



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

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE
COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*)
PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA**

Cecilia Dolores Vaquero Rivas

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

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE
COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*)
PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CECILIA DOLORES VAQUERO RIVAS

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*) PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 05 de febrero de 2016.

Cecilia Dolores Vaquero Rivas



Guatemala, 08 de febrero de 2018

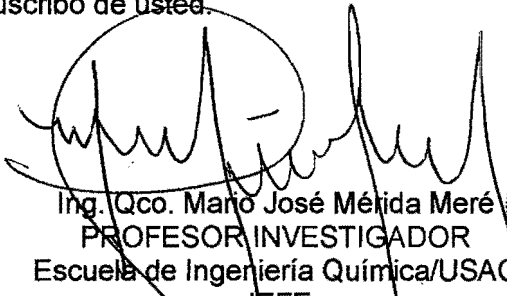
Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al Informe Final del trabajo de graduación **“EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*) PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA”**, de la estudiante de Ingeniería Química Cecilia Dolores Vaquero Rivas quien se identifica con CUI No. 2137188120501 y registro académico número 2010-21233.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
PROFESOR INVESTIGADOR
Escuela de Ingeniería Química/USAC
JEFE



INGENIERO QUÍMICO
Mario José Mérida Meré
Colegiado 1411

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



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



INGENIERA QUÍMICA
Telma Maricela Cano M.
Colegiada 433



Guatemala, 22 de mayo de 2018.
Ref. EIQ.TG-IF.016.2018.

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

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **0102-2015** 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
-Modalidad Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Cecilia Dolores Vaquero Rivas**.
Identificada con número de carné: **2137 18812 0501**.
Identificada con registro académico: **2010-21233**.
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

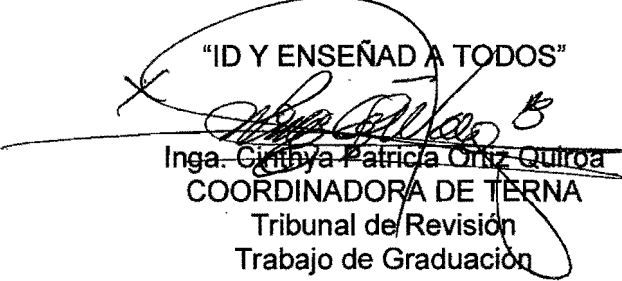
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO
DE COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*)
PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA**

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

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



Nota: El Ing. Williams Álvarez firma en nombre de la Inga. Cinthya Ortiz, ya que ella goza de licencia por maternidad.
C.c.: archivo





Ref.EIQ.TG.021.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **CECILIA DOLORES VAQUERO RIVAS** titulado: **"EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DEL ÁRBOL DE TECA (*Tectona grandis*) PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director

Escuela de Ingeniería Química
FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Guatemala, agosto de 2018

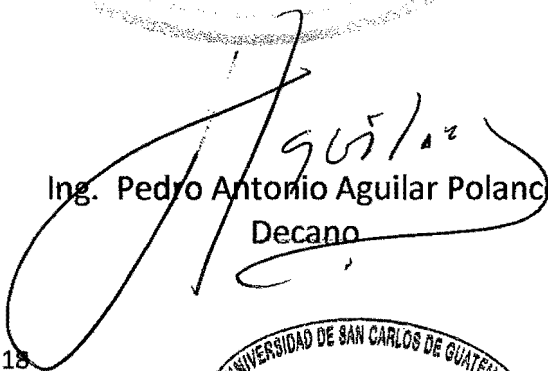
Cc: Archivo
CSWD/ale



DTG.287.2018

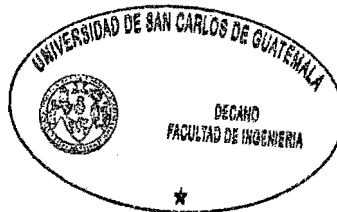
El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EXTRACCIÓN Y CARATERIZACIÓN FISICOQUÍMICA A ESCALA LABORATORIO DE COLORANTE NATURAL DE LA HOJA DE ÁRBOL DE TECA (Tectona grandis) PROVENIENTE DE LA COSTA SUR DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Cecilia Dolores Vaquero Rivas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Todo se lo debo a Él.

Mis padres

Mauricio Vaquero y Ana de Vaquero, por el amor y apoyo ilimitado.

Mis hermanos

Por su apoyo en todo momento: Beatriz Vaquero, Marcela Vaquero y Eduardo Vaquero.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma mater.

Facultad de Ingeniería

En especial a la Escuela de Ingeniería
Química.

Mis amigos de la facultad

Por su amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES.....	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Teca	5
2.1.1 Madera y hojas.....	6
2.1.1.1 Aspecto.....	6
2.1.1.2 Descripción morfológica de la hoja.....	6
2.1.1.3 Propiedades.....	8
2.1.1.4 Aplicaciones.....	8
2.1.2 Origen	9
2.1.3 Requerimientos	9
2.1.4 Multiplicación.....	10
2.1.5 Mantenimiento.....	10
2.1.6 Riesgos y peligros	12
2.2 Colorantes naturales.....	12
2.2.1 Origen	13
2.2.2 Historia.....	13
2.2.3 Clasificación	15
2.2.3.1 Colorantes vegetales.....	15

	2.2.3.1.1	Caratenoides	15
	2.2.3.1.2	Clorofílicos	15
	2.2.3.1.3	Antocianínicos.....	16
	2.2.3.1.4	Flavonoideos	17
	2.2.3.1.5	Betalainicos	17
	2.2.3.1.6	Tanínicos	18
	2.2.3.2	Colorantes animales	19
	2.2.3.2.1	Organismos marinos.....	19
	2.2.3.2.2	Insectos	19
	2.2.3.3	Colorantes de origen mineral	19
	2.2.3.3.1	Dióxido de titanio	20
	2.2.3.3.2	Azul ultramarino	20
2.3		Extracción, purificación e identificación de los colorantes.....	20
	2.3.1	Tipos de extracciones en plantas	20
	2.3.2	Purificación e identificación	21
2.4		Lixiviación y operaciones unitarias	24
2.5		Operaciones unitarias del proceso de obtención de colorante	27
2.6		Reacciones de los colorantes naturales ante diferentes factores.....	31
3.		METODOLOGÍA.....	37
	3.1	Localización.....	37
	3.2	Recursos humanos disponibles	37
	3.3	Variables	38
	3.3.1	Variable de respuesta	39
	3.4	Delimitación del campo de estudio	39
	3.5	Obtención de las muestras	39
	3.5.1	Lugar de obtención	39
	3.5.2	Lugar de experimentación.....	39
	3.6	Recursos materiales disponibles	40
	3.6.1	Materia prima	40
	3.6.2	Equipo.....	40
	3.6.3	Cristalería.....	41

3.6.4	Reactivos	41
3.6.5	Materiales adicionales	42
3.7	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	42
3.7.1	Técnica cuantitativa.....	42
3.7.1.1	Propiedades fisicoquímicas.....	42
3.7.1.1.1	Rendimiento	42
3.7.1.1.2	Densidad	43
3.7.1.1.3	Índice de refracción	43
3.7.2	Técnica cualitativa	43
3.7.2.1	Análisis fitoquímico	44
3.7.2.1.1	Identificación de flavonoides.....	44
3.7.2.1.1.1	Análisis cromatográfico en capa fina	44
3.7.2.1.1.1.1	Preparación de la muestra	44
3.7.2.1.1.1.2	Preparación de las soluciones estándar	45
3.7.2.1.1.1.3	Preparación de la fase móvil	45
3.7.2.1.1.1.4	Preparación de la placa cromatográfica	46
3.7.2.1.1.1.5	Desarrollo de la placa cromatográfica	47
3.7.2.1.1.1.6	Preparación de la solución reveladora.....	48
3.7.2.1.2	Reacciones coloridas	49
3.8	Recolección y ordenamiento de la información	50
3.8.1	Análisis de varianza	56
4.	RESULTADOS.....	61
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	67

CONCLUSIONES..... 71
RECOMENDACIONES 73
BIBLIOGRAFÍA 75
APÉNDICE..... 77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Disposición de hojas del árbol de teca	7
2.	Características físicas de la hoja del árbol de teca.....	7
3.	Diagrama del secador de bandejas	30
4.	Estructura básica del esqueleto flavonolico.....	33
5.	Ejemplos de flavonoides, estructura y parte de sustitución.	34
6.	Fase móvil.....	45
7.	Placa para cromatografía	45
8.	Lectura de placa de cromatografía	48
9.	Preparación de reacciones coloridas.....	49

TABLAS

I.	Rendimiento del extracto colorante de la materia prima fresca	51
II.	Rendimiento del extracto colorante de materia prima seca	51
III.	Densidad del extracto colorante de materia prima fresca	52
IV.	Densidad del extracto colorante de materia prima seca	52
V.	Índice de refracción del extracto colorante de materia prima fresca	53
VI.	Índice de refracción del extracto colorante de materia prima seca	53
VII.	Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima fresca	54
VIII.	Reacción colorida Shinoda del extracto de colorante de materia prima seca	54
IX.	Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima fresca	55

X.	Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima seca	55
XI.	Medias y desviaciones estándar de densidad, índice de refracción y rendimiento del extracto colorante de materia prima fresca	56
XII.	Medias y desviaciones estándar de densidad, índice de refracción y rendimiento del extracto colorante de materia prima seca	57
XIII.	Experimento de dos factores para rendimiento extractivo del colorante natural de la hoja del árbol de teca	57
XIV.	Análisis de varianza de dos factores para rendimiento extractivo del colorante natural de la hoja del árbol de teca.....	58
XV.	Experimento de dos factores para densidad del colorante natural de la hoja del árbol de teca.....	58
XVI.	Análisis de varianza de dos factores para densidad del colorante natural de la hoja del árbol de teca	59
XVII.	Experimento de dos factores para índice de refracción del colorante natural de la hoja del árbol de teca	59
XVIII.	Análisis de varianza de dos factores para índice de refracción del colorante natural de la hoja del árbol de teca.....	60
XIX.	Rendimiento del extracto colorante de materia prima fresca.....	61
XX.	Rendimiento del extracto colorante de materia prima seca	62
XXI.	Densidad del extracto colorante de materia prima fresca.....	62
XXII.	Densidad del extracto colorante de materia prima seca.....	63
XXIII.	Índice de refracción del extracto del colorante de materia prima fresca	63
XXIV.	Índice de refracción del extracto colorante de materia prima seca	64
XXV.	Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima fresca.....	64
XXVI.	Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima seca	65
XXVII.	Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima fresca.....	65
XXVIII.	Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima seca	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cp	Cromatografía en capa fina
cc	Cromatografía en columna
ρ	Densidad
σ	Desviación estándar
°C	Grados celsius
g	Gramos
h	Horas
IR	Índice de refracción
L	Litro
nm	Manómetro
\bar{X}	Media aritmética
Hg	Mercurio
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μL	Microlitros
mL	Mililitros
mm	Milímetros
%	Porcentaje
Σ	Sumatoria
T	Temperatura
t	Tiempo

GLOSARIO

Análisis fitoquímico	Caracterización de la actividad biológica de diversas sustancias producidas por los vegetales. Las plantas producen una diversidad de sustancias, producto del metabolismo secundario, algunas responsables de la coloración y aromas de flores y frutos.
Ebullición	Es un proceso físico en el que un líquido pasa a estado gaseoso. Se realiza cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión.
Etanol	Conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78,4 °C.
Extracción	Separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interfase.
Índice de refracción	Cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio, este determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio.

Perlas de ebullición	Evitan las salpicaduras de sustancias químicas y la formación de burbujas durante la ebullición del líquido.
Picnómetro	Instrumento de medición cuyo volumen es conocido y permite conocer la densidad o peso específico de cualquier fluido ya sea líquido o sólido mediante gravimetría a una determinada temperatura.
Refractómetro	Es un instrumento óptico de alta precisión y de un sencillo manejo, se basa en la refracción de la luz al pasar por un prisma.
Rendimiento	Es la cantidad de producto obtenido en una reacción química que sirve para medir la efectividad de un proceso.
Tubo capilar	Es una conducción de fluido muy estrecha y de pequeña sección circular. Es en estos tubos en los que se manifiestan los fenómenos de capilaridad.
Vortex	Dispositivo simple que se usa comúnmente en los laboratorios para agitar pequeños tubos o frascos de líquido.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la extracción y caracterización fisicoquímica del colorante natural de la hoja del árbol de teca (*Tectona grandis*) proveniente de la Costa Sur de Guatemala.

Las variables definidas fueron: el porcentaje de humedad de la materia prima y la concentración del solvente. Para ello se deshidrató la materia prima fresca en un secador de bandejas. El solvente utilizado fue etanol a diferentes concentraciones, estas fueron: 95 %, 50 % y 35 %. El tiempo de extracción se definió de 6 h y se trabajó con relación solvente-materia prima 1:15. Las variables de estudio fueron las propiedades fisicoquímicas: densidad, rendimiento de extracción e índice de refracción. Se realizó un análisis fitoquímico a las muestras que consistió en la reacción Shinoda, con ácido sulfúrico y cloruro férrico; la coloración fue el indicativo de la presencia de metabolitos secundarios.

Se determinó que sí existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción, el mayor resultado se obtuvo con etanol al 35 % y materia prima seca. En el análisis fitoquímico no hay desigualdad con respecto a la concentración del solvente o porcentaje de humedad de la materia prima. Para el solvente al 95 % con materia prima fresca y seca, no hay presencia de flavanoles, isoflavonas, chalconas y auronas. Metabolitos secundarios que pueden actuar como estrógenos en el cuerpo y tener funciones protectoras.

OBJETIVOS

General

Analizar la extracción y caracterización fisicoquímica del colorante natural de la hoja del árbol de teca (*Tectona grandis*) proveniente de la Costa Sur de Guatemala.

Específicos

1. Extraer a escala laboratorio el colorante natural de la hoja del árbol de teca.
2. Comparar el porcentaje de rendimiento de la extracción del colorante de la hoja del árbol de teca en función de la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
3. Evaluar las propiedades fisicoquímicas del colorante de la hoja del árbol de teca variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
4. Comparar resultados del análisis fitoquímico de la extracción del colorante natural de la hoja del árbol de teca variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.

HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

Es viable extraer colorante natural de la hoja del árbol de teca (*Tectona grandis*) variando el porcentaje de humedad de la materia prima y concentración del solvente.

Hipótesis de investigación

Hi₁: existe diferencia significativa en el rendimiento de la extracción variando la concentración del solvente y el porcentaje de humedad de la materia prima.

Hi₂: existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del colorante de la hoja del árbol de teca variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.

Hipótesis nulas

Ho₁: no existe diferencia significativa en el rendimiento de la extracción variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.

Ho₂: no existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas del colorante de la hoja del árbol de teca variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.

INTRODUCCIÓN

Los colorantes han sido ampliamente utilizados en la preparación de alimentos y bebidas y continúan haciendo a nivel mundial una contribución significativa en su preparación y procesamiento. Así mismo, desde años atrás, antes del desarrollo de la industria de colorantes de síntesis, el teñido de las fibras se hacía con plantas con colorantes naturales, llamadas especies tintóreas, las que eran cultivadas a gran escala que constituyen una importante fuente de ingresos para los países productores.

En los últimos 130 años se han sintetizado miles de compuestos químicos coloridos, de los cuales alrededor de 10 000 han sido producidos a escala industrial, tratado en muchos casos de sintetizar productos idénticos a los naturales. En 1987 se estimó que la producción mundial de colorantes era de alrededor de 700 000 toneladas; de esta producción, un poco más del 50 % fue destinado a la industria textil y un 2,2 % al sector de alimentos, medicamentos y cosméticos.

En años recientes se ha renovado el interés en colorantes naturales por recientes limitaciones en el uso de algunos sintéticos en alimentos, medicamentos y en productos cosméticos debido a su toxicidad. Son frecuentes denuncias por el uso de colorantes no adecuados en productos de uso humano como maquillaje, caramelos, refrescos y gelatinas. En algunos países son permitidos colorantes que en otros países son prohibidos.

Los términos colorantes naturales y tintes naturales hacen referencia a colorantes o tintes derivados de plantas, invertebrados o minerales.

La mayoría de los colorantes naturales de origen vegetal provenientes de plantas (raíces, bayas, cortezas (hoja y madera)), y otras fuentes orgánicas como, por ejemplo, los hongos y los líquenes; pueden ser compuestos puros o productos de extracción. Estos últimos son obtenidos de materias primas alimentarias y pueden ser asociados a otras moléculas. Entre los más importantes se encuentran a los carotenoides, que son un grupo de compuestos solubles en lípidos, ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Tiene dos funciones, principales en las plantas durante la fotosíntesis y como materia colorante en flores y frutos, aparecen como colores amarillos; mientras en los frutos son también naranja o rojo.

En el presente estudio se realizó la extracción a las hojas del árbol de teca por medio del método de lixiviación con reflujo. La lixiviación es una operación unitaria de transferencia de masa, basada en la disolución de uno o varios componentes de una mezcla líquido – sólido en un disolvente selectivo (etanol).

1. ANTECEDENTES

Entre los trabajos de investigación del tema de extracción de colorantes naturales realizados en la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentran:

En el año 2008 se publicó la tesis titulada *Lixiviación de colorantes del tipo flavonoides contenidos en la corteza de la especie forestal aliso (Alnus arguta (schltdl) Spach), utilizando dos solventes para su extracción a nivel laboratorio*, realizada por el estudiante Genaro Francisco Barrera García y asesorado por la ingeniera química Telma Maricela Cano Morales. Se realizó la extracción y caracterización de los extractos tintóreos de la especie forestal guatemalteca Aliso; para ello se utilizaron 5 soluciones extractoras (agua, etanol al 35 %, etanol al 50 %, etanol al 70 % y 3 etapas de extracciones sucesivas, con repeticiones para cada una; resultaron 36 extracciones en total). El tamaño de tratamiento de maceración a reflujo fue constante, en función de la relación corteza seca/solvente de 1:10 m/v, con tiempo de extracción de dos horas y a temperatura de ebullición. Los extractos fueron concentrados al vacío a 12 inHg a temperaturas menos de 45 °C. Luego de obtenerlos, se colocaron en refrigeración y protegidos de la luz directa hasta el momento de su análisis. Los análisis que se realizaron fueron: pruebas colorimétricas, prueba cromatográfica. El mayor rendimiento se obtuvo al utilizar la solución de etanol al 35 %, con un rendimiento promedio del 22,82 %.

En el año 2008 se publicó la tesis titulada *Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (Cocos nucifera)*

como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales realizada por el estudiante Mario José Mérida Meré y asesorado por la ingeniera química Telma Maricela Cano Morales. Con una búsqueda de alternativas en la temática de colorantes naturales y la industria textil, así como de otros temas relacionados con la agroindustrialización para mejorar el nivel de vida de los habitantes del municipio de Momostenango debido a que la organización no gubernamental, Fundación Gabina J.M. de Momostenango, Tonicapán estaban interesados en la investigación. Se realizó la extracción y caracterización de los extractos tintóreos del exocarpo del coco; para ellos se utilizaron 3 tipos de solventes (agua, etanol al 50 % (v/v) y etanol al 96 % (v/v)) con tres repeticiones para cada una, con un resultado de 9 extracciones en total. El mayor rendimiento fue de 18,63 % utilizando como solvente etanol al 95 % y el menor valor de rendimiento fue de 7,63 % con el solvente agua. A nivel individual, los índices de refracción de los extractos colorantes naturales utilizando como solvente agua y etanol 50 % fueron menores y el índice de refracción del extracto colorante natural utilizando como solvente etanol 95 % fue mayor. Del extracto colorante natural obtenido estaban presentes flavonoides denominados flavanonas, en todos los casos independiente del solvente utilizado.

En el año 2011 se publicó la tesis titulada *Obtención a nivel laboratorio del tinte natural del exocarpo del coco (Cocus nucifera L.), mediante lixiviación por maceración dinámica utilizando muestra seca y fresca*, realizada por el estudiante José Enrique Labín Gómez y asesorado por la ingeniera química Telma Maricela Cano Morales. Se tomó en cuenta como parámetros de comparación los rendimientos obtenidos, así como las propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas de los extractos encontrados. Para el proceso extractivo se determinó la relación óptima entre la masa y el solvente; para la lixiviación por maceración dinámica se utilizó una relación de 1:50 (m/v) para materia prima y humedad en donde se disuelve el solvente selectivo; para

extraer y caracterizar el exocarpo del coco, se utilizaron cinco solvente (agua desmineralizada, sulfito de sodio al 2 % (m/m), etanol al 95 % (v/v), al 70 % (v/v) y al 35 % (v/v)) con 3 repeticiones para cada una, cuyo resultado fue de 15 extracciones experimentalmente. Por medio del análisis estadístico se determinó que existe diferencia significativa en cuanto al tipo de fibra, de los valores obtenidos del rendimiento porcentual, la extracción con sulfito de sodio al 2 % (m/m) fue la que presenta mayor rendimiento, que evidencia que esta solución posee mayor capacidad extractora y que tiene propiedades coadyuvantes ya que al hidrolizarse favorece la extracción de estos metabolitos.

En el año 2012 se publicó la tesis titulada *Extracción y caracterización fisicoquímica de la fracción colorante de la semilla del aguacate (Persea americana Miller) a nivel laboratorio*, realizada por la estudiante Eva Isabel García Ramírez y asesorada por la ingeniera química Telma Maricela Cano Morales. El procedimiento utilizado fue la lixiviación por maceración dinámica con reflujo; se utilizó como solvente el agua y como coadyuvantes soluciones de etanol (35 %, 70 % y 90 % v/v) y soluciones de sulfito de sodio (1 % y 2% v/v). La semilla fue utilizada en tres presentaciones: sin oxidar fresca, oxidada fresca y oxidada seca. Para todos los casos, la relación semilla de aguacates /solventes fue de 1:10 (m/v). La temperatura de lixiviación fue la temperatura de ebullición respectiva para el agua y cada coadyuvante a una presión de 640 mmHg y la duración del proceso de dos horas. En el análisis estadístico se observa que la densidad y el índice de refracción que se obtienen cambian significativamente al cambiar el coadyuvante de la muestra. El mayor rendimiento se obtuvo al utilizar la solución de sulfito de sodio al 1 % y la semilla seca oxidada. Se realizó tamizaje fitoquímico de los extractos colorantes líquidos de la semilla de aguacate en todas sus presentaciones, se identificó la presencia de taninos y flavonoides.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Teca

La teca (*Tectona grandis*) es un árbol frondoso de la familia de las lamiáceas que alcanza hasta 30 m de altura. Nombrada como la reina de las maderas, entre los conocedores, pues su apariencia se hace más bella con el paso de los años y tiene la capacidad de no dañarse cuando entra en contacto con metales, lo que la hace muy valiosa para la fabricación de muebles de alto valor y embarcaciones lujosas.

Es nativo de la India, Birmania, Laos y Tailandia, tiene una larga historia de ordenación sistemática. Se introdujo en Indonesia (Java) hace cientos de años y las más antiguas plantaciones de teca en Sri Lanka se han documentado a fines del siglo XVII. Los primeros sistemas intensivos de ordenación de los bosques naturales se desarrollaron hace unos 150 años en Myanmar, desde donde la ordenación activa de la especie pasó a la India y Tailandia durante un período de unos 40 años.

Hoy día se encuentra la teca en muchos otros países asiáticos, y extensas plantaciones se han establecido también en África y América Central y del Sur. Se ha hecho evidente que la explotación de los bosques naturales no puede seguir respondiendo a la demanda de madera de teca, y la insuficiencia previsible de este material ha avivado el interés por las plantaciones de teca.

2.1.1 Madera y hojas

La teca es una de las maderas más apreciadas del mundo, de color castaño dorado con un vetado oscuro en los arboles maduros y color claro de fácil tinción cuando joven. La madera de teca es muy duradera y resistente, entre otras cosas debido al aceite que contiene que la hace muy impemeable la protege de los ataques de insectos y hongos. Todo ello hace que sea muy utilizada en exteriores, en estructuras para la construcción de viviendas y otros usos.

2.1.1.1 Aspecto

La madera de teca es de albura blanquecina y duramen amarillento o bronceo. La fibra es generalmente recta, aunque en raras ocasiones puede presentar fibra ondulada que es habitual de la procedente de la India. El grano es grueso con presencia de tasas de sílice variables. Posee un tacto aceitoso y recién cortada tiene un fuerte olor a cuero viejo que desaparece en gran medida al secarse.

2.1.1.2 Descripción morfológica de la hoja

Las hojas del árbol de teca son deciduas o semideciduas que se caen después de la segunda mitad del periodo de sequía, dejando las ramas sin hojas.

El tamaño medio es de 20-30 cm de largo (plantas jóvenes tienen hojas más grandes) con una disposición simple de hojas alternadas y opuestas.

Figura 1. **Disposición de hojas del árbol de teca**



Fuente. *El tejal*. <http://www.eltecal.com/DescripHoja.html>. Consulta: 7 de enero de 2016.

La hoja es peciolada con forma desde ovalada-lanceolada hasta ampliamente ovalada, con ápice y base cuneiforme y borde entero o denticulado. De color verde brillante por el haz o cara superior de la hoja y verde más oscuro por el envés que presenta una textura áspera por ser densamente tomentosa y velluda. La red venosa de color más claro.

Figura 2. **Características físicas de la hoja del árbol de teca**



Fuente. *El tejal*. <http://www.eltecal.com/DescripHoja.html>. Consulta: 7 de enero de 2016.

2.1.1.3 Propiedades

“La teca tiene una densidad entre 650 y 750 kg/m³, con una media de 690 kg/m³ al 12 % de humedad. Se considera una madera pesada y de dureza media. Tiene una resistencia media a la flexión, poca rigidez y resistencia al impacto, una resistencia alta a la compresión y un grado moderado de doblado con vapor.

La velocidad de secado de la madera de teca es lenta y varía en función de la densidad. En general, se trabaja bastante bien tanto a mano como a máquina, aunque el aserrado y cepillado de la madera desgasta rápidamente las herramientas a causa de su alto grado en sílice. El encolado presenta dificultades elevadas debido a su alto contenido en oleorresinas.

2.1.1.4 Aplicaciones

La teca disfruta de muy buena reputación, bien merecida, por su alta resistencia y durabilidad. Presenta una gran estabilidad en ambientes cambiantes, no se agrieta ni se pudre, y resiste a la acción de los hongos, xilófagos e incluso a algunos ácidos. Estas características son las que hacen posible que la madera de teca esté considerada como una de las más valiosas del mundo y goce así de múltiples aplicaciones:

- Chapas para recubrimientos decorativos
- Mobiliario y ebanistería
- Carpintería interior: suelos, frisos, escaleras
- Carpintería exterior: revestimientos, ventanas
- Construcción naval: embarcaciones ligeras
- Puentes: elementos en contacto con el suelo o el agua

- Tornería: piezas curvadas
- Recipientes resistentes a los ácidos

2.1.2 Origen

Inicialmente originario de las Indias Orientales, específicamente en la India, Malasia y Birmania, entre otras regiones del sureste de Asia; en la actualidad, existen plantaciones en muchos países de América: Costa Rica, El Salvador, México, Nicaragua, Brasil Colombia, Ecuador, Panamá y Perú. De acuerdo con el poeta persa Firdusi, el primer tablero de ajedrez de la historia fue construido en parte con madera de teca y mármol.

2.1.3 Requerimientos

Su crecimiento puede darse en variadas condiciones, pero si se desea una madera de alta calidad deben darse las siguientes condiciones:

- Altura: entre los 0 y 800 msnm (metros sobre el nivel del mar).
- Suelos: ricos en calcio, planos y con un buen drenaje.
- En la temporada lluviosa: entre 1 500 a 2 500 mm de precipitación anual.
- En la temporada seca: entre 10 y 50 mm de lluvia y con una duración máxima de 3 meses.

Requiere de climas con una estación seca bien definida (3 a 5 meses), con temperaturas medias anuales entre 22 °C y 28 °C, una precipitación media anual de 1 250 a 2 500 mm y altitudes entre los 0 y 1 000 msnm.

Entre los factores limitantes más importantes para la especie se consideran los suelos poco profundos, compactados o arcillosos, con bajo

contenido de calcio o magnesio, con pendiente, mal drenaje y altitudes mayores a 1 000 msnm.

Si estas condiciones no se cumplen, se obtiene una madera de menor calidad y menor valor comercial. Las mejores maderas de teca provienen de árboles viejos (por encima de 20 años de edad al ser cortados).

La teca tiene una alta capacidad de rebrote, lo que la hace resistente a incendios forestales; por su alta densidad y dureza las termitas no la penetran.

2.1.4 Multiplicación

En el área centroamericana, por ejemplo, inicia la floración entre los cinco y los ocho años; a partir de esta fecha comienzan a producir semilla fértil, la cual generalmente presenta latencia, por lo que requiere de tratamientos de escarificación. Es una especie muy resistente a plagas y enfermedades. Por su importancia se han realizado múltiples estudios de mejoramiento genético, para identificar el germoplasma ideal para cada zona de interés principalmente en Asia.

2.1.5 Mantenimiento

- Poda: la teca crece rápidamente, tanto en altura como en diámetro. Una vez que los árboles comienzan a ganar altura, se deben podar las hojas más inferiores. Los árboles más valiosos son aquellos que crecen derechos y sin ramas en el área del tronco. Al podar todo, excepto el tercio superior de hojas, se facilita la creación de una madera superior en calidad. Debido a que la teca crece rápidamente, la plantación necesita mucho cuidado y atención durante los tres primeros años.

- Fase de aclarado: consiste en seleccionar los mejores árboles, dejarlos crecer y cosechar solo aquellos que crecen más lentamente y de menos calidad; para esto es muy importante realizar un inventario forestal por una empresa o personal técnico del área forestal. Una oportuna fase de aclarado es necesaria para agilizar el crecimiento, ya que disminuye la competencia entre los diferentes árboles por la luz y los nutrientes. De esta manera, con las primeras y sucesivas fases de producción de maderas, existirán unos ingresos previos a la cosecha de madera definitiva.
- Incrementando el uso de fertilizantes, métodos de irrigación y frecuentes aclarados, es posible incrementar la tasa de crecimiento del diámetro de los árboles de teca. El incremento del crecimiento del diámetro es, sin embargo, dependiente del incremento del tamaño de la corona, por ejemplo, la disminución del número de árboles por hectárea. En otras palabras, uno puede tener menos cantidad de árboles de mayor circunferencia o más número de árboles de menor circunferencia. Se ha observado que los árboles de teca que crecen bajo sistemas de irrigación crecen más rápido, pero el contenido de madera blanda en los árboles se incrementaba; con la consecuencia de una madera débil y propensa a daños por el viento. Un fenómeno conocido como ampollas de agua también puede desarrollarse en árboles de teca cultivados con sistemas de irrigación. Esos árboles pueden parecer completamente sanos desde el exterior, pero el interior puede desarrollar podredumbre debido al almacenamiento excesivo de agua, que aumenta las posibilidades de aparición de hongos, que pueden dañar aún más el árbol.
- Abandono: es el riesgo más grande y serio que puede ocurrir con las plantaciones de teca. 25 años es un período de tiempo muy largo, y es fácil perder el entusiasmo (y quizás también sus recursos económicos). En la

actualidad, existe una alta cantidad de teca de poca calidad entrando en el mercado, ya que la gente simplemente ignoró la información correcta.

2.1.6 Riesgos y peligros

- Fuego: las plantaciones de teca necesitan una temporada bien seca de 3 a 5 meses para un crecimiento óptimo, lo que significa que los incendios forestales pueden ser un grave problema.
- Animales: los animales grandes pueden constituir un gran problema en las plantaciones de teca cuando los árboles son jóvenes, de manera que ha de asegurarse de que quedan protegidos con una cerca. Tras 1 año, la teca debe ser lo suficientemente grande como para utilizar ganado joven u ovejas que se coman las malas hierbas.

Plagas: la teca es muy sensible a las plagas (insectos, enfermedades, etc). Los dueños de plantaciones profesionales generalmente tienen una empresa forestal a su servicio para detectar y tratar estos problemas¹.

2.2 Colorantes naturales

Los términos colorantes naturales y tintes naturales hacen referencia a colorantes o tintes derivados de plantas, invertebrados o minerales. La mayor parte de los colorantes naturales son colorantes vegetales provenientes de plantas: raíces, bayas, cortezas, hojas y madera.

¹ FOSECA GONZÁLEZ, William. *Manual para productores de teca (Tectona grandis L.) en Costa Rica*. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Fonseca2004ManualTeca.pdf>. Consulta: 13 de octubre de 2015.

2.2.1 Origen

Desde las primeras civilizaciones, el hombre usó materias colorantes naturales. Los pigmentos o sustancias coloreadas se extraían de plantas, animales y minerales. Estas materias eran empleadas para teñir ropas, pintar las pieles y fabricar objetos religiosos y recreativos.

Las sustancias vegetales más empleadas eran: palo de Campeche, cúrcuma, índigo natural. De animales se empleaba la cochinilla.

El éxito de los colorantes naturales se remonta a varios miles de años en la historia. Las civilizaciones precolombinas, en América Latina o los antiguos egipcios, por citar a algunas, sentaron las bases de unos usos que se extendían desde la tinción textil hasta los alimentos, pasando por aplicaciones meramente cosméticas.

2.2.2 Historia

A partir de 1771, los colorantes químicos empiezan a ser una fuerte competencia para los tintes naturales.

Las propiedades de estos productos se ampliaron, muchísimo tiempo después, a la tinción de productos farmacéuticos. En alimentación su uso ha sido recurrente y solo se ha visto parcialmente desplazado tras la aparición de colorantes artificiales en el mercado.

El primer colorante sintético obtenido fue el ácido piórico, preparado por Woulfe en 1771, mediante la acción de ácido nítrico sobre el índigo natural.

En el año 1856, se inició la era de los colorantes sintéticos a partir del descubrimiento de William Henry Perkin (1838 - 1907), quien logró obtener el colorante púrpura por oxidación de la anilina con ácido crómico.

En 1855, se encontró la forma técnica de prepararlo a partir del alquitrán de hulla. A partir del alquitrán de hulla se preparó la Aurina, fabricado por Friedlich Ferdinand Runge, en el año 1834.

Una de las características de un colorante natural es que no causa efectos adversos para la salud, característica con la cual puede competir con éxito con los de origen químico. Los colorantes naturales han sido ampliamente utilizados en la preparación de alimentos y bebidas, y siguen siendo a nivel mundial una contribución significativa en su preparación y procesamiento.

Aunque el término colorante natural pudiera presentarse a confusión, normalmente, se aplica a productos de origen animal, vegetal o incluso mineral en los cuales se encuentra de forma también natural.

Por extensión, se consideran también naturales los colorantes obtenidos de materiales biológicos como algunos insectos o incluso los que se forman espontáneamente al calentar o someter a tratamiento térmico un alimento, como el caramelo.

En este sentido y aunque pudieran tener composición y potencial de tinción idénticos, se contraponen a los artificiales que son, en esencia, los obtenidos por síntesis química.

2.2.3 Clasificación

Un criterio útil de clasificación de los colorantes es con base en su estructura molecular, que permite agrupar componentes afines en cuanto a su comportamiento y propiedades genéricas.

2.2.3.1 Colorantes vegetales

Los colorantes naturales vegetales se pueden agrupar en seis familias:

2.2.3.1.1 Caratenoides

Los carotenoides son estructuras isoprenoides, presentes en colorantes y pigmentos naturales en plantas superiores, algas, hongos y bacterias. La estructura química básica de estos compuestos posee dobles enlaces insaturados y la mayoría son tetra- terpenos con 40 átomos de carbono. A los carotenoides que poseen átomos de oxígeno en sus moléculas se los conoce como xantofilas. Los restantes constituyen el grupo de los carotenos. Los colorantes y pigmentos de este grupo presentan una paleta de colores que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro. Ejemplos de ello son el licopeno (color rojo del tomate y la sandía) y el beta caroteno (color anaranjado de la zanahoria).

2.2.3.1.2 Clorofílicos

Los compuestos clorofílicos constan de una porfirina que lleva incorporado un átomo de magnesio en el centro del núcleo tetrapirrólico. Son los pigmentos más abundantes en la naturaleza. Se encuentran en los cloroplastos de las células vegetales, orgánulos exclusivos de las plantas donde se lleva a cabo la

fotosíntesis y se conocen dos tipos importantes: clorofila A y clorofila B, responsables del color verde de las plantas. La clorofila A representa de manera aproximada, 75 % de toda la clorofila de las plantas verdes, pero también se encuentra en las algas verde-azuladas.

La clorofila B es un pigmento que acompaña a la clorofila A. Absorbe luz de una longitud de onda diferente (más baja) y transfiere la energía a la clorofila A, que se encarga de convertirla en energía química. Otros tipos de clorofila como: C1, C2 y D, se hallan en algas y bacterias. Los pigmentos clorofílicos son insolubles en agua, pero sí en solventes orgánicos como el alcohol etílico y la acetona (solventes extractivos) y en tetracloruro de carbono y éter de petróleo (solventes separadores).

2.2.3.1.3 Antocianínicos

Las antocianinas forman uno de los seis grupos de flavonoides existentes. Los flavonoides son metabolitos secundarios de las plantas, esto es: compuestos que la planta elabora, pero no son vitales, pues en su ausencia el organismo puede continuar viviendo. Las antocianinas son verdaderos colorantes naturales, ya que son pigmentos hidrosolubles. Son responsables de los colores rojo, anaranjado, azul y púrpura de las uvas, manzanas y fresas. Las funciones de las antocianinas en las plantas son múltiples: desde la protección de la radiación solar hasta atraer insectos polinizadores.

La estabilidad de las antocianinas está condicionada por una serie de factores como el potencial redox, temperatura, el pH del medio, la interacción con otros radicales y moléculas, entre otros. Se ha estudiado que el cambio de un pH ácido (mayor estabilidad) hacia otro alcalino hace variar de color hacia el rojo (efecto batocrómico) dando compuestos inestables que se decoloran

rápidamente. También, las antocianinas son afectadas por la temperatura, produciéndose cambios en su estructura molecular (pérdida del glicósido) que resulta en una pérdida del color.

2.2.3.1.4 Flavonoideos

El resto de los flavonoides no-antocianínicos se caracterizan por su color amarillo, como se desprende de la etimología del nombre (del latín *flavus*: amarillo). Los flavonoides en general se caracterizan por ser polifenoles solubles en agua, algunos con una estructura de glucósidos (azúcares) y otros de polímeros naturales.

A estos últimos pertenecen los taninos condensados, polímeros naturales formados por monómeros de antocianidina, presentes en semillas y tejidos vegetativos de ciertas forrajeras. Otro grupo de flavonoides importantes son las flavonas, colorantes amarillos presentes en pétalos de flores como la primula, o en la piel de frutos como las uvas, responsables del color amarillento de los vinos blancos.

Finalmente están las flavononas, presentes en altas concentraciones de los zumos de cítricos (naranja, mandarina y pomelo). Hasta hoy se conocen más de 9 000 flavonoides y quedan más por identificar y aislar.

2.2.3.1.5 Betalainicos

Las betalaínas son colorantes naturales constituidos por aproximadamente 70 pigmentos hidrosolubles con estructura de glucósidos y que se han clasificado en dos grupos importantes: las betacianinas y las betaxantinas.

Las betacianinas son unos cincuenta colorantes naturales identificados de color rojo o violeta que se encuentran en plantas como la remolacha (*Beta vulgaris*) y frutos de la tuna (*Opuntia sp*) y en algunos basidiomicetos. Tienen una absorción máxima en el espectro visible entre 534 y 552 nm.

Las betaxantinas en cambio, cuentan con un grupo de casi 25 componentes de color amarillo encontradas en algunas variedades de hongos venenosos (amanita muscaria) y en las bayas de los cactus pitaya (*Hylocereus*). Tienen una absorción máxima en el espectro visible entre 260 y 320 nm.

2.2.3.1.6 Tanínicos

Los taninos son colorantes naturales extraídos de plantas superiores. Son compuestos fenólicos coloreados en una gama que va desde colores amarillos hasta el castaño oscuro. Los taninos tienen olor característico, sabor amargo y son muy astringentes. Se agrupan en: taninos hidrolizables y taninos condensados (vistos anteriormente en el grupo de flavonoides).

Los taninos hidrolizables son colorantes polímeros heterogéneos formados por fenoles y azúcares simples. Son más pequeños que los taninos condensados y se hidrolizan sin dificultad en medio ácido. El PM oscila entre los 600 y 3 000.

Las plantas más empleadas para la obtención de taninos son: robles (*Quercus robur*), castaños (*Castanea sativa*), paquió (*Hymenaea courbaril*), verdolaga (*Terminalia amazonia*), quebracho colorado chaqueño (*Schinopsis balansae*), entre mucho más.

2.2.3.2 Colorantes animales

Las sustancias empleadas como colorantes naturales que están presentes en el reino animal, son muchos menores en cantidad, pero no en importancia. Se clasifican en dos grupos principales: insectos y organismos marinos.

2.2.3.2.1 Organismos marinos

Los colorantes de animales de organismos marinos, tienen en común la especie de moluscos cefalópodos. Una es la denominada cañadilla (*Murex brandaris*) de la que se extrae un color púrpura muy apreciado en la antigüedad y con un rico anecdotario y el otro es la jibia o sepia común, de la que se extrae de su saco de tinta un colorante marrón rojizo.

2.2.3.2.2 Insectos

Dentro de este grupo hay dos componentes de importancia. La primera es la denominada cochinilla, que involucra una variedad de especies de un insecto parásito de diversas plantas según su origen y que produce un color rojo muy apreciado.

La otra es el kermes, insecto parásito de dos especies arbóreas: la encina (el kermes americano) y la coscoja (el kermes europeo). También de este animal se extrae un colorante rojo.

2.2.3.3 Colorantes de origen mineral

Se dividen en:

2.2.3.3.1 Dióxido de titanio

El dióxido de titanio es un pigmento colorante inorgánico (TiO_2), el cual es un polvo denso blanco, insaboro e inodoro.

2.2.3.3.2 Azul ultramarino

El ultramarino se produce por la pulverización del mineral lapislazuli, pero ahora se produce fundiendo juntos caolín carbonato o sulfato de sodio, azufre y carbón, por cerca de 10 h en ausencia de aire.

2.3 Extracción, purificación e identificación de los colorantes

La extracción de colorantes de las plantas depende básicamente de la parte de la planta que se utilice y de la cantidad de agua que contenga.

2.3.1 Tipos de extracciones en plantas

Técnicas de extracción de flavonoides específicas para la parte de la planta que se desea utilizar como materia prima. Desde el punto de vista general se puede realizar tres tipos de extracciones de las plantas:

- La preparación popular consiste en una extracción en agua de la planta fresca o seca con la ayuda de calor (infusión o decocción) o en alcohol (tintura, vino); en algunos casos se usa la planta fresca machacada, ya sea como cataplasma, jugo o polvo de la planta seca administrado directamente.
- La extracción de tamizaje consiste en realizar una extracción por maceración a temperatura ambiente con uno a tres solventes con diferentes

polaridades, generalmente diclorometano o hexano, éter o etanol y agua. Por la toxicidad y los efectos farmacológicos de estos solventes es preciso concentrar los extractos evaporando el solvente a presión reducida y temperatura controlada (rotavapor) hasta alcanzar una mayor consistencia. En el caso de los extractos son más estables y fáciles de almacenar y dosificar.

- La extracción para elucidación estructural consiste en una maceración o extracción con Soxhlet usando inicialmente un solvente de amplio espectro (metanol o etanol) y luego fraccionamiento con diferentes disolventes o mezclas de disolventes que permitan separar las diferentes fracciones por partición. Idealmente, el fraccionamiento debe ser guiado por un bioensayo que permita llegar a la estructura química responsable de la actividad en un tiempo relativamente corto.
- Los solventes usados para la extracción de estos compuestos son muy variados y pueden ser desde muy polares como agua y etanol para glicosidos o agliconas muy hidroxiladas, hasta menos polares como éter y cloroformo para flavonas altamente metoxiladas.

2.3.2 Purificación e identificación

La reacción más usual para la detección de los flavonoides en un extracto de planta es la reacción de Shinoda: al extracto incoloro ligeramente amarillo se le coloca un pequeño trozo de magnesio y unas pocas gotas de HCl concentrado, el desarrollo inmediato de coloración es indicativo de la presencia de flavonas y flavonoles (amarillo a rojo), flavanonoles (rojo a magenta),

flavanonas (rojo, magenta, violeta, azul), isoflavonas (amarillo); isoflavononas, chalconas y auronas no dan coloración.²

Otras reacciones de color usuales son:

- Reacción con álcalis: los extractos acuosos pueden mostrar variaciones de color con el agregado de una álcali; si hay presencia de flavonas, flavanoles e isoflavonas se ponen amarillas; flavanonas y flavonoles cambian de amarillo a naranja; chalconas de naranja a rojizo.
- Prueba de Marini Bettolo: con solución de SbCl_5 en CCl_4 los flavonoides en general dan colores característicos o precipitados; por ejemplo, las flavonas dan precipitado amarillo o anaranjado y las chalconas rojo oscuro o violeta.
- Reacción con H_2SO_4 concentrado: las flavonas y flavonoles dan coloración fuertemente amarilla, las flavanonas, anaranjadas o guindas; las chalconas y auronas, rojo, guinda o rojo azulado.
- Reactivo de Dimroth: solución de H_2BO_3 en $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$, las 5-hidroxi flavonas dan soluciones anaranjadas o rojas.
- Reacción con solución acuosa o etanólica de FeCl_3 ; aunque hay coloración en presencia de cualquier compuesto fenólico, la aparición de un color verde sugiere la presencia de un derivado de catecol y de un color azul de un derivado de pirgólol.

² SING DE UGAZ, Olga Lock. *Colorantes naturales*.
https://books.google.com.gt/books/about/Colorantes_Naturales.html?id=LjmH_3qjaEIC.
Consulta: 13 de octubre de 2015.

Las técnicas cromatográficas usadas para la separación de flavonoides o su detección en un extracto de plantas son también muy variadas en cuanto a las técnicas mismas, así como las condiciones de la cuales ellas pueden realizarse.

La cromatografía en papel es la más antigua y aun usada desde su introducción en 1948 por Bate Smith. Otra técnica es la cromatografía en capa fina (cp). La detección de los flavonoides por estas dos técnicas puede hacerse por el color que desarrollan en el espectro visible y en el UV, apareciendo como manchas fluorescentes azules, rosadas, naranjas, purpuras y otras, las cuales se intensifican o cambian de color luego de su exposición a vapores de amoníaco y comparándolas con relaciones conocidas de color y estructura. Otra técnica es la cromatografía en columna (cc), actualmente muy usada para purificaciones preliminares y para separaciones a escala preparatoria de grandes cantidades de flavonoides de extractos crudos de plantas.

Reacciones coloridas

- Reacción de Shinoda: al extracto alcohólico incoloro o ligeramente amarillo se le coloca magnesio y unas pocas gotas de ácido clorhídrico (HCl) concentrado; el desarrollo inmediato de coloración es indicativo de la presencia de flavonas y flavonoles (amarillo a rojo), flavanonoles (rojo a magenta) flavanonas (rojo, magenta, violeta, azul), isoflavonas (amarillo), isoflavononas, chalconas y auronas no dan coloración.
- Reacción con ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado: a la muestra se le agrega una gota de ácido y se observa si hay cambio de color: las flavonas y flavonoles dan coloraciones fuertemente amarillas, las flavanonas, anaranjadas o guindas; las chalconas y auronas, rojo guinda o rojo azulado.

- Reacción con cloruro férrico: a la muestra se le agregan 3 a 5 gotas de cloruro férrico al 10 % (w/v) y se observa si hay cambio de color flavonas y flavonoles (amarillo a rojo), flavanonoles (rojo a magenta), flavanonas (rojo, magenta, violeta, azul), isoflavonas (amarillo), isoflavononas, chalconas y auronas no dan coloración.

2.4 Lixiviación y operaciones unitarias

Para retirar una fracción soluble (colorante) en forma de solución a partir de una fase sólida (hoja de teca), permeable e insoluble, se utiliza la lixiviación, operación unitaria de transferencia de masa. El mecanismo de la lixiviación puede incluir una disolución física simple o la disolución facilitada por una reacción química. Deberán considerarse los siguientes factores: velocidad de transporte de disolvente en la masa que se va a lixiviar, la posibilidad que haya una resistencia membranosa y el efecto que pueda tener la reacción química en la rapidez de la lixiviación. Es posible distinguir los sistemas de lixiviación según el ciclo de operación, la dirección de las corrientes, el número de etapas y por el método de contacto. Las variables que intervienen en el proceso de lixiviación independiente de la escala de producción son:

- Preparación de la materia prima: el proceso de lixiviación se ve favorecido por el aumento de la superficie por unidad de volumen de sólidos que se deban lixiviar y por la disminución de las distancias radiales que se deben atravesar al interior de los sólidos. La disminución del tamaño de partículas contribuye a ambas cosas. Por otra parte, los sólidos finos provocan una velocidad lenta de percolación, dificultan la separación de sólidos y producen quizá un sólido de mala calidad. Estas características establecen las bases para un tamaño óptimo de partículas.

- **Agitación:** la eficiencia del proceso extractivo es función del equilibrio de saturación del solvente. La agitación hace que nuevas cantidades de solvente, pobre en sustancias extraíbles, entren en contacto con el sólido y un nuevo punto de equilibrio de saturación sea alcanzado. El movimiento del líquido, con ayuda de bombas para recirculación del solvente o agitadores mecánicos, desplaza el equilibrio en el sentido de la saturación del solvente que aumenta la eficiencia del proceso.
- **Temperatura:** la disolución de las sustancias extraíbles es facilitada por el aumento de la temperatura, por contribuir al desplazamiento de la constante de equilibrio de saturación y aumenta la eficiencia del proceso. Este aumento también puede causar la pérdida de sustancias volátiles. La temperatura de la extracción debe seleccionarse de tal manera que se obtenga el mejor balance de solubilidad, presión de vapor del disolvente, difusividad del soluto, selectividad del disolvente y sensibilidad del producto.
- **pH:** el pH influye en la solubilidad de diversos compuestos, ya que permite la posibilidad de formación de sales. Durante la lixiviación de extractos naturales el pH puede influir en la disolución de la celulosa de la materia prima. Además, es indicativo del grado de avance de la reacción, equilibrio y finalización.
- **Naturaleza del disolvente:** el disolvente seleccionado ofrecerá el mejor balance de varias características deseables: alto límite de saturación y selectividad respecto al soluto por extraer, capacidad para producir el material extraído con una calidad no alterada por el disolvente, estabilidad química en las condiciones del proceso, baja viscosidad, baja presión de vapor, baja toxicidad e inflamabilidad, baja densidad, baja tensión superficial, facilidad y economía de recuperación de la corriente de extracto y costo. Sin

embargo, son los aspectos específicos de cada aplicación los que determinan su interacción y significancia relativa.

- Tiempo de extracción: el tiempo de extracción se determina experimentalmente en función del solvente y del equipo seleccionado. Esta variable es resultante de todos los factores mencionados previamente. El tiempo de extracción debe ser suficiente para permitir la separación de los compuestos de interés, aunque se debe prestar cuidado para que no sea excesivo. Prolongar el tiempo de extracción más allá del estrictamente necesario, no influye en el proceso negativamente, pero sí influye en los costos del consumo de energía y de mano de obra no necesario, lo que acarrea un encarecimiento del proceso.
- Composiciones y cantidades de las corrientes finales: están ligadas básicamente con una cantidad dada en forma arbitraria: la capacidad de producción de la planta de lixiviación es decir la velocidad de producción del extracto o la velocidad de purificación de la materia prima que se debe extraer. Cuando existen opciones, el grado de eliminación del soluto y la concentración de la corriente de extracto seleccionada son los parámetros que maximizan la economía del proceso.
- Ciclo de lixiviación y método de contacto: por lo general, la selección entre una operación intermitente y continua depende básicamente del tamaño y naturaleza del proceso del cual forma parte la extracción. La elección de un percolador o una técnica de dispersión de sólidos dependen principalmente de la docilidad de la extracción para realizar una percolación eficaz y suficientemente rápida.

- Tipo de reactor: el tipo específico de reactor que es más compatible con la combinación seleccionada de los parámetros precedentes rara vez se percibe en forma clara e inequívoca sin dificultad. Sin embargo, al final, este es el objetivo. La verdad es que siempre los últimos criterios son la confiabilidad y la utilidad.

2.5 Operaciones unitarias del proceso de obtención de colorante

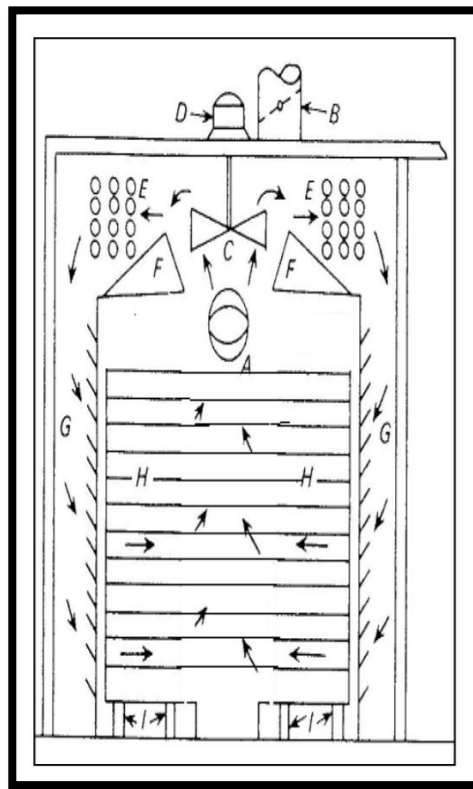
Otras operaciones unitarias, que incluyen transferencia de masa, calor y en las que intervienen partículas sólidas (molienda, cribado y filtración), las cuales forma parte del proceso de obtención del extracto colorante. Las primeras tres se realizan antes de proceder a la lixiviación y las siguientes se aplican al extracto colorante.

- Reducción de tamaño de la partícula: este término es aplicado a todas las formas en que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. Existen diferentes métodos con fines diferentes, habitualmente se utilizan en los equipos cuatro formas de reducción de tamaño: compresión, impacto, frotación o rozamiento y corte.
- Cribado: la clasificación de sólidos por diámetros se realiza para facilitar las etapas subsecuentes del proceso. De esta forma se logra una eficiencia mejor mediante la eliminación de finos. Los procedimientos para separar los componentes de una mezcla se clasifican en dos grupos: las operaciones disfuncionales, que implican cambios de fases o transporte de materia de una fase a otra, y las separaciones mecánicas útiles para separar gotas líquidas o partículas sólidas como es el caso de la semilla de aguacate. Las técnicas están basadas en las diferencias físicas entre partículas: tamaño, forma o densidad. Los métodos generales son:

- El cribado: es la separación de una mezcla de diversos tamaños de partícula por medio de la utilización de una superficie de tamiz que actúa como medidor múltiple de aceptación y rechazo, y las proporciones finales consisten en granos de tamaños más uniformes que la mezcla original.
- La utilización de la diferencia de velocidades de sedimentación de partículas cuando se desplazan en el seno de un líquido o un gas: el cribado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en su tamaño, así se separan después del corte las partículas de la hoja de teca, colocándolas sobre la superficie del tamiz, las de menor tamaño o finos pasan a través del tamiz, mientras que las de mayor tamaño colan. Un solo tamiz puede realizar una separación en dos fracciones. Dichas fracciones se dice que no están dimensionadas, ya que, si bien se conocen los límites superior o inferior de los tamaños de partícula de cada una de las fracciones, no se conocen los límites de tamaño. Los tamices industriales se construyen con tela metálica, telas de seda o plástico, barras metálicas, placas metálicas perforadas, o alambres de sección transversal triangular. Se utilizan diferentes metales, siendo el acero al carbono y el acero inoxidable los más frecuentes. El tamaño de tamices normalizados está comprendido entre 4 pulgadas y 400 mallas y pueden escalarse en una serie de tamices de aberturas de sucesión fija por ejemplo la escala básica estándar original de la criba de Tyler.

- Secado: en general el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado de sólidos húmedos es por definición un proceso térmico. Aunque con frecuencia se complica por la difusión en el sólido. Cuando intervienen transmisiones de calor y transferencia de materia, el mecanismo del secado depende de la naturaleza de los sólidos y del método de contacto entre los sólidos y el gas. El secadero a utilizar en el secado de las hojas de teca es un secadero de bandejas de flujo transversal. Consiste en una cámara rectangular de chapa metálica que contiene 15 bastidores H cada bastidor lleva una bandeja poco profunda, en forma cuadrada que se cargan con el material a secar. Un ventilador C y el motor D, pasando sobre los calentadores E. Las placas deflectoras G distribuyen el aire uniformemente sobre el conjunto de bandejas. Parte de aire húmedo se expulsa de forma continua a través del conducto de descarga B, mientras que por A entra la reposición de aire fresco. Los secaderos de bandejas resultan convenientes cuando la capacidad de producción es pequeña. El secado por circulación de aire sobre capas estacionarias de sólidos es lento y, por consiguiente, los ciclos de secado son largos, de 4 a 48 horas por ciclo. Ocasionalmente se utiliza el secado con circulación transversal, pero esto es poco frecuente, ya que no es necesario ni económico. Prácticamente pueden secar cualquier producto, pero frecuentemente se utilizan en el secado de materiales valiosos como colorantes y productos farmacéuticos.

Figura 3. Diagrama del secador de bandejas



Fuente: TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. p. 68.

- Filtración: es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido circula a través del medio filtrante en virtud de una diferencia de presión a través del medio. Por esta razón, los filtros se clasifican atendiendo a si operan con una presión arriba del medio filtrante, los que lo hacen con presión atmosférica aguas arriba del medio filtrante y aquellos que presentan vacío aguas abajo. Se dividen en dos grandes grupos: filtros clarificadores, ya que las partículas del sólido son atrapadas en el interior del medio filtrante; y filtros de torta donde

las partículas sólidas entran en los poros del medio filtrante y rápidamente comienzan a ser recogidas sobre la superficie del medio filtrante formándose una torta.

- **Evaporación:** el objetivo de la evaporación es concentrar una disolución consistente en un soluto no volátil y un disolvente volátil. En la mayor parte de las evaporaciones el disolvente es agua. La evaporación se realiza vaporizando una parte del disolvente para producir una disolución concentrada. Normalmente en evaporación, el producto valioso es el líquido concentrado mientras que el vapor se condensa y se desecha, recibiendo el nombre de evaporación de simple efecto. El método general para aumentar la evaporación por kilogramo de vapor de agua utilizando una serie de evaporadores entre el suministro de vapor vivo y el condensador recibe el nombre de evaporación en múltiple efecto.

2.6 Reacciones de los colorantes naturales ante diferentes factores

- **Efectos de la acidez sobre el color de los flavonoides:** tanto las antocianinas como las antoxantinas son compuestos anfóteros, con la capacidad de reaccionar tanto con ácidos como bases. Las antoxantinas pueden cambiar de un color amarillo en un medio alcalino a un blanco cremoso en medio neutral y carecen de color en medios ácidos. Las antocianinas existen en una forma que es roja en medios ácidos. Muchos de estos pigmentos cambian a anhidro púrpura o a la base de color, a medida que la acidez en el medio disminuye y el pH se aproxima a 7. En el medio alcalino ocurre un cambio posterior al azul. Dichos cambios condujeron a un investigador a clasificar a estos pigmentos como camaleones vegetales.³

³ LABÍN G., José Enrique. *Lixiviación de colorantes del tipo flavonoides contenidos en la corteza de la especie forestal aliso (Alnus Arguta (schtdl) Spach)*. p. 9 - 14

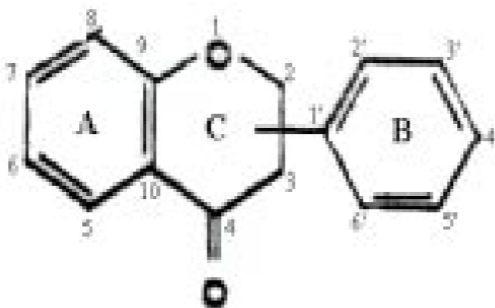
- Características químicas de flavonoides

El término flavonoides denota un grupo muy amplio de compuestos polifenólicos caracterizados por una estructura benzo- γ -pirano, los cuales están ampliamente distribuidos en el reino vegetal y se encuentran de forma universal en las plantas vasculares, en forma de glicósidos. Ellos son muy importantes para el desarrollo y de buen funcionamiento de las plantas, ya que actúan como atrayentes de animales en la oviposición, como agentes protectores contra la luz UV o contra la infección por organismos fitopatógenos; además, estos compuestos presentan propiedades relacionadas con la salud humana, lo cual está basado en su actividad antioxidante.

- Estructura química

Químicamente, estas sustancias son de naturaleza fenólica y se caracterizan por poseer dos anillos aromáticos bencénicos unidos por un puente de tres átomos de carbono, con la estructura general C6 -C3 -C6, los cuales pueden formar o no un tercer anillo.

Figura 4. **Estructura básica del esqueleto flavonolico**



Fuente: CARATAYA O., Reynaldo Ines. Cultivos *tropicales*, [flavonoides: características químicas y aplicaciones]. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>. Consulta: 25 de abril de 2018.

- Flavonas y flavonoles

Están presentes en muchos vegetales y son los flavonoides más comunes; están ampliamente distribuidos en todos los pigmentos amarillos de las plantas, a pesar de que este es normalmente debido a los carotenoides. Flavanonas y flavanoles. Estos compuestos existen en muy pequeñas cantidades comparados con los otros flavonoides. Son incoloros o solo ligeramente amarillos. Por su baja concentración y su característica incolora, ellos han sido grandemente desatendidos. En cambio sus glicósidos son bien conocidos, como son la hesperidina y naringina de la corteza de los frutos cítricos. Los flavanoles son probablemente los flavonoides menos conocidos. Antocianinas. Los antocianos siempre se encuentran como glicósidos; después de la clorofila, son el grupo más importante de pigmentos en las plantas visibles al ojo humano y proporcionan el color malva, rosa, violeta y azulado a numerosas flores y frutos, como por ejemplo la fresa, el clavel, las manzanas y la uva constituyen hasta aproximadamente 30 % de su masa seca.

Isoflavonoides. Casi todos los flavonoides tienen el anillo heterocíclico en posición 2; en los isoflavonoides el anillo B ocupa la posición 3. Las isoflavonas son todas coloreadas y están mucho menos distribuidas en las plantas; de hecho, están casi restringidas a las leguminosas y se destacan por su papel como fitoalexinas. Chalconas y dihidrochalconas. Las chalconas son poco abundantes, pues se convierten en flavanonas en medio ácido y la reacción es fácilmente observable in vitro, ya que las chalconas son mucho más coloreadas que las flavanonas, particularmente en medio básico donde son anaranjadas-rojizas. Auronas. Son los pigmentos amarillos dorados que existen en ciertas flores. En la Tabla I se muestran ejemplos de algunos tipos de flavonoides, su estructura y parte de sustitución.

Figura 5. **Ejemplos de flavonoides, estructura y parte de sustitución**

Flavonoide	Estructura anillo C	Parte de sustitución
Flavanona	naringina	5,4'-OH;7-O-Neo ^a
	hesperidina	5,3'-OH;4'-OMe ^a
	eriodictiol	5,7,3',4'-OH
Flavona	tangeritina	5,6,7,8,4'-OMe ^a
	luteolina	5,7,3',4'-OH
	apigenina	5,7,4'-OH
Flavonol	kaemferol	5,7,3,4'-OH
	guercetina	5,7,3,3',4'-OH
	rutina	5,7,3',4'-OH;3-o-Rut ^a
Isoflavonoides	genisteina	5,7,4'-OH
	diadzeina	7,4'-OH
	orobol	5,7,3',4'-OH
Antocianidinas	apigenidina	5,7,4'-OH
	luteolinidina	5,7,3,4'-OH
	cianidina	3,5,7,3',4'-OH
Auronas	sulfuretina	6,3',4'-OH
	leptosidina	6,3',4'-OH;7-OMe ^a

Fuente: CARATAYA O., Reynaldo Ines. Cultivos *tropicales*, [flavonoides: características químicas y aplicaciones]. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>. Consulta: 25 de abril de 2018.

La estructura base de los flavonoides puede sufrir varias modificaciones como pueden ser: adicionar (o reducir) grupos hidroxilos, la metilación de grupos hidroxilos o del núcleo del flavonoide, metilación de grupos hidroxilos en

posición orto, dimerización (para producir biflavonoides), formación de bisulfatos y la más importante, glicosilación de grupos hidroxilos.⁴

⁴CARATAYA O., Reynaldo Ines. *Cultivos tropicales, [flavonoides: características químicas y aplicaciones]*. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>. Consulta: 25 de abril de 2018.

3. METODOLOGÍA

3.1 Localización

La parte experimental de la investigación se realizó en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE), Sección de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT), Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.2 Recursos humanos disponibles

El recurso humano en la presente investigación es:

- Investigadora: Cecilia Dolores Vaquero Rivas.
- Asesores: Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales e Ing. Qco. Mario José Mérida Meré.
- Revisora: Inga. Qca. Cinthya Patricia Ortíz Quiroa.

3.3 Variables

Propiedad, característica o atributo que es susceptible a asumir diferentes valores, es decir, puede variar. Dentro de ellas se encuentran las variables independientes, consideradas como las causas y las variables dependientes; consideradas como el factor que es observado y medido para determinar el efecto de la variable independiente.

- Variables dependientes
 - Propiedades fisicoquímicas
 - Rendimiento extractivo
 - Índice de refracción
 - Densidad
 - Análisis fitoquímico
 - Flavonoles
 - Flavanoles
 - Flavanonas
 - Isoflavonas
 - Chalconas y auronas
- Variables independientes
 - Porcentaje de humedad de la materia prima
 - Concentración de solvente

3.3.1 Variable de respuesta

La variable de respuesta para cada tratamiento será la obtención del rendimiento extractivo, en función de la concentración del solvente y el porcentaje de humedad de la materia prima.

3.4 Delimitación del campo de estudio

Se evaluó a nivel laboratorio mediante el método de ebullición por reflujo, el rendimiento extractivo de colorante natural de la hoja del árbol de teca variando la concentración del solvente de 95 %, 50 % y 35 % v/v con un tiempo de ebullición de 6 h. La relación entre materia prima y solvente fue de 1:15. Se utilizó materia prima fresca y materia prima deshidratada en un secador de bandejas.

3.5 Obtención de las muestras

3.5.1 Lugar de obtención

La plantación de árboles de teca está ubicada en la Costa Sur de Guatemala, específicamente en la Finca Las Victorias, Taxisco, Santa Rosa.

3.5.2 Lugar de experimentación

- La materia prima se trituró para reducir el tamaño.
- Se colocaron 30 g de materia prima en un balón de fondo plano de 1 L de capacidad y se agregaron 450 mL de etanol (según concentración a utilizar 35 %, 50 % o 90 %), se agregaron 3 perlas de ebullición y se colocaron en

plancha de calentamiento a temperatura de ebullición conectado al condensador por un tiempo de 6 h.

- Se filtró con una bomba de vacío.
- Para la separación del solvente-extracto se concentró a presiones negativas de 15 inHg en un rotavapor, a temperatura no mayor de 40 °C y con rotación constante del equipo. El tiempo de extracción del solvente es continuo, hasta que la muestra no tenga presencia del solvente. El residuo obtenido contenía extracto colorante, que fue almacenado.
- Después de obtener los extractos se realizaron pruebas físicas y químicas, por medio de técnicas de identificación de rendimiento, densidad, índice de refracción y reacciones coloridas.

3.6 Recursos materiales disponibles

3.6.1 Materia prima

- Hoja de árbol de teca

3.6.2 Equipo

- Plancha de calentamiento
- Bomba de vacío
- Balanza
- Refractómetro
- Refrigeradora

- Mangueras
- Rotavapor
- Equipo de destilación
- Secador de bandejas
- Soporte universal
- Embudo

3.6.3 Cristalería

- Balones aforados
- Balones de fondo plano
- Kitasato
- Erlenmeyer
- Condensadores
- Probetas
- Micropipetas
- Picnómetro
- Varillas de agitación
- Perlas de ebullición
- Viales
- Vidrio de reloj
- Beaker
- Tubos de ensayo

3.6.4 Reactivos

- Etanol al 95 %
- Agua desmineralizada

3.6.5 Materiales adicionales

- Papel filtro
- Papel parafilm
- *Masking tape*
- Agitadores magnéticos

3.7 Técnica cualitativa o cuantitativa

Análisis estadístico de la comparación de resultados de propiedades fisicoquímicas.

3.7.1 Técnica cuantitativa

Uso de magnitudes numéricas que fueron tratadas mediante herramientas del campo de la estadística.

3.7.1.1 Propiedades fisicoquímicas

Propiedades medidas y observadas para fines de estudio.

3.7.1.1.1 Rendimiento

Se determinó en función de la masa inicial de materia prima y la masa de extracto de colorante obtenida.

3.7.1.1.2 Densidad

La determinación de la densidad de los extractos tintóreos se realizó con un picnómetro de 1 mL a temperatura de 20 °C.

3.7.1.1.3 Índice de refracción

- Se utilizó un refractómetro Abbe NAR-1T liquid.
- Se limpió con Xilol.
- Se vertió una gota del extracto tintóreo en el prisma evitando formar burbujas.
- Se visualizó por el lente y, por medio de los tornillos de la base del refractómetro, se ajustó el campo hasta que apareció dividido en una porción oscura y otra iluminada.
- Se ajustó la posición de la línea de modo que pasara por el punto de intersección de los hilos del retículo y se tomó nota de la lectura del aparato.

3.7.2 Técnica cualitativa

Pruebas basadas al cambio de coloración por adición de reactivos.

3.7.2.1 Análisis fitoquímico

Los flavonoides son metabolitos secundarios de las plantas, esto es: compuestos que la planta elabora.

3.7.2.1.1 Identificación de flavonoides

Se utilizó cromatografía en capa fina.

3.7.2.1.1.1 Análisis cromatográfico en capa fina

Para realizar el análisis cromatográfico se utilizó la técnica de capa fina; para realizar este análisis se prepararon varias fases.

3.7.2.1.1.1.1 Preparación de la muestra

Se pesó 0,1 g de muestra y se diluyó en 10 mL de etanol (según concentración utilizada para la extracción) por 5 min en baño de María. Para homogenizar la solución se sometió a fuerte agitación, en un vortex. Se filtraron las soluciones y el filtrado se colocó en un tubo de ensayo con tapón identificado.

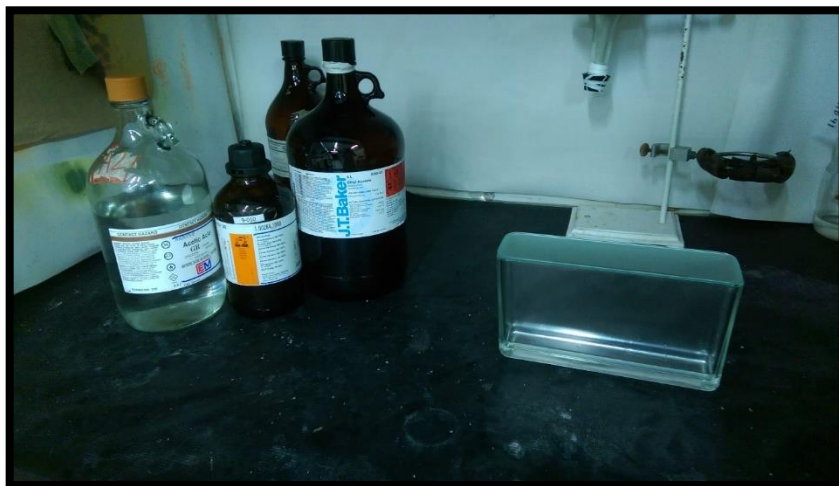
3.7.2.1.1.1.2 Preparación de las soluciones estándar

En un beaker se colocaron 5 mg del estándar a utilizar y se mezclaron con 10 mL de etanol; se agitó para homogenizar la solución. Estas soluciones fueron guardadas en recipientes cerrados y debidamente identificados.

3.7.2.1.1.1.3 Preparación de la fase móvil

En un beaker se mezclaron 50 mL de acetato de etilo, 5,5 mL de ácido fórmico, 5,5 mL de ácido acético glacial y 13,5 mL de agua (la mezcla se tapó para evitar evaporación).

Figura 6 **Fase móvil**



Fuente: elaboración propia.

3.7.2.1.1.1.4 Preparación de la placa cromatográfica

- Se cortó una placa de 10 cm x 18 cm de un cromatofolio de aluminio de sílice gel 60F254 y se realizó lo siguiente:
- Se trazó con lápiz, una línea horizontal un centímetro arriba de la parte inferior de la placa.
- Se marcaron a lo largo de la línea horizontal 18 puntos, con 1 cm de separación entre cada uno.
- Con un tubo capilar se inyectaron 5 μL de cada solución preparada (muestra + etanol) en cada punto.

Figura 7 **Placa para cromatografía**



Fuente: elaboración propia.

3.7.2.1.1.1.5 Desarrollo de la placa cromatográfica

Se colocó la placa dentro de la cámara cromatográfica que contenía la fase móvil; se dejó que las líneas que aparecen, lleguen a una distancia de 2 cm abajo del borde superior de la placa. Se retiró la placa y se colocó en la campana de extracción; para que seque la fase móvil, fue necesario rociar la placa con solución reveladora; luego, se observó la placa con una lámpara ultravioleta.

Figura 8. **Lectura de placa de cromatografía**



Fuente: elaboración propia.

3.7.2.1.1.6 Preparación de la solución reveladora

A la placa se le aplicó un revelador para observar de mejor manera los colores que se forman en la placa al introducirla a una cámara de luz ultravioleta; este revelador se preparó con:

- Difenilboriloexietilamina en 1 % de metanol: Se pesó 0,2 g de NP y se mezcló con 20 mL de metanol.
- Polietilenglicol 4 000 en 5 % de etanol: se pesó 1 g de PEG y se mezcló con 20 mL de etanol. Luego de preparar las soluciones, se roció la placa con cierta cantidad de cada solución reveladora y se observó con luz ultravioleta

UV 254 nm y UV 365 nm, los puntos que coinciden con los puntos de las soluciones estándar ultravioleta UV 254 nm fluorescencia zonas azules o amarillas y UV 365 nm fluorescencia amarilla, azul o verde, identificando de esta manera la presencia de colorantes del tipo flavonoides.

3.7.2.1.2 Reacciones coloridas

La muestra se diluyó agregando 2 mL de éter de petróleo o hasta volver incolora la solución.

Figura 9 Preparación de reacciones coloridas



Fuente: elaboración propia.

- Reacción de Shinoda: al extracto alcohólico incoloro o ligeramente amarillo se agregó magnesio y unas gotas de ácido clorhídrico (HCl) concentrado el desarrollo inmediato de coloración es indicativo de la presencia de flavonas y flavonoles (amarillo a rojo), flavanonoles (rojo a magenta) flavanonas (rojo, magenta, violeta, azul), isoflavonas (amarillo), isoflavononas, chalconas y auronas no dan coloración.
- Reacción con ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado: a la muestra se agregó una gota de ácido y se observó el cambio de color: las flavonas y flavonoles dan coloraciones fuertemente amarillas, las flavanonas, anaranjadas o guindas; las chalconas y auronas, rojo guinda o rojo azulado.
- Reacción con cloruro férrico: a la muestra se agregó 3 a 5 gotas de cloruro férrico al 10 % (w/v) y se observó si hay cambio de color flavonas y flavonoles (amarillo a rojo), flavanonoles (rojo a magenta) flavanonas (rojo, magenta, violeta, azul), isoflavonas (amarillo), isoflavononas, chalconas y auronas no dan coloración.

3.8 Recolección y ordenamiento de la información

Tabulación de datos obtenidos en la medición de parámetros fisicoquímicos:

- Rendimiento
- Densidad
- Índice de refracción

Tabla I. **Rendimiento del extracto colorante de la materia prima fresca**

Etanol	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio de porcentaje de rendimiento (%)
35 %	30,03	4,577	15,24	14,35
	30,04	3,946	13,14	
	30,01	4,403	14,67	
50 %	30,02	3,062	10,20	9,660
	30,03	3,016	10,05	
	30,01	2,624	8,740	
95 %	30,04	1,667	5,550	5,490
	30,04	1,664	5,540	
	30,03	1,619	5,390	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Rendimiento del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio de porcentaje de rendimiento (%)
35 %	30,01	6,382	21,27	21,54
	30,00	6,386	21,29	
	30,03	6,629	22,08	
50 %	30,00	5,147	17,15	17,84
	30,00	5,441	18,14	
	30,06	5,484	18,24	
95 %	30,02	3,708	12,35	12,12
	30,01	3,279	10,93	
	30,04	3,931	13,09	

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Densidad del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Promedio de densidad (g/mL)
35 %	1,312	1,000	1,312	1,270
	1,246	1,000	1,246	
	1,253	1,000	1,253	
50 %	1,322	1,000	1,322	1,320
	1,320	1,000	1,320	
	1,321	1,000	1,321	
95 %	1,134	1,000	1,134	1,130
	1,137	1,000	1,137	
	1,134	1,000	1,134	

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Densidad del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	Masa (g)	Volumen (mL)	Densidad (g/mL)	Promedio de densidad (g/mL)
35 %	1,340	1,000	1,340	1,370
	1,385	1,000	1,385	
	1,350	1,000	1,350	
50 %	1,433	1,000	1,433	1,530
	1,574	1,000	1,574	
	1,574	1,000	1,574	
95 %	1,521	1,000	1,521	1,510
	1,499	1,000	1,499	
	1,499	1,000	1,499	

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Índice de refracción del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	IR	Promedio
35 %	1,370	1,370
	1,370	
	1,370	
50 %	1,370	1,370
	1,370	
	1,370	
95 %	1,380	1,380
	1,380	
	1,380	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Índice de refracción del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	IR	Promedio
35 %	1,370	1,370
	1,370	
	1,370	
50 %	1,380	1,380
	1,380	
	1,380	
95 %	1,370	1,370
	1,370	
	1,370	

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	flavonoides	flavanonoles	flavanonas	isoflavonas
35 %	+	+	+	+
	+	+	+	+
	+	+	+	+
50 %	+	+	+	+
	+	+	+	+
	+	+	+	+
95 %	+	-	+	-
	+	-	+	-
	+	-	+	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Reacción colorida Shinoda del extracto de colorante de materia prima seca**

Etanol	flavonoides	flavanonoles	flavanonas	isoflavonas
35 %	+	+	+	+
	+	+	+	+
	+	+	+	+
50 %	+	+	+	+
	+	+	+	+
	+	+	+	+
95 %	+	-	+	-
	+	-	+	-
	+	-	+	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	flavonoles	flavonas	chalconas y auronas
35 %	+	+	-
	+	+	-
	+	+	-
50 %	+	+	-
	+	+	-
	+	+	-
95 %	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	flavonoles	flavanonas	chalconas y auronas
35%	+	+	-
	+	+	-
	+	+	-
50%	+	+	-
	+	+	-
	+	+	-
95%	-	-	-
	-	-	-
	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

3.8.1 Análisis de varianza

Análisis estadístico de la comparación de resultados de propiedades fisicoquímicas.

Tabla XI. **Medias y desviaciones estándar de densidad, índice de refracción y rendimiento del extracto colorante de materia prima fresca**

Propiedad	Solvente	Promedio	σ	σ_{error}	Intervalo de confianza de 95 %		Mínimo	Máximo
					L. inferior	L. superior		
Densidad	35 %	1,270	0,030	0,017	1,236	1,304	1,253	1,287
	50 %	1,320	0,001	4E-4	1,319	1,321	1,320	1,320
	95 %	1,130	0,001	7E-4	1,129	1,131	1,129	1,131
Índice de refracción	35 %	1,370	1E-5	1E-5	1,370	1,370	1,370	1,370
	50 %	1,370	4E-4	2E-4	1,370	1,370	1,370	1,370
	95 %	1,380	0,001	5E-4	1,379	1,381	1,379	1,381
Rendimiento	35 %	14,35	0,890	0,514	13,34	15,35	13,84	14,86
	50 %	9,660	0,650	0,375	8,924	10,40	9,285	10,04
	95 %	5,490	0,070	0,040	5,411	5,570	5,450	5,530

Fuente: elaboración propia

Tabla XII. **Medias y desviaciones estándar de densidad, índice de refracción y rendimiento del extracto colorante de materia prima seca**

Propiedad	Solvente	Promedio	σ	σ_{error}	Intervalo de confianza de 95 %		Mínimo	Máximo
					L. inferior	L. superior		
Densidad	35 %	1,370	0,021	0,012	1,346	1,394	1,358	1,382
	50 %	1,530	0,066	0,038	1,455	1,605	1,492	1,568
	95 %	1,510	0,010	0,006	1,498	1,523	1,504	1,516
Índice de refracción	35 %	1,370	0,001	0,001	1,369	1,371	1,369	1,371
	50 %	1,380	0,001	0,001	1,379	1,381	1,379	1,381
	95 %	1,370	1E-4	1E-4	1,370	1,370	1,370	1,370
Rendimiento	35 %	21,54	0,380	0,219	21,10	21,97	21,32	21,76
	50 %	17,84	0,490	0,282	17,29	18,39	17,56	18,13
	95 %	12,12	0,900	0,520	11,10	13,14	11,60	12,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Experimento de dos factores para rendimiento extractivo del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Factor A (solvente)	Factor B (humedad de materia prima)				Total
	Seca	Σ Seca	Fresca	Σ Fresca	
35 %	21,27	64,63	15,24	43,06	107,7
	21,29		13,14		
	22,08		14,67		
50 %	17,15	53,53	10,20	28,99	82,52
	18,14		10,05		
	18,24		8,740		
95 %	12,35	36,37	5,550	16,48	52,85
	10,93		5,540		
	13,09		5,390		
Total	154,5		88,53		243,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis de varianza de dos factores para rendimiento extractivo del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F_{Calculada}
Factor A	251,2	1	251,2	416,7
Factor B	242,0	2	121,0	200,8
Interacción	1,851	2	0,925	1,535
Residual	7,234	12	0,603	
Total	502,3	17		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Experimento de dos factores para densidad del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Factor A (solvente)	Factor B (humedad de materia prima)				Total
	Seca	∑ Seca	Fresca	∑ Fresca	
35 %	1,340	4,110	1,312	3,810	7,920
	1,380		1,246		
	1,380		1,253		
50 %	1,430	4,580	1,322	3,960	8,540
	1,570		1,320		
	1,570		1,321		
95 %	1,520	4,520	1,134	3,400	7,920
	1,500		1,137		
	1,500		1,133		
Total	13,21		11,18		24,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Análisis de varianza de dos factores para densidad del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F_{Calculada}
Factor A	0,043	1	0,043	29,34
Factor B	0,229	2	0,115	78,30
Interacción	0,056	2	0,028	19,29
Residual	0,018	12	0,001	
Total	0,346	17		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Experimento de dos factores para índice de refracción del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Factor A (solvente)	Factor B (humedad de materia prima)				Total
	Seca	∑ Seca	Fresca	∑ Fresca	
35 %	1,371	4,110	1,367	4,100	8,210
	1,369		1,367		
	1,369		1,367		
50 %	1,376	4,130	1,374	4,120	8,250
	1,378		1,374		
	1,376		1,375		
95 %	1,374	4,120	1,377	4,130	8,250
	1,372		1,377		
	1,371		1,379		
Total	12,36		12,36		24,71

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza de dos factores para índice de refracción del colorante natural de la hoja del árbol de teca**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F_{Calculada}
Factor A	1,921E-4	1	19,21E-5	172,9
Factor B	1,000E-7	2	2,778E-08	0,025
Interacción	6,140E-6	2	3,072E-05	27,65
Residual	1,330E-5	12	1,111E-06	
Total	2,669E-4	17		

Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS

Tabla XIX. Rendimiento del extracto colorante de materia prima fresca

Etanol	Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio de rendimiento $\pm \sigma$ (%)
35 %	15,24	14,35 \pm 0,89
	13,14	
	14,67	
50 %	10,20	9,660 \pm 0,65
	10,05	
	8,740	
95 %	5,550	5,490 \pm 0,07
	5,540	
	5,390	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Rendimiento del extracto colorante de materia prima seca

Etanol	Porcentaje de rendimiento (%)	Promedio de rendimiento $\pm \sigma$ (%)
35 %	21,27	21,54 \pm 0,38
	21,29	
	22,08	
50 %	17,15	17,84 \pm 0,49
	18,14	
	18,24	
95 %	12,35	12,12 \pm 0,90
	10,93	
	13,09	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Densidad del extracto colorante de materia prima fresca

Etanol	Densidad (g/mL)	Promedio de densidad $\pm \sigma$ (g/mL)
35 %	1,312	1,270 \pm 2,98E-2
	1,246	
	1,253	
50 %	1,322	1,320 \pm 7E-5
	1,320	
	1,321	
95 %	1,134	1,130 \pm 1E-5
	1,137	
	1,134	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Densidad del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	Densidad (g/mL)	Promedio de densidad $\pm \sigma$ (g/mL)
35 %	1,340	1,370 \pm 0,02
	1,385	
	1,350	
50 %	1,433	1,530 \pm 0,07
	1,574	
	1,574	
95 %	1,521	1,510 \pm 0,01
	1,499	
	1,499	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Índice de refracción del extracto del colorante de materia prima fresca**

Etanol	IR	Promedio $\pm \sigma$
35 %	1,370	1,370 \pm 0
	1,370	
	1,370	
50 %	1,370	1,370 \pm 4.0E-4
	1,370	
	1,370	
95 %	1,380	1,380 \pm 9E-4
	1,380	
	1,380	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Índice de refracción del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	IR	Promedio $\pm \sigma$
35 %	1,371	1,370 \pm 9E-4
	1,369	
	1,369	
50 %	1,376	1,380 \pm 9E-4
	1,378	
	1,376	
95 %	1,374	1,370 \pm 1,2E-3
	1,372	
	1,371	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	Flavonoides	Flavanoles	Flavanonas	Isoflavonas
35 %	+	+	+	+
50 %	+	+	+	+
95 %	+	-	+	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Reacción colorida de Shinoda del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	Flavonoides	Flavanoles	Flavonas	Isoflavonas
35 %	+	+	+	+
50 %	+	+	+	+
95 %	+	-	+	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima fresca**

Etanol	Flavonoles	Flavonas	Chalconas y auronas
35 %	+	+	-
50 %	+	+	-
95 %	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Reacción colorida con ácido sulfúrico del extracto colorante de materia prima seca**

Etanol	Flavonoles	Flavonas	Chalconas y auronas
35 %	+	+	-
50 %	+	+	-
95 %	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó la extracción y caracterización del colorante natural de la hoja del árbol de teca (*Tectona grandis*) con materia primas fresca y seca con el objetivo de evaluar el rendimiento con esta variable.

La extracción se realizó a escala laboratorio con solvente etanol en concentraciones: 35 %, 50 % y 95 %, con un tiempo de extracción de 6 h a temperatura de ebullición, la relación materia prima/solvente fue de 1:15 (w/v).

Por las variables independientes que son: porcentaje de humedad de la materia prima (2) y concentración del solvente (3) con 3 corridas cada una se obtuvo un total de 18 extracciones.

- Parámetros fisicoquímicos
 - Rendimiento

La tabla XIX se muestra los valores obtenidos de las muestras con materia prima fresca y se observa que el mayor rendimiento se obtiene con la concentración de solvente al 35 %. Este resultado fue de 15,24 %.

La tabla XX muestra los valores tabulados de rendimientos con materia prima seca y el mayor rendimiento es con etanol al 35 %. El resultado fue de 22,08 %.

En general, se obtuvo rendimientos más altos con el solvente de menor concentración, etanol al 35 %. En promedio el mejor resultado fue con materia prima seca, con un valor de 21,54 %.

En ambas variaciones de humedad de materia prima el resultado más bajo se obtuvo con la concentración de solvente del 35 %; en promedio el menor fue 12,12 % para la materia prima seca.

Según análisis de varianza de dos factores para el rendimiento extractivo de las variables independientes con una probabilidad de rechazo del 5 % la hipótesis nula se rechaza y se concluye que sí existe diferencia significativa en los resultados de rendimiento en función de la concentración del solvente y la humedad de la materia prima.

- Densidad

La densidad es la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

La tabla XXI tiene los resultados de las densidades de los extractos de materia prima fresca, de ella se observa que en promedio el valor más alto es con el solvente al 50 % con un valor de 1,32 g/mL y el valor más bajo con el solvente a mayor concentración 95 %, con un valor de 1,13 g/mL.

El mismo caso con la materia prima seca, en la tabla XXII se observa que el valor de densidad más alto es con solvente al 50 % con un resultado de 1,53 g/mL que en promedio no vario tanto con el de etanol al 95 %, fue un valor de 1,51 g/mL.

El análisis de varianza de dos factores para la densidad indica que la hipótesis nula planteada se debe rechazar y se concluye que sí existe diferencia significativa los resultados obtenidos en función de la concentración del solvente y humedad de la materia prima.

- Índice de refracción

Se denomina índice de refracción al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. El valor del agua es de 1,333.

La tabla XXIII tiene datos tabulados del índice de refracción para el extracto del colorante de materia prima fresca, siendo el valor más alto de 1,38 para el solvente al 95 % y 1,37 para el solvente al 35 % y 50 %.

La tabla XXIV tiene los resultados del índice de refracción de la materia prima seca, del cual se obtuvo el valor más alto con el solvente al 50 % es de 1.38 y para el solvente al 35 % y 95 % se obtuvo un resultado de 1,37.

Del análisis estadístico realizado para el índice de refracción se acepta la hipótesis nula y se concluye que no hay diferencia significativa en los resultados.

- Análisis fitoquímico

Los flavonoides son metabolitos secundarios de las plantas, esto es: compuestos que la planta elabora, pero no son vitales, pues en su ausencia el organismo puede continuar viviendo.

Los flavonoides son sustancias vegetales secundarias, que pueden actuar como estrógenos en el cuerpo y tener funciones protectoras.

Los flavonoides son responsables de la resistencia de las plantas a la fotooxidación de la luz ultravioleta del sol, intervienen en el transporte de la hormona auxina, y se cree que funcionan como defensa ante el herbivorismo. Una función importante cumplida en muchas plantas es la atracción de los animales polinizadores, a través del color o el olor que dan a la planta o a sus flores.

La tabla XXV y XVI tiene los datos tabulados de la reacción colorida Shinoda realizada al extracto colorante de la materia prima fresca y seca respectivamente; para ambos casos fueron resultados iguales; con solvente al 95 % no hay presencia de flavonoles e isoflavonas, pero positivo para las extracciones con solvente al 35 % y 50 %. Los metabolitos flavonoles y flavononas están presentes en todas las extracciones.

Las tablas XXVII y XXVIII tienen los resultados de la reacción colorida con ácido sulfúrico de la materia prima fresca y seca, respectivamente; con resultados iguales entre sí, siendo los resultados positivos de flavonoles y flavonas con solvente al 35 % y 50 % y negativas las chalconas y auronas. Para el solvente al 95 % no hay presencia de flavonoles, flavonas, chalconas y auronas.

CONCLUSIONES

1. Sí hay diferencia significativa en el rendimiento del extracto de colorante de la hoja del árbol de teca en función de la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
2. En promedio el mayor rendimiento del extracto de colorante de la hoja de teca fue de 21,54 %; se obtuvo con materia prima seca y concentración de etanol al 35 %.
3. Sí hay diferencia significativa en la densidad del extracto del colorante en función de la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
4. En promedio la densidad más alta se obtuvo con materia prima seca y etanol al 50 %. El resultado fue de 1,530 g/mL.
5. No hay diferencia significativa en el índice de refracción variando la concentración del solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
6. En el análisis fitoquímico no hay diferencia cualitativa con respecto a la concentración del solvente o porcentaje de humedad de la materia prima.

7. Los metabolitos secundarios chalconas y auronas no fueron detectados en ninguna extracción variando concentración de solvente y porcentaje de humedad de la materia prima.
8. En las concentraciones de solvente 35 % y 50 % con materia prima fresca y seca se detectaron: flavonoides, flavanoles, flavanonas, isoflavonas, flavonoles y flavonas.
9. Para el solvente al 95 % con materia prima fresca y seca, no hay presencia de flavanoles, isoflavonas, chalconas y auronas. Metabolitos secundarios que pueden actuar como estrógenos en el cuerpo y tener funciones protectoras.

RECOMENDACIONES

1. Obtener los extractos colorantes de la hoja del árbol de teca (*Tectona grandis*) en planta piloto.
2. Evaluar el rendimiento del extracto colorante de la hoja de teca (*Tectona grandis*) en función del nivel altitudinal de donde crece el árbol.
3. Evaluar el rendimiento del extracto colorante de la corteza de la hoja del árbol de teca.
4. Utilizar otro solvente diferente al etanol para evaluar el rendimiento y composición fisicoquímica y rendimiento del extracto.
5. Evaluar los extractos colorantes en función de la edad de la hoja.
6. Evaluar la composición química cuantitativa del extracto de colorante de la hoja del árbol de teca.

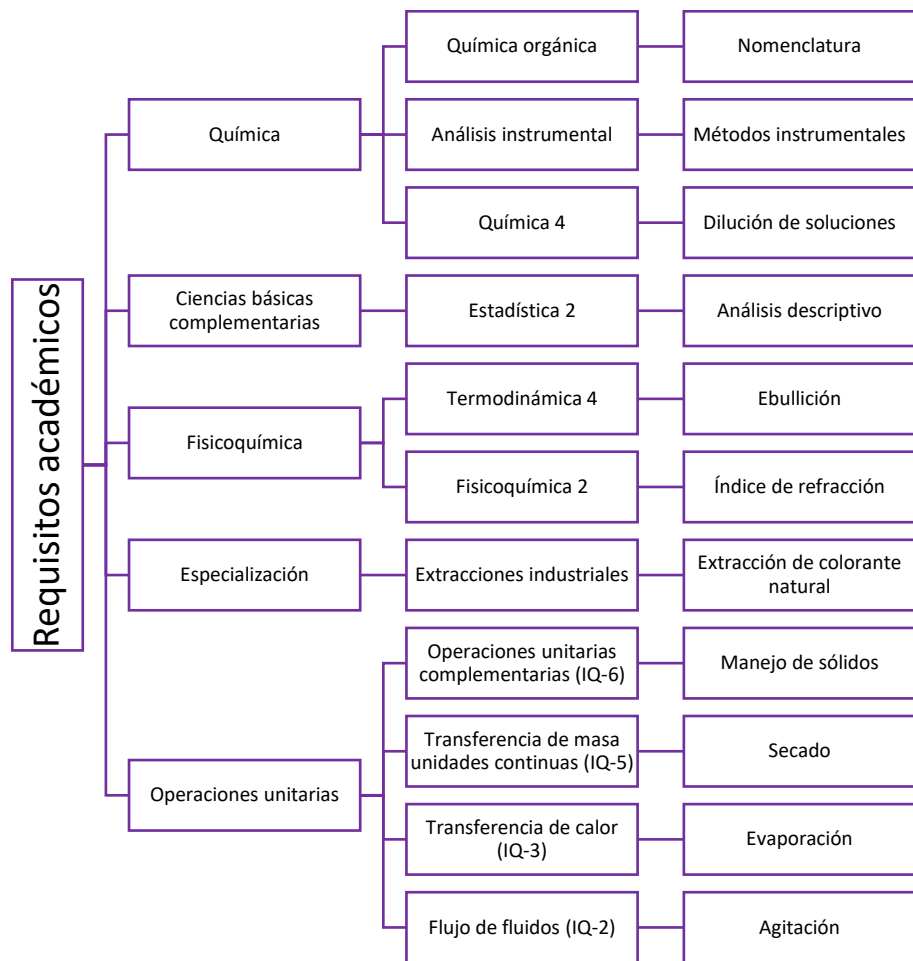
BIBLIOGRAFÍA

1. ANGURELL, Immaculada. CASAMITJANA, Nuria. CAUBET, Immaculada. DINARES, Immaculada. LLOR, Nuria. MUÑOZ TORREJO, Diego. NICOLAS, Ernesto. PÉREZ GARCÍA, M. Lluisa. PUJOL, M. Dolors. ROSELL, Gloria. SECO, Miquel. VELASCO, Dolors. *Operaciones básicas en el laboratorio de química*. [En línea]. http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_tip.html. [Consulta: 13 de octubre de 2015].
2. BARRERA G., Genaro Francisco. *Lixiviación de colorantes del tipo flavonoides contenidos en la corteza de la especie forestal aliso (Alnus Arguta (schtdl) Spach) utilizando dos solventes para su extracción, a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 112 p.
3. CARATAYA O., Reynaldo Ines. *Cultivos Tropicales, flavonoides: características químicas y aplicaciones*. [En línea]. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215009001.pdf>. [Consulta: 25 de abril de 2018].
4. *El Tecal*. [En línea]. <http://www.eltecal.com/DescripHoja.html>. [Consulta: 7 de enero de 2016].

5. FOSECA González, William. *Manual para productores de teca (Tectona grandis L.) en Costa Rica*. [En línea]. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/Fonseca2004ManualTeca.pdf>. [Consulta: 13 de octubre de 2015].
6. GARCÍA R., Eva Isabel. *Extracción y caracterización fisicoquímica de la fracción colorante de la semilla del aguacate (Persea Americana Miller) a nivel laboratorio*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 134 p.
7. LABÍN G., José Enrique. *Lixiviación de colorantes del tipo flavonoides contenidos en la corteza de la especie forestal aliso (Alnus Arguta (schtdl) Spach)*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 149 p.
8. MÉRIDA M, Mario José. *Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (Cocos Nucifera), como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 141 p.
9. SING DE UGAZ, Olga Lock. *Colorantes naturales*. [En línea]. https://books.google.com.gt/books/about/Colorantes_Naturales.html?id=LjmH_3qjaEIC. [Consulta: 13 de octubre de 2015].
10. TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill, 1988. 858 p.

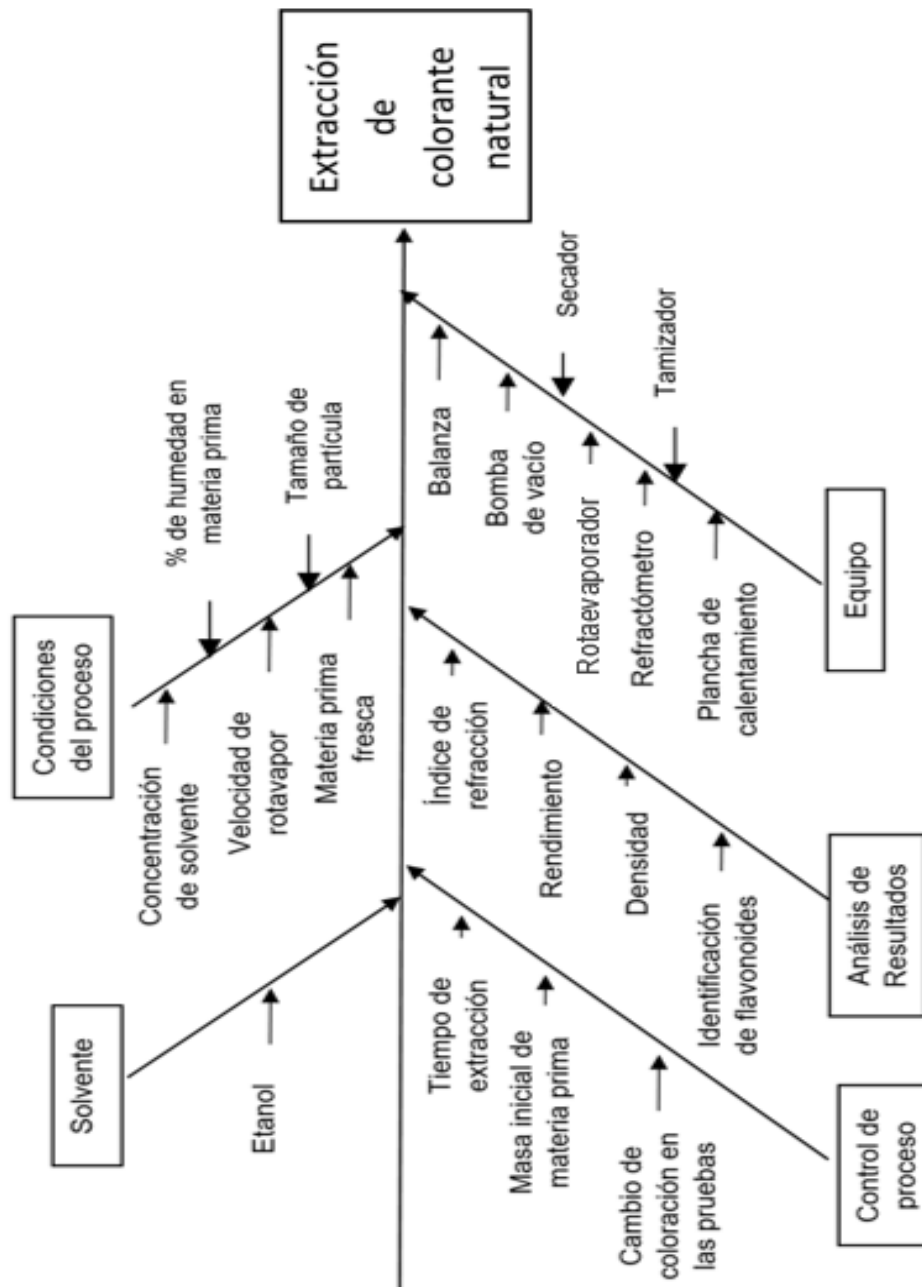
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Química para la realización del estudio de tesis



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa o árbol de problemas



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Recolección de materia prima en cultivo**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Preparación de materia prima para posterior almacenamiento en instalaciones de Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE)**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Proceso de secado en secador de bandejas del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE)



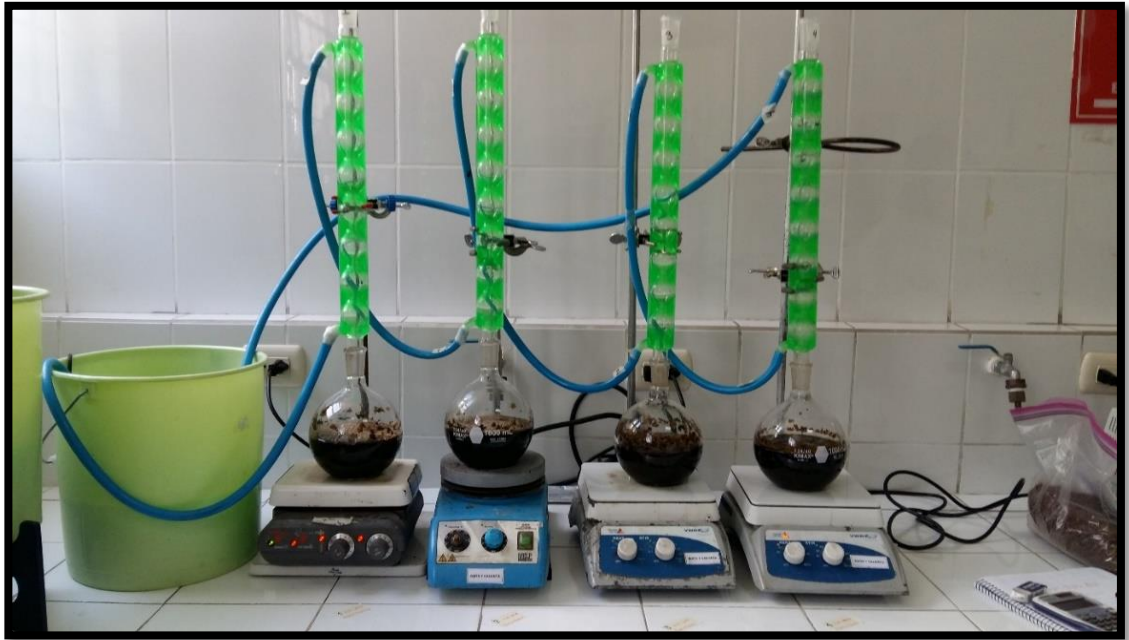
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Almacenamiento de materia prima. Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales (LIEXVE)



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Proceso de extracciones de colorante natural**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Proceso de filtrado al vacío**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Proceso de separación de solvente y extracto**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Proceso de medición de propiedades físicoquímicas**



Fuente: elaboración propia.