4
R² Corregido	0,813

Fuente: elaboración propia, tabla LXXI-LXXII.

- Determinación del punto de reblandecimiento

Tabla LXXXVIII. **Comportamiento del punto de reblandecimiento**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Punto de reblandecimiento (°C)					
		R1	R2	R3	R4	\bar{X}	σ
15,6	6,0	75	74	74	75	74,50	±0,33
16,0	4,0	70	71	70	70	70,25	±0,25
16,0	8,0	77	76	77	78	77,0	±0,67
18,0	3,6	69	68	68	69	68,5	±0,33
18,0	6,0	73	73	73	72	72,75	±0,25
18,0	8,4	78	78	78	77	77,75	±0,25
20,0	4,0	72	71	71	71	71,25	±0,25
20,0	8,0	74	75	75	74	74,50	±0,33
20,4	6,0	75	74	74	75	74,50	±0,33

Fuente: elaboración propia, tabla XVIII.

Tabla LXXXIX. **Correlación, coeficiente y rangos del punto de reblandecimiento**

Correlación	Punto de Reblandecimiento (°C)	Tiempo (h)	Aguarrás (%)	R ² Corregido
PR(T)=64,244+1,533T	68,0-78,0	3,60-8,40	15,6-20,4	0,839

Fuente: elaboración propia, tabla LXXX-LXXXI.

- **Determinación del color**

Tabla XC. **Mediciones del color de la colofonia obtenida**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Color (unidades de color)				Observación
		R1	R2	R3	R4	
15,6	6,0	N	N	M	N	No deseable
16,0	4,0	N	N	N	N	No deseable
16,0	8,0	M	M	N	M	No deseable
18,0	3,6	M	N	M	M	No deseable
18,0	6,0	M	M	M	M	No deseable
18,0	8,4	N	N	N	N	No deseable
20,0	4,0	N	N	N	M	No deseable
20,0	8,0	M	M	M	M	No deseable
20,4	6,0	N	N	N	N	No deseable

Fuente: elaboración propia, tabla XIX.

- Determinación de las cenizas totales

Tabla XCI. **Mediciones de las cenizas totales de la colofonia obtenida**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Cenizas totales (% w/w)						Observación
		R1	R2	R3	R4	\bar{X}	σ	
15,6	6,0	0,06	0,10	0,07	0,00	0,0575	$\pm 1,76E-03$	Deseable
16,0	4,0	0,08	0,07	0,15	0,06	0,0900	$\pm 1,67E-03$	Deseable
16,0	8,0	0,09	0,05	0,06	0,01	0,0575	$\pm 1,09E-03$	Deseable
18,0	3,6	0,07	0,05	0,03	0,03	0,0450	$\pm 3,67E-04$	Deseable
18,0	6,0	0,07	0,06	0,08	0,02	0,0575	$\pm 6,92E-04$	Deseable
18,0	8,4	0,04	0,03	0,00	0,05	0,0300	$\pm 4,67E-04$	Deseable
20,0	4,0	0,12	0,06	0,07	0,05	0,0750	$\pm 9,67E-04$	Deseable
20,0	8,0	0,11	0,06	0,06	0,02	0,0625	$\pm 1,36E-03$	Deseable
20,4	6,0	0,04	0,05	0,04	0,05	0,0450	$\pm 3,33E-05$	Deseable

Fuente: elaboración propia, tabla XX.

- Determinación de las trazas de aguarrás

Tabla XCII. **Mediciones de las trazas de aguarrás para la colofonia obtenida**

Aguarrás (%)	Tiempo (h)	Trazas de Aguarrás	Observación
15,6	6,0	No detectado	Deseable
16,0	4,0	No detectado	Deseable
16,0	8,0	No detectado	Deseable

Continuación de la tabla XCII.

18,0	3,6	No detectado	Deseable
18,0	6,0	No detectado	Deseable
18,0	8,4	No detectado	Deseable
20,0	4,0	No detectado	Deseable
20,0	8,0	No detectado	Deseable
20,4	6,0	No detectado	Deseable

Fuente: elaboración propia, tabla XXIII.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl*) para la obtención y caracterización de colofonia (*Rosyn*) en donde se determinaron las propiedades fisicoquímicas y el rendimiento de la misma.

La destilación de la resina de pino ocote (*Pinus oocarpa Schiede ex Schlttdl*) da como productos primarios colofonia (*Rosyn*) y aguarrás los cuales poseen un punto de ebullición de 160 y 140 grados centígrados cada uno respectivamente, siendo esta la razón por la cual en la experimentación se trabajó la mezcla de agua-aguarrás-resina, ya que con esta el punto de ebullición se logró disminuir a un rango aproximado de 110– 120 grados centígrados. Se utilizó un aparato para destilación con balón *Kjeldahl* de 500 mililitros conectado a un sistema de refrigeración.

5.1. Pruebas de rendimiento

La determinación del rendimiento de la colofonia, se realizó comparando el peso de la mezcla en el balón de Kjeldahl y el peso de la colofonia ambos obtenidos por medio de una balanza analítica a una temperatura de 25 grados centígrados. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente distintas en rendimiento a un nivel de confianza del 95 por ciento.

La tabla LXXXVII nos indica que la correlación obtenida fue $\text{Rendimiento}(A,T) = 91,565 + 4,298T - 3,836A - 0,83T^2 + 0,433AT$, el cual explica muy bien el comportamiento del rendimiento debido a su R^2 corregido de 0,813.

Al sacar la primera derivada de la correlación e igualarla a cero encontramos que la figura 22 posee un punto mínimo el cual es de 64,50 por ciento con un tiempo de 8,9 horas y un porcentaje de aguarrás de 24,04 por ciento. Por medio de la correlación se puede verificar como ambas variables tienen un efecto negativo en el rendimiento y que ambas son significativas para este. El patrón comparativo posee un rendimiento de 73 por ciento por lo tanto la mezcla que más se asemeja es la de 15,6 por ciento de aguarrás con un tiempo de 6 horas (mezcla No.1), ya que su rendimiento fue de 71 por ciento obteniendo así un 97,06 por ciento de similitud entre ambos.

5.2. Pruebas de densidad

La determinación de la densidad de la colofonia, se realizó obteniendo el peso de la colofonia en 4 mililitros de la misma a una temperatura de 25 grados centígrados. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente distintas en densidad a un nivel de confianza del 95 por ciento.

El patrón comparativo posee una densidad de 0,9885 gramos por mililitro por lo tanto la mezcla que más se asemeja es la de 15,6 por ciento de aguarrás con un tiempo de 6 horas (mezcla No.1), ya que su densidad fue de 0,9870 gramos por mililitro obteniendo así un 99,85 por ciento de similitud entre ambos. La tabla LXXXIV nos indica que para la densidad solamente se encuentra significancia del efecto lineal de la interacción entre el tiempo y la proporción de aguarrás, aunque la capacidad predictiva del modelo estimado: $Densidad(A,T) = 0,903 + 0,001TA$, es insatisfactoria debido a que R^2 corregido es de 0,27. De la correlación se tiene que por cada unidad que aumenta el producto del tiempo por la proporción de aguarrás, la densidad aumenta 0,001 unidades.

Al observar la figura 19 se determina que existe un máximo de la densidad en 1,12 gramos por mililitro que corresponde a una mezcla de 19,2 por ciento de aguarrás y un tiempo de 8 horas (mezcla 5). También se observa que al dejar constante un porcentaje de aguarrás el efecto del tiempo tiende a crear una mayor pronunciación de la curva respecto a la densidad.

5.3. Pruebas de dureza

La determinación de la dureza de la colofonia, se realizó por medio de un durómetro (unidades shore D) a una temperatura de 25 grados centígrados. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente distintas en dureza a un nivel de confianza del 95 por ciento.

La tabla LXXXIII nos indica que para la dureza solamente se encuentra significancia del efecto lineal del tiempo, aunque la capacidad predictiva del modelo estimado: $Dureza(A,T) = 61,538 + 3,452T$, es insatisfactoria debido a que R^2 corregido es de 0,59. De la correlación se obtiene que por cada hora que aumente el tiempo aumentará 3,452 la dureza.

El patrón comparativo posee una dureza de 83 shore D por lo tanto la mezcla que más se asemeja es la de 15,6 por ciento de aguarrás con un tiempo de 6 horas (mezcla No.1), ya que su dureza fue de 83,5 shore D obteniendo así un 99,40 por ciento de similitud entre ambos.

Al observar la figura 18 se determina que existe una meseta en la curva influida únicamente por el tiempo entre 8 a 8,40 horas. También se observa que al dejar constante un porcentaje de aguarrás el efecto del tiempo es el único que tiende a crear una mayor pronunciación de la curva respecto a la dureza.

5.4. Pruebas de índice de acidez

La determinación del índice de acidez de la colofonia, se realizó por medio de la disolución de 10,0 gramos de colofonia en 50 mililitros de una mezcla formada por volúmenes iguales de alcohol y éter, y luego se utilizó volumetría usando como indicador fenolftaleína y como titulante hidróxido de potasio 0,1 molar. Todo se realizó a una temperatura de 25 grados centígrados. El 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 1,0 gramos de sustancia. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente distintas en el índice de acidez a un nivel de confianza del 95 por ciento.

La tabla LXXXVI nos indica que para el índice de acidez se encuentra significancia del efecto del tiempo, tiempo cuadrático, porcentaje de aguarrás y porcentaje de aguarrás cuadrático, obteniendo que la capacidad predictiva del modelo: $I(A,T) = -12,890 + 18,568T + 11,751A - 1,246T^2 - 0,310A^2$ es satisfactoria debido a que R^2 corregido es de 0,97. Al derivar e igualar a cero la correlación se obtiene que esta posee un máximo en 7,45 horas y 18,95 por ciento de aguarrás para un valor de Índice de acidez de 169.

El patrón comparativo posee un índice de acidez entre 145-180 siendo el medido en la muestra comercial 160 por lo tanto la mezcla que más se asemeja a la muestra comercial es la de 15,6 por ciento de aguarrás con un tiempo de 6 horas (mezcla No.1), ya que su índice de acidez medio fue de 160,28 obteniendo así un 99,83 por ciento de similitud entre ambos. Además, es importante resaltar que todas las mezclas entran en el rango del índice de acidez del patrón comparativo.

5.5. Pruebas de elementos extraños

La determinación de los elementos extraños de la colofonia se realizó una temperatura de 25 grados centígrados, por medio de la pulverización de 500,0 gramos de colofonia la cual luego se inspeccionó con la ayuda de una lupa (x6) en busca de elementos extraños, por último se pesaron los elementos extraños. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente distintas en el porcentaje de elementos extraños a un nivel de confianza del 95 por ciento. El patrón comparativo posee un porcentaje de elementos extraños de 2 como se puede observar en la figura 20 todas las mezclas con sus respectivos tiempos entran por debajo del parámetro del patrón comparativo considerándose entonces como satisfactorias.

La tabla LXXXV nos indica que para los elementos extraños únicamente se encuentra significancia del efecto del tiempo y que la capacidad predictiva del modelo: $EE(A,T)=0,6450,170T+0,016T^2$ es insatisfactoria debido a que R^2 corregido es de 0,424. Al observar la figura 19 se ve que tiene un mínimo en 19,2-16,6 por ciento aguarrás y 4,0-6,0 horas para la cual los elementos extraños son de 0,180 por ciento. La baja capacidad predictiva del modelo se debe a que la aparición o no de los elementos extraños depende aún más del manejo y almacenamiento que se le da a la resina que del porcentaje de aguarrás y del tiempo de destilación.

5.6. Prueba del punto de reblandecimiento

La determinación del punto de reblandecimiento de la colofonia se realizó por medio del método de bola-anillo. El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son

estadísticamente distintas en el punto de reblandecimiento a un nivel de confianza del 95 por ciento. 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 cm cuando se calienta a una velocidad determinada dentro de un baño de agua destilada.

En el presente trabajo de graduación se utilizó agua destilada recién hervida, para evitar la formación de burbujas sobre el espécimen, en este caso colofonia. Se usó baño con agua destilada recién hervida, para ablandamiento esperado entre 30 y 80 grados centígrados; el agua destilada se utilizó debido a que el punto de reblandecimiento esperado es de 71-77 grados centígrados. La temperatura al comenzar el baño fue de 5 ± 1 grados centígrados. Se llenó hasta 105 ± 3 milímetros

La tabla LXXXIX nos indica que para el punto de reblandecimiento únicamente se encuentra significancia del efecto del tiempo y que la capacidad predictiva del modelo estimado: $PR(T) = 64,244 + 1,533T$ es satisfactoria debido a que R^2 corregido es de 0,839. De la correlación se obtiene que por cada hora que se incremente el tiempo aumentará 1,533 el punto de reblandecimiento.

El patrón comparativo posee un punto de reblandecimiento entre 71-77 grados centígrados y la muestra comercial lo posee de 75 grados centígrados, a la muestra comercial se le parecen la mezcla 1, mezcla 8 y mezcla 9 todas con media de 74,5 grados centígrados obteniendo así un 99,33 por ciento de similitud entre estas; es de relevancia el aclarar que los tiempos de estas mezclas se encuentran entre 6-8 horas.

Al observar la tabla LXXXVIII casi todas las mezclas con sus respectivos tiempos entran por debajo del parámetro del patrón comparativo considerándose entonces como satisfactorias con excepción de la mezcla 4 la cual posee un tiempo de 3,6 horas.

5.7. Pruebas de cenizas totales

La determinación de las cenizas totales se llevo a cabo en el laboratorio de Bromatología, edificio M6 de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Las cenizas totales se determino introduciendo 2,00 gramos de colofonia pulverizada en un crisol de platino dejando que se desecara por 2 horas a 100-105 grados centígrados y después se calcinó en un horno mufla, a una temperatura de 600 ± 25 grados centígrados. Después de cada calcinación, se dejó enfriar el crisol en el desecador.

El análisis de varianza por el método de Tukey demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente iguales en el porcentaje de cenizas totales a un nivel de confianza del 95 por ciento. Este resultado nos muestra que las cenizas totales son independientes del porcentaje de aguarrás y del tiempo de destilación de las mezclas. Las variables que si influyen directamente sobre las cenizas totales son la forma de recolección y sus cuidados al almacenar la resina, además de la composición del duramen del árbol.

Debido a que son estadísticamente iguales no existe correlación para esta variable de respuesta. Los resultados se ven directamente influidos por el tamiz utilizado en la filtración de la resina, siendo necesario para obtener estos resultados deseados en comparación al patrón haber filtrado tres veces la

resina con tamices No. 50, 100 y 270, aunque aun así los valores de cenizas totales quedaban altos por lo cual se decidió filtrarlo la colofonia obtenida al salir del aparato de destilación con un tamiz No. 325. Con este último filtrado se obtuvo en comparación al patrón un resultado deseado como se puede verificar en la tabla XCI.

5.8. Pruebas de color

Para la prueba de color se utilizó un análisis cualitativo el cual consiste en comparar patrones de colofonia estandarizados contra la colofonia obtenida. Los resultados no fueron los deseados como se observa en la tabla XC. Debiéndose estos resultados al manejo inadecuado de almacenamiento de la resina, al efectuarse la recolección de materia prima se observó claramente que el almacenamiento de esta era en toneles metálicos oxidados entrando así en contacto la resina con ácido férrico causando una reacción redox y cambiando como resultado la coloración de la colofonia.

5.9. Prueba de trazas de aguarrás

Para la prueba de trazas de aguarrás se realizó un análisis cualitativo por medio de cromatografía gas-sólido, en la Unidad de Análisis Instrumental (UAI), el cual pertenece a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Primero se realizó la cromatografía del aguarrás obtenida de la destilación, el cual muestra como se ve en la figura 28 este muestra una composición principalmente por una mezcla de hidrocarburos terpénicos, mayormente alfa y betapinenos. Al observar la figura 28 se obtuvo que un disolvente que no interfería con la determinación de las trazas de aguarrás sería el n-heptano, la disolución de la colofonia en el n-heptano fue de 1:10.

Al correr la disolución de las distintas mezclas en el cromatógrafo se obtuvo que en ningún caso se detectó otro pico que no fuera el del n-heptano determinando así que no existían trazas de aguarrás. Respecto al patrón comparativo este fue un resultado deseado como se observa en la tabla XCII.

CONCLUSIONES

1. El análisis de varianza y el análisis estadístico determinaron que para el rendimiento y la densidad la mezcla óptima es la número uno con un 71 por ciento y 0,9870 gramos por mililitro respectivamente.
2. La colofonia *Rosyn* obtenida en laboratorio posee una densidad máxima de 1,12 gramos por mililitro, correspondiente a una mezcla de 19,2 por ciento de aguarrás en un tiempo de 8 horas.
3. Para la dureza la única variable significativa es el tiempo; donde se obtuvo que por cada hora que aumente el tiempo aumentará 3,452 la dureza.
4. El análisis de varianza y el análisis estadístico determinaron que la mezcla óptima para la dureza y del índice de acidez es la número uno con 83,5 shore D y 160,28 respectivamente.
5. El análisis de varianza y el análisis estadístico determinaron que las mezclas óptimas para el punto de reblandecimiento son la 1, 8 y 9 todas con media de 74,5 grados centígrados.
6. El patrón comparativo posee un porcentaje de elementos extraños de 2 como se puede observar en la figura 19 todas las mezclas con sus respectivos tiempos entran por debajo del parámetro del patrón comparativo considerándose como satisfactorias.

7. La cromatografía gas-sólido indicó por medio de análisis cualitativo que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos no poseía trazas de aguarrás.
8. El color de la colofonia obtenida, presentan colores de mayor intensidad que el color del patrón comparativo, siendo desfavorable ya que pierde valor comercial. Debido al almacenamiento inapropiado de la resina después de su recolección.
9. El análisis de varianza demostró que la colofonia obtenida a diferentes mezclas y tiempos son estadísticamente iguales en el porcentaje de cenizas totales a un nivel de confianza del 95 por ciento. Indicando así la independencia de las cenizas totales con respecto al porcentaje de aguarrás y tiempo. Solamente depende de la recolección de la resina y de su filtración.
10. La mezcla que cumple con más características evaluadas en referencia al patrón utilizado es la número uno (74,29 por ciento colofonia; 15,60 por ciento aguarrás; 10,11 por ciento agua desmineralizada con 6 horas) por lo tanto se considera la formulación óptima para su elaboración.

RECOMENDACIONES

1. Promover la investigación para realizar la caracterización de la colofonia de otras especies de pino, para comparar el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas, así como para árboles de la misma especie, de diferentes regiones.
2. Realizar un estudio de la resina en el cual se cuantifique la viscosidad, y componentes como: ésteres de ácidos resínicos y grasos, con la finalidad de incrementar el tema tratado en el presente trabajo de graduación.
3. Promover los estudios que utilicen la colofonia, *Rosyn*, como materia prima en diversos campos de uso debido a que suscitan el alto desarrollo forestal sostenible con que Guatemala cuenta, para que lograr mejor la calidad de vida, especialmente de aquellos que habitan el área rural.
4. Dar capacitaciones a productores de las áreas rurales acerca de los diversos tipos de métodos que existen actualmente para la obtención de la colofonia, *Rosyn*, con el objeto de optimizar recursos, tiempo y rendimiento.
5. Realizar un estudio acerca de la influencia de agua desmineralizada en la mezcla resina-agua-aguarrás para la obtención de la colofonia y del efecto de está en sus propiedades.
6. Se debe analizar la posibilidad de crear cooperativas que se dediquen a la resinación de árboles como la ya existentes en Honduras, puesto que

estas le dan fortaleza económica a dicha actividad. Además permitiendo que existan diversas cooperativas se lograría proveer a la actual planta de destilación existente en Zacapa con resina de alta calidad para lograr posicionarse mejor a nivel mundial. Es decir, no competir con cantidad debido a que China maneja dicho mercado sino competir con calidad como lo hace actualmente Honduras.

7. Elaborar para los productores de Granados, Baja Verapaz un diseño de equipo para la destilación de la resina de pino de ocote, *Pinus oocarpa Schiede ex Schltzl*, que contemple la alta inflamabilidad de la operación y que sea de bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

1. AJA, Roderico A. *Destilación de la resina de pino ocote (Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl) extraída en el municipio de Granados, Baja Verapaz para la obtención y caracterización de colofonia*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 75 p.
2. CHACIN, Franklin. *Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta*. Volumen II. Venezuela: McGraw-Hill 1993. 100 p.
3. Comité de Expertos de la Farmacopea de los Estados Unidos de América. *USP 30-NF 25*. 3a ed. Volumen 1. Estados Unidos: City Press Baltimore, 2007. 1464 p.
4. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. *Estudio técnico evaluación y mejoras al sistema de procesamiento de resina en el municipio de Santa Cruz El Chol, Baja Verapaz*. ICAITI, Proyecto de Desarrollo Forestal Comunal, 1979. 125 p.
5. McCABE, Warren L. SMITH, Julian; METER, Harriot. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2000. 1114 p.

6. Ministerio de Sanidad y Consumo. *Real Farmacopea Española*. 3a ed. España: Boletín Oficial del Estado, 2005. 100 p.
7. MONTGOMERY, Douglas; HINES, William. *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. 3a ed. México: Continental, 1994. 834 p.
8. PERRY, Robert H; GREEN, Don. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a ed. México: McGraw Hill, 1999. 250 p.
9. TREYBAL, Robert E. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw Hill, 2000. 862 p.
10. SUCHINI, José Manuel. *Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza de Pino Caribe (Pinus Caribaea) a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002. 61 p.
11. VILLALBA, Rodolfo. *Desarrollo de un producto adhesivo para una aplicación específica en la industria papelera que utiliza como base una materia prima nacional: Colofonia*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1994. 70 p.

APÉNDICE

APÉNDICE 1. Cronograma

Nota: Obtención de colofonia, Formulación del Barniz Fluorado,
 Análisis Microbiológico, Actividades conjuntas

ACTIVIDAD	MES I				MES II				MES III				MES IV			MES V		MES VI			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	3	4	1	2	3	4
Corrección y Aprobación del Protocolo																					
Inicio de la investigación																					
Recolección de Datos Teóricos																					
Obtención de la colofonia (LIXVE)																					
Caracterización fisicoquímica de la colofonia (LIXVE)																					
Desarrollo de los modelos de la obtención colofonia																					
Formulación del barniz dental fluorado (LIXVE)																					
Análisis químico																					
Análisis Toxicológicos de la muestras																					
Análisis Microbiológicos																					
Evaluación de calidad																					
Compilación de datos y análisis estadístico																					
Interpretación y conclusiones finales																					
Período de correcciones																					
Presentación y aprobación final																					

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 2. PRESUPUESTO

Costos para la obtención de la materia prima

Cantidad	Descripción	Costo (Quetzales)
140 Km	Combustible a Q30,00/galón (35 Km/ galón)	150,00
1 tiempo	Alimentación, Q30,00	30,00
1 y 1/2 bote	Colofonia	202,50
	Sub- total	Q382,50

Fuente: elaboración propia.

Costos para el equipo

Cantidad	Equipo	Descripción	Costo de depreciación por 6 meses (Quetzales)
1	Balanza analítica	Marca: Adventur serie: G1231202040133	1839,50
3	Plancha de calentamiento	Marca Corning, modelo PC-620	5836,74
1	Campana de extracción	Marca Serproma de motor con capacidad de ¼ Hp	3675,70
3	Mantas de Calentamiento	Marca Cienytec Básicas Serie EM	4200,00
4	Aparato para destilación con balón Kjeldahl	Balón de 500 mL. Marca Figursa	1250,00
		Sub-total	Q16801,94

Fuente: elaboración propia.

Costos para la cristalería

Cantidad	Cristalería	Descripción	Costo (Quetzales)
2	Probetas	Vidrio 50mL	200,00
2	Probetas	Vidrio 100 mL	508,00
2	Pipetas volumétricas	Vidrio 25 mL	89,00
3	Beackers	Vidrio 25mL	90,00
3	Beackers	Vidrio 100mL	120,00
3	Beackers	Vidrio 250 mL	150,00
2	Beackers	Vidrio 600 mL	140,00
2	Varillas de agitación	Vidrio	20,60
1	Espátula	Mango de madera	62,00
1	Pizeta	Polietileno	23,52
3	Termómetro	Mercurio	450,00
1	Frasco	Perlas de ebullición	170,00
3	Erlenmeyers	Vidrio 150mL	210,00
Sub-total			Q2233,12

Fuente: elaboración propia.

Costos de servicios prestados

Servicio	Número de muestras	Costos unitario (Quetzales)	Costo (Quetzales)
Determinación de cenizas totales (Bromatología)	36	Q 45,00	Q1620,00
Determinación de aguarrás (UAI)	9	Q300,00	Q2700,00
Sub-total			Q4320,00

Fuente: elaboración propia.

Costos varios

Cantidad	Articulo	Descripción	Costo (Quetzales)
5	Recipientes	Botes plásticos	101,25
1	Parafilm	Rollo	245,00
9	Frascos	De porcelana	90,00
27	Cucharitas	De porcelana	175,00
36	Frascos	De vidrio	800,00
2	Rollos	Papel aluminio	84,00
1	Maskintape	Rollo	6,75
1	Marcador	Permanente	12,30
1	Tijeras		15,70
1	Mascarillas	Caja	98,75
3	Guantes látex	Caja	210,00
10	Toallitas	Marca Cantel	100,00
Sub-total			Q1938,75

Fuente: elaboración propia.

Costos de reactivos

Cantidad	Reactivo	Descripción	Costo (Quetzales)
4	Aguarrás	Galones	260,00
1	Alcohol Etílico	2,5L	220,00
2	Agua desmineralizada	18,9 L	25,40
1	Éter dietílico	2,5L	750,00
1	Hidróxido de potasio	1 kg	805,00
Sub-total			Q2060,40

Fuente: elaboración propia.

Costos de energía eléctrica

Equipo	Potencia (watt)	No. De horas	Kw-H totales	Costo Kw-H	Costo Total
Balanza analítica	12	12	25,00	1,67	35,07
Plancha de calentamiento	1113	48	53,42	1,67	89,21
Campana de Extracción	900	48	86,40	1,67	144,29
Sistema de Enfriamiento	900	216	194,40	1,67	324,65
Manta de Calentamiento	1113	216	240,41	1,67	401,48
Sub-total				Q994,70	

Fuente: elaboración propia.

Costos totales

Descripción	Sub-Totales (Quetzales)
Materia prima	382,50
Cristalería	2233,12
Equipo	16801,94
Reactivos	2060,40
Energía Eléctrica	994,70
Varios	1938,75
Servicios prestados	4320,00
Total	Q28731,41

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE 3 FOTOGRAFÍAS E INFORMACIÓN COMERCIAL

Muestra de Colofonia, *Rosyn*, Mezcla comercial



Fuente: elaboración propia.

Colofonia obtenida a nivel laboratorio



Fuente: elaboración propia.

Nota: Repetición No.1, tratamientos del 1 al 9 de izquierda superior a derecha inferior, respectivamente.

Mezcla No.3 Colofonia-Agua-Aguarrás



Fuente: elaboración propia.

Aparato de destilación con balón Kjeldahl 500 mL



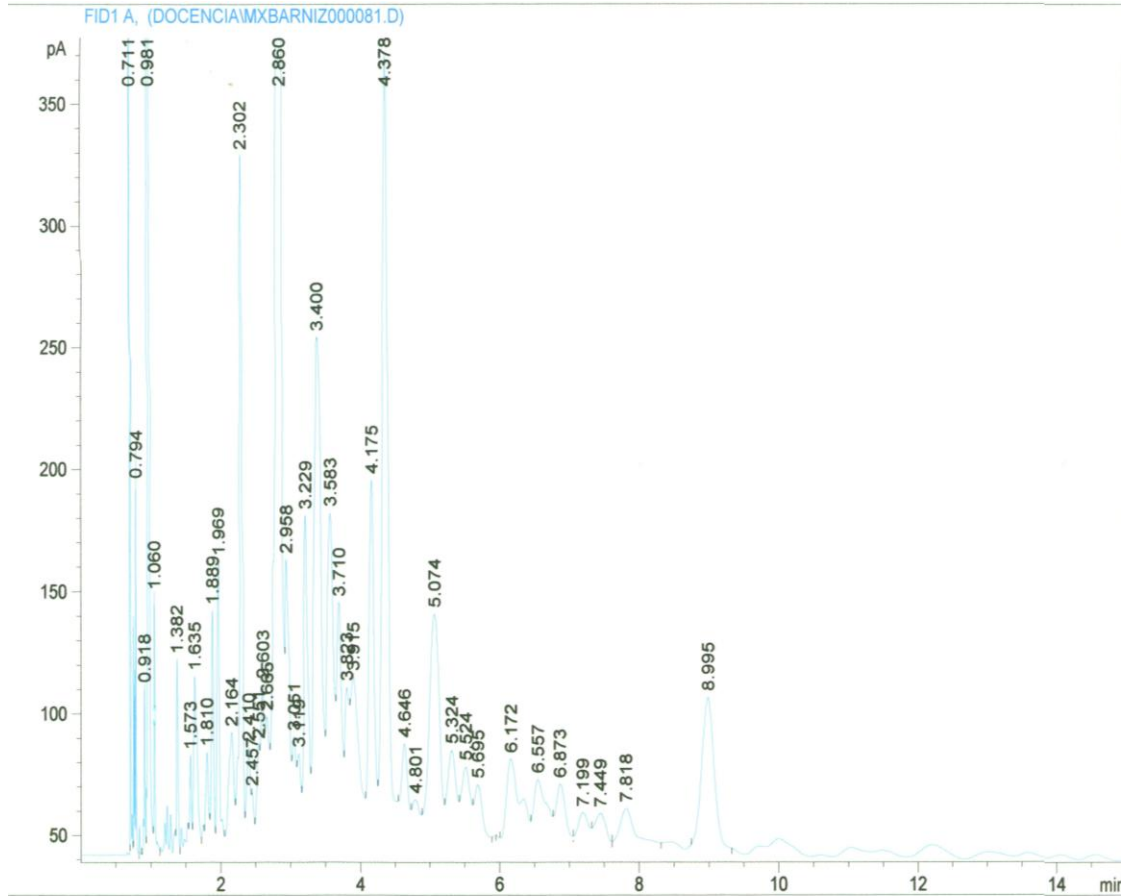
Fuente: elaboración propia.

Índice de acidez



Fuente: elaboración propia.

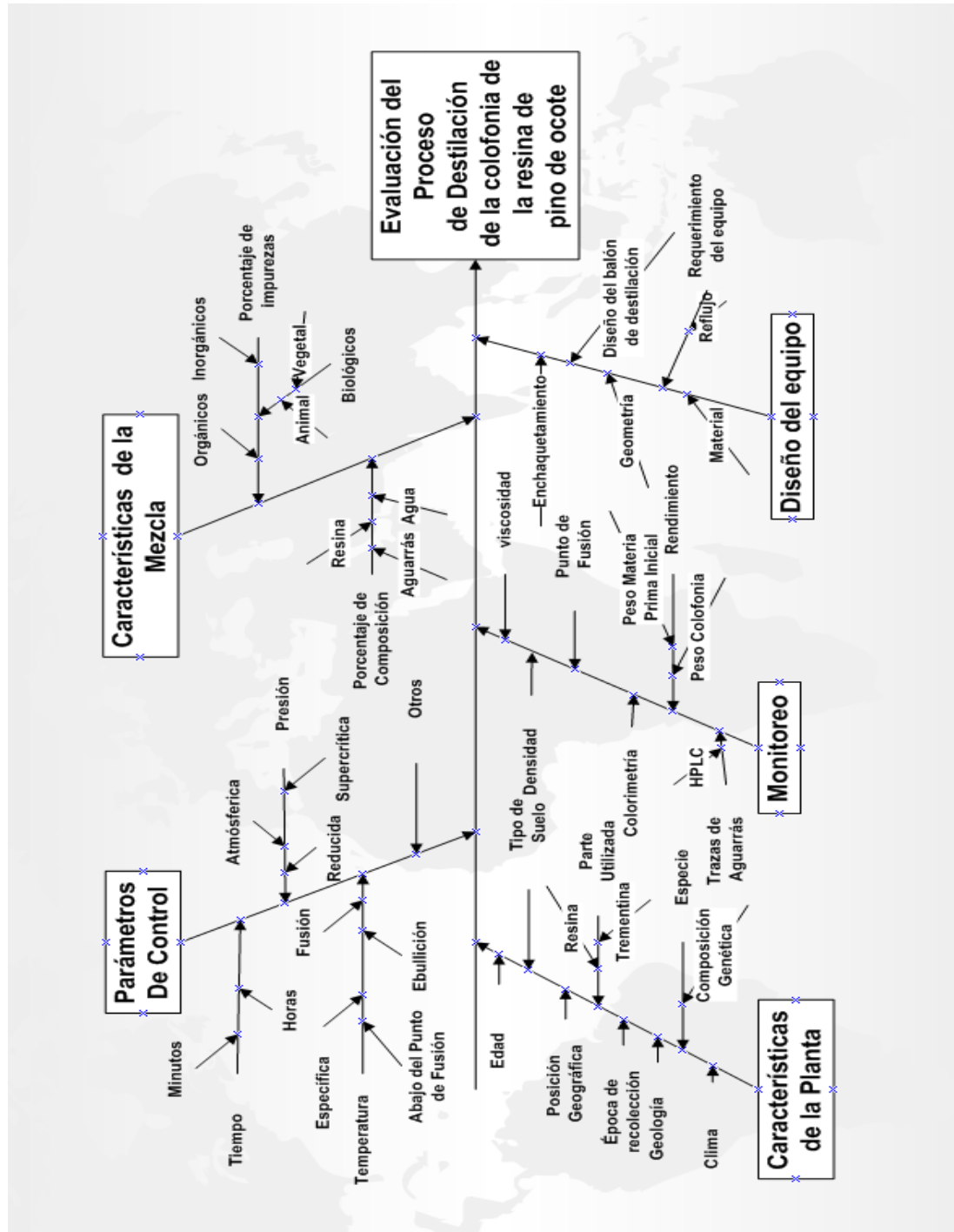
Cromatografía gaseosa del aguarrás



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

ANEXO 1 DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



Fuente: elaboración propia.

