



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

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS
TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO
(*PHYTOLACCA ICOSANDRA* L.) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ I,
MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA**

Shilonen Shkik Camposeco Xiloj

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

Guatemala, agosto de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS
TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO
(PHYTOLACCA ICOSANDRA L.) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ I,
MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SHILONEN SHKIK CAMPOSECO XILOJ

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

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS
TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO
(*PHYTOLACCA ICOSANDRA L.*) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ I,
MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 27 de febrero 2012.



Shilonen Shkik Camposeco Xiloj



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 19 de Abril de 2013

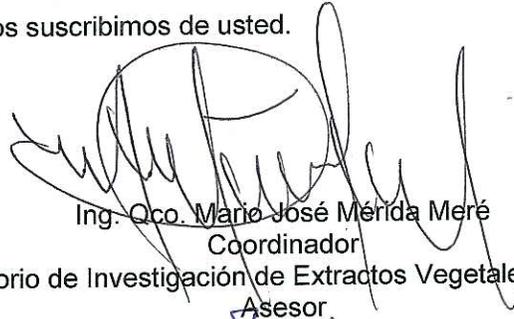
Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Monzón:

Por medio de la presente HACEMOS CONSTAR que hemos revisado y dado nuestra aprobación al informe final del trabajo de graduación titulado **“Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de solidez de fibras teñidas con el extracto colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) Proveniente de la comunidad de Chicué I, municipio de Chichicastenango, El Quiché como alternativa a la anilina”**, de la estudiante de Ingeniería Química Shilonen Shkik Camposeco Xiloj quien se identifica con el carné número 2005-12134.

Sin otro particular nos suscribimos de usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
Coordinador
Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales –LIEX
Asesor.



Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería / CII
Asesora

Universidad de San
Carlos de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de Lingüística

Guatemala, 22 de julio de 2013.

Ingeniero Victor Manuel Monzón Valdez
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería, USAC

Señor director:

Por este medio hago de su conocimiento que la Unidad de Lingüística hace una modificación al título del trabajo de graduación de la estudiante **Shilonen Shkik Camposeco Xiloj**, con número de carné: **2005-12134** el cual fue aprobado de acuerdo al protocolo como: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO (*Phytolacca icosandra l.*) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ, MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, EL QUICHÉ COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA.**

La unidad modifica el título del trabajo en virtud de que el mismo no está bien redactado y propone la siguiente forma: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO (PHYTOLACCA ICOSANDRA L.) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ, MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA.**


Licenciada Rosa Amelia González Domínguez
Coordinadora de la Unidad de Lingüística





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, **SHILONEN SHKIK CAMPOSECO XILOJ** titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO (PHYTOLACCA ICOSANDRA L.) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUÁ I, MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA"**. Procedé a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.



Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, julio 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE SOLIDEZ DE FIBRAS TEÑIDAS CON EL EXTRACTO COLORANTE DEL FRUTO DE JABONCILLO (PHYTOLACCA/COSANDRA I.) PROVENIENTE DE LA COMUNIDAD DE CHICUA I, MUNICIPIO DE CHICHICASTENANGO, QUICHÉ, COMO ALTERNATIVA A LA ANILINA**, presentado por el estudiante universitario: **Shilonen Shkik Camposeco Xiloj**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2013



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Padre Todopoderoso y pilar fundamental en mi caminar. Porque a ti dirijo este logro; para ti sea la honra y la gloria.
- Mi madre** Josefa Xiloj, la mujer que siempre me acompaña, que siempre ha creído en mí, me apoya en cada sueño, me aplaude en cada triunfo y me consuela en las caídas. Gracias por cada segundo tuyo invertido en mí, los frutos solo empiezan a llegar.
- Mi hermano** Canek Camposeco, por ser lo mejor que tengo en este mundo. Gracias por cada risa, juego, pelea y llanto. Siempre nos vamos a tener el uno al otro.
- Mis abuelos** Tomás Xiloj (q.e.p.d.), Emiliano Camposeco (q.e.p.d.), Tomasa Cruz (q.e.p.d.) y en especial a mi abuela Anastacia Tol, no hay ser en este mundo que admire más que a ti, por tu dedicación, inteligencia, honradez y sinceridad en tu largo caminar.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por tu infinito amor y misericordia. Gracias por las bendiciones y las pruebas, y por permitirme culminar hoy este sueño.
- Mi madre** Josefa Xiloj, por trabajar para mi sustento. Todo lo que soy se lo debo a la enseñanza ética, moral e intelectual que de ti recibí. Tu amor ha sido el combustible para lograr mis metas.
- Mi hermano** Canek Camposeco, por confiar en mí, por darme tu apoyo, cariño y amistad.
- Mi padre** Manuel Camposeco, por todas las lecciones que a tu particular estilo me ensañaste, hiciste de mí alguien con integridad y moral.
- Mis abuelos** Tomás Xiloj (q.e.p.d.), Emiliano Camposeco (q.e.p.d.), Tomasa Cruz (q.e.p.d.) y especialmente a Anastacia Tol, gracias por ser una segunda mamá para mí, por cada risa, consejo, plática y abrazo.

Mis amigos

Santiago Tzoc, Sebastián Tinay, Marcus Sardá y Alexis Aleo, por su bondad al compartir conmigo los sabios consejos que han guiado mi vida.

Luis Fernando Escobar López

Por ser mí sostén, mi espejo, por alentarme y creer en mí aún cuando yo no lo hacía. Eres una bendición en mi vida.

Familias Escobar López y Escobar García

Por su cariño, sus atenciones y su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

Familia Tigüila Acabal

Por su amistad, sus consejos, su acompañamiento, su buen humor bajo toda circunstancia y la ayuda siempre oportuna.

Mis amigas

Karen Margos, Ana Ortiz, Karen López, Jennifer Coyoy, Diana Ambrosio, Guadalupe Castillo y Gabriela Xon, por enseñarme el verdadero significado de la amistad que traspasa tiempo y distancia. Mi vida no sería la misma sin ustedes.

Heydy Godinez, Carmen Navas y Karen Vásquez

Por haber compartido alegrías, tristezas, llanto, desvelos y sobre todo por haber sido un gran soporte para la realización de este logro.

A mis tíos, tías, primos y primas

Por su motivación para alcanzar esta meta.

**Inga. Telma Cano e
Ing. Mario Mérida**

Por su invaluable colaboración en la realización de este trabajo de graduación. Por sus sabios y sinceros consejos, les estaré siempre agradecida.

Ing. Victor Monzón

Por el tiempo dedicado a la revisión de esta investigación.

Facultad de Ingeniería

En especial a la Escuela de Ingeniería Química, por la oportunidad de tener una formación de alta calidad.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Mi *alma mater*, por los conocimientos teóricos y la educación que me ha brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Colorantes naturales	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Distribución de los colorantes naturales	9
2.1.3. Clasificación de colorantes naturales utilizados en el teñido de fibras	12
2.1.3.1. Características físicas.....	13
2.1.3.2. Usos tradicionales	14
2.1.3.3. Características químicas	14
2.2. Proceso extractivo	17
2.2.1. Lixiviación	17
2.2.2. Métodos de extracción.....	19
2.2.2.1. Maceración	19
2.2.2.2. Extracción con unidad soxhlet.....	20
2.2.3. Variables del proceso extractivo	21
2.2.3.1. Estado de división de la materia	21

	2.2.3.2.	Agitación.....	21
	2.2.3.3.	Temperatura.....	22
	2.2.3.4.	pH.....	22
	2.2.3.5.	Naturaleza del solvente	22
	2.2.3.6.	Tiempo de extracción	23
2.3.		Evaluación de propiedades del colorante natural.....	24
	2.3.1.	Características fisicoquímicas	24
	2.3.1.1.	Características fitoquímicas	24
	2.3.1.2.	Cromatografía	25
	2.3.1.3.	Cromatografía en capa fina	26
		2.3.1.3.1. Análisis cuantitativo en cromatografía en capa fina.....	27
	2.3.1.4.	Cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC.....	30
	2.3.1.5.	Constituyentes.....	31
	2.3.1.6.	Identificación química.....	32
	2.3.1.7.	Determinación cualitativa de metabolitos secundarios.....	33
2.4.		Descripción de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra L.</i>)	34
	2.4.1.	Sinonimia.....	35
	2.4.2.	Nombres comunes en español.....	35
	2.4.3.	Nombres comunes en inglés.....	35
	2.4.4.	Categorías taxonómicas superiores	35
	2.4.5.	Origen y distribución geográfica	35
	2.4.5.1.	Área de origen.....	35
	2.4.5.2.	Distribución secundaria	36
	2.4.5.3.	Distribución en Guatemala	36
	2.4.5.4.	Estatus migratorio en Guatemala	36

2.4.6.	Identificación y descripción	36
2.4.6.1.	Hábito y forma de vida.....	36
2.4.6.2.	Tamaño	36
2.4.6.3.	Tallo.....	37
2.4.6.4.	Hojas	37
2.4.6.5.	Inflorescencia.....	37
2.4.6.6.	Flores.....	37
2.4.6.7.	Frutos y semillas.....	37
2.4.7.	Etnobotánica y antropología.	38
2.4.8.	Toxicidad.	39
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	41
3.1.	Variables.....	41
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	42
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	42
3.4.	Recursos materiales disponibles	42
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa	44
4.	RESULTADOS	57
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	69
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES.....	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta normal de <i>Phytolacca icosandra</i> L.	34
2.	Rendimiento porcentual promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado.	58
3.	Prueba de solidez a la luz, a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	63
4.	Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de algodón teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	64
5.	Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de lana teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	64
6.	Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de maguey, teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	65
7.	Prueba de solidez al cloro a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	65
8.	Prueba de solidez a la sublimación a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	66

TABLAS

I.	Colorantes flavonoides	15
II.	Colorantes carotenoides	15
III.	Colorantes quinónicos	16
IV.	Definición de variables de la investigación	41
V.	Línea de investigación para el trabajo de graduación.....	42
VI.	Tamices para jaboncillo	47
VII.	Rendimiento de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	57
VIII.	Rendimiento porcentual promedio de los extractos colorantes acuoso, etanólicos y metanólicos obtenidos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	58
IX.	Promedio de densidad de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	59
X.	Promedio de sólidos totales de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	59
XI.	Promedio de pH de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.).....	60
XII.	Promedio de índice de refracción de los extractos colorantes acuoso, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	60
XIII.	Color de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.) con base en el <i>Pantone® Color Formula Guide</i> 1000 SICPA.....	61

XIV.	Análisis cromatográfico en capa fina para la detección de quercentina, rutina, ácido clorogénico y cafeico, utilizados como soluciones flavonoides estándar, en fluorescencia UV 254 nm (zonas azules o amarillas) y UV 365 nm (zonas amarillas, azules o verdes).	61
XV.	Ensayo macro para la detección cualitativa de taninos del tipo catecol o pirogalol en los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	62
XVI.	Pruebas de solidez a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	63
XVII.	Análisis de aguas residuales del agua proveniente del proceso de tinción de fibras naturales de algodón, lana y maguey, con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (<i>Phytolacca icosandra</i> L.)	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grados celsius
g	Gramos
H_i	Hipótesis alternativa
H_o	Hipótesis nula
h	Hora
Hg	Mercurio
m	Metro
μL	Micro litro
μm	Micrómetro
mg	Miligramo
mm	Milímetro

mL	Mililitro
F	Prueba de F
pH	Potencial de Hidrógeno
%	Porcentaje
w/v	Relación peso-volumen
R_f	Radio de frente (<i>ratio of front</i>)

GLOSARIO

Biodegradable	Conversión de compuestos en productos más simples a través de medios biológicos.
Color	Percepción visual generada por señales nerviosas que los fotorreceptores de la retina del ojo envían al cerebro, con la captación de determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético de la luz.
Colorante	Sustancia o mezcla de sustancia capaz de conferir o intensificar el color de alimentos, tejidos u otros objetos.
Cromatografía	Técnica de separación en la que los solutos se distribuyen entre una fase móvil y otra estacionaria.
Deshidratar	Consiste en eliminar de un sólido toda el agua que contiene.
DBO	Es la cantidad de oxígeno necesaria para que un determinado microorganismo pueda oxidar la materia orgánica del agua.

DQO	Es el parámetro utilizado para caracterizar la contaminación orgánica del agua, que se mide a partir de la cantidad de oxígeno disuelto necesario para la degradación química de los contaminantes orgánicos que contiene.
Flavonoides	Son los pigmentos virtualmente universales en las plantas. Casi siempre solubles en agua y son responsables del color de flores, frutos y, algunas veces, de las hojas. Los flavonoides están también universalmente presentes en la cutícula de la hoja y células epidérmicas, donde aseguran protección contra el efecto de la radiación ultravioleta.
Fibra	Estructura de origen animal, vegetal, mineral o sintético parecida al pelo. Su diámetro no suele ser superior a 0.05 cm.
Lixiviación	Operación unitaria en donde se separa un soluto de un sólido que lo contiene, utilizando un solvente.
Maceración	Operación que consiste en sumergir un sólido vegetal en un líquido para extraer de él sus partes solubles.
Mordiente	Sustancia que se emplea para fijar los colores en las fibras.

Secado	Operación unitaria que consiste en la eliminación de un solvente de un sólido o una solución que lo contiene por medios no mecánicos y químicos, sino únicamente térmicos.
Taninos	Sustancias del grupo de los polifenoles que dan color amarillo, naranja y rojizo a los frutos y plantas. Su gusto es amargo y tienen una alta capacidad astrigente (unen proteínas entre sí de forma no específica). Los taninos se utilizan en el curtido de pieles de animales porque reaccionan con las proteínas del colágeno, transformando las pieles crudas en cuero.
Teñido	Proceso en el que se colorean fibras textiles y otros materiales de forma que el colorante se convierta en parte integrante de la fibra o materia.

RESUMEN

Se realizó una extracción a escala laboratorio del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.), con el fin de determinar el rendimiento en su extracción. Posteriormente se caracterizaron fisicoquímicamente los extractos con análisis de densidad, humedad, pH, índice de refracción, color y se hicieron ensayos macro y semimicro que resultaron en la determinación de presencia de flavonoides y taninos, responsables de la propiedad colorante de la planta.

Con base en resultados de la extracción a escala laboratorio, se efectuó una extracción a escala planta piloto que permitió la aplicación del colorante natural en fibras naturales, con lo cual se evaluó la calidad de sus propiedades tintóreas.

Se determinó que el máximo rendimiento extractivo se logra al utilizar materia prima deshidratada y agua como solvente, para realizar la extracción del colorante. El análisis comparativo de las propiedades fisicoquímicas de solidez reveló que la fibra de lana teñida con el extracto colorante, es una alternativa viable al uso de anilina en el teñido de fibras de origen animal y vegetal.

OBJETIVOS

General

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de las fibras teñidas con el extracto del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) proveniente de la comunidad de Chicué I, municipio de Chichicastenango, Quiché, como alternativa a la anilina.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento de extracción de extractos etanólicos, metanólicos y acuosos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en fresco y deshidratado, utilizando maceración dinámica a reflujo, a escala laboratorio.
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de los extractos colorantes obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) y analizar sus principios activos a través de un tamizaje fitoquímico y cromatografía en capa fina.
3. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de solidez a fibras de lana, algodón y maguey, teñidas con el extracto colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) obtenido a escala planta piloto, con base en el mejor rendimiento de la extracción a escala laboratorio, en comparación con las mismas fibras teñidas con anilina.

4. Analizar el agua residual de los procesos de tinción de fibras con jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) y con anilina, mediante métodos analíticos para aguas residuales.

HIPÓTESIS

Es posible determinar la interacción del solvente y el estado de la materia sobre el rendimiento de extractos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) y la utilización de estos en el teñido de fibras de algodón, lana y maguey, es tan eficiente como la anilina

Hipótesis nula:

1. H_0 : No existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de los extractos vegetales obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente y el estado de la materia prima a utilizar en el proceso de extracción.
2. H_0 : No existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de solidez de fibras de maguey, algodón y lana en función del colorante utilizado en el proceso de tinción

Hipótesis alternativa:

1. H₁: Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de los extractos vegetales obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.), en función del solvente a utilizar en el proceso de extracción.
2. H₁: Existe diferencia significativa en las propiedades fisicoquímicas de solidez de fibras de maguey, algodón y lana, en función del colorante utilizado en el proceso de tinción

INTRODUCCIÓN

En todas las civilizaciones, desde los primeros tiempos hasta la actualidad, el arte de aplicar color a través de teñido ha jugado un papel importante. Tintes vegetales naturales se han convertido en una parte de la vida humana desde tiempos inmemoriales. Colorantes vegetales se han utilizado durante miles de años, pero con la llegada de los colorantes sintéticos se produjo una disminución en el uso de tintes vegetales. En los tiempos actuales se ha manifestado un creciente interés hacia los tintes naturales. Las razones son muchas veces la conciencia ecológica, la biodegradabilidad y la necesidad de una mayor compatibilidad con el medio ambiente.

Los colores naturales ofrecen una amplia variedad de soluciones a muchos problemas que enfrenta la industria de los tintes. Todos estos colorantes son biodegradables y por lo tanto los problemas ambientales en la fabricación de tintes y tratamiento se pueden evitar. Adicionalmente se les atribuye propiedades antioxidantes y casi todos ellos están libres de compuestos azoicos que son cancerígenos.

Con la creciente preocupación por las cuestiones medioambientales, la industria textil está interesada no solo en tintes naturales y auxiliares biodegradables, sino también en un proceso ambientalmente responsable, que también puede asegurar una buena luz, resistencia al lavado y coloración uniforme y específica de la fibra natural y sintética. Las actuales tendencias mundiales indican la preferencia de los consumidores por productos que provienen de fuentes naturales, así como para los procesos que sean seguros, respetuosos del medio ambiente y no contaminantes.

El conocimiento de los colorantes naturales utilizados antes de la incursión de los colorantes artificiales es popular en las regiones rurales del país. Diversas plantas fueron descubiertas y aprovechadas por sus propiedades tintóreas, pero limitándolas al uso artesanal o para cubrir necesidades de vestimenta. Derivado de ese conocimiento se indica que la planta llamada jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) posee propiedades que le permiten teñir textiles.

El presente estudio tiene por objetivo estudiar el efecto de diferentes solventes en el rendimiento de la extracción del colorante natural obtenido del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) a escala laboratorio, para definir las variables que permitan realizar una adecuada extracción a escala planta piloto, para su aplicación a fibras naturales.

1. ANTECEDENTES

En las últimas décadas se han realizado diferentes estudios que pretenden contribuir a la optimización del proceso de extracción de colorantes naturales, para con ello crear estándares a seguir y documentación que sirva de referencia.

En 1987, Domínguez Monterroso, Augusto Alberto, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó la investigación de tesis titulada “Extracción de los pigmentos colorantes del tipo xantofilas contenidos en la flor de *Tagetes erecta* (Marigold)”, se determinó el contenido de xantofilas totales en la flor de *Tagetes erecta*. Se utilizó como método de extracción la saponificación en frío y en caliente. El método de saponificación en frío dio resultados de 11470+/-6262,02 miligramos de xantofilas por kilogramo de flor, además se necesitan 4,795 kilogramos de flor por tonelada de alimento para obtener una coloración óptima de la yema de huevo. Se recomienda utilizar el método de saponificación en frío por un tiempo de 18-19 horas.

En mayo del 2000 el estudiante Donado Miranda, Marco Antonio, realizó una investigación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, quien fue asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales; el trabajo se titula “Extracción de carotenoides de la caléndula para su utilización como colorante natural en productos de consumo humano”. La extracción se realizó a nivel laboratorio, utilizando 2 métodos de extracción. Los resultados obtenidos tuvieron una diferencia significativa. Con el método A se obtuvo un rendimiento promedio de 16,5% y con el método B, 2,1%.

En el 2001, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, el Ing. Eduardo Calderón ejecutó el proyecto FODECYT 13-99, “Extracción del colorante acuoso, a partir de los rechazos de exportación de la producción nacional de dos variedades de pitahaya, a nivel de planta piloto”. Se evaluó el tiempo de maceración, de 1, 2 y 3 días, a una temperatura de 25°C y 7°C, dando mejores resultados la maceración de un día a una temperatura de 7°C. Mediante análisis de espectrofotometría se determinó que el colorante acuoso de la pulpa de pitahaya, se asemeja más al colorante sintético rojo FD&C No. 3, por lo que se puede usar en sustitución de este.

En marzo de 2004 el estudiante Del Cid Vásquez, Henry, realizó una investigación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales, denominada “Extracción a nivel laboratorio, de los pigmentos colorantes del tipo flavonoides contenidos en la flor del subín (*Acacia farnesiana* L. Willd) proveniente de un bosque silvestre guatemalteco”. Los resultados obtenidos demostraron que con la acetona se obtiene un mayor rendimiento promedio. Se determinó que, cromatográficamente, el solvente que ofreció un extracto con el mayor número de pigmentos colorantes del tipo flavonoides fue el metanol. Se logró determinar la presencia de hiperósido, rutina y quercetina.

En noviembre de 2004 Ac Santa Cruz, Claudia, realizó una investigación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, asesorada por la Inga. Telma Maricela Cano Morales, denominada “Extracción a nivel de laboratorio de aceite esencial crudo de pericón (*Tagetes lucida* Cav), y utilización del desecho sólido para la extracción del colorante natural, para su uso en el teñido de fibras naturales”. Los solventes utilizados fueron: acetona, metanol y etanol; además se realizaron reacciones coloridas para identificar el tipo de colorante, así como cromatografía en capa fina y espectro de absorción.

En el 2006, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, la Inga. Telma Maricela Cano Morales junto con el equipo de investigación, ejecutó el proyecto DIGI, "Evaluación de la capacidad de tinción de los tintes obtenidos de dos especies forestales guatemaltecas, en el proceso de teñido de fibras, lana y maguey". Las especies con las que se trabajaron fueron aliso común (*Alnus jorulensis HBK*) y encino negro (*Quercus brachystachys Benth*), la especie que presentó un mayor valor de rendimiento fue el encino con un valor promedio de 14,85%, mientras que con un menor valor de rendimiento, el aliso, con un valor promedio de 11,17%; en ambos casos, el efecto del solvente fue determinante en el rendimiento.

En el 2007, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, la Inga. Telma Maricela Cano Morales junto con el equipo de investigación, ejecutó el proyecto DIGI, "Estudio tecnológico sobre tintes naturales extraídos de la corteza de tres especies forestales cultivadas en Guatemala para teñir fibras naturales que cumplan con especificaciones de calidad exigidas por el mercado". Las especies con las que se trabajaron fueron quebracho (*Lisyloma bahamense*), chaperno (*Lonchocarpus rugosus*) y aliso común (*Alnus arguta*). La especie que presenta mayor valor de rendimiento fue el aliso con 25,91%, utilizando como solvente etanol al 35%.

En octubre de 2007, el estudiante Calderón Guevara, Mario Roberto, realizó su trabajo de graduación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, asesorado por la Inga. Telma Maricela Cano Morales, denominado "Extracción y caracterización fisicoquímica del extracto colorante de la corteza de aliso común (*Alnus jorullensis Humboldt, Bonpland & Kunth*), proveniente de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala". Los solventes utilizados fueron agua, etanol 35% y etanol 70%, se identificó el tipo de flavonoide flavonas y flavonoles.

En abril del 2008, el Ingeniero Mérida Meré, Mario José, realizó una investigación en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, asesorado por la Ingeniera Telma Maricela Cano Morales, para su trabajo de graduación denominado: “Extracción y caracterización fisicoquímica del tinte natural obtenido del exocarpo del coco (*Cocos nucifera*), como aprovechamiento del desecho de fuentes comerciales”. El mayor valor de rendimiento fue de 18,63% utilizando agua como solvente. Se observa que el extracto colorante obtenido del exocarpo del coco, posee rutina, ácido clorogénico e hiperósido independiente del solvente utilizado; la prueba para quercentina es negativa para todos los extractos.

En el 2010, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, la Inga. Telma Maricela Cano Morales junto con su equipo de investigación, ejecutó el proyecto DIGI: “Estudio tecnológico sobre la reactivación de la producción y uso del tinte natural obtenido del añil (*Indigofera guatemalensis* Moc.), utilizado por cooperativas de mujeres dedicadas a la elaboración de artesanías, en el área de occidente de Guatemala”. Se obtuvo el mayor rendimiento con un tiempo de 2 horas de oxidación con valor de 0,3192%. El tinte de añil de sobrenadante obtuvo el mayor porcentaje de Indigotina con un valor del 45,0% y el menor porcentaje de Indigotina fue para el tinte de añil de sedimento, con un valor de 40,8%.

En el 2010, el estudiante Aceituno Melgar, Víctor Manuel, asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus, realizó su trabajo de graduación titulado “Propiedades de los colorantes naturales secados con técnicas alternativas a nivel laboratorio como alternativa al FD&C rojo no. 40 en alimentos”. Se determinó que la temperatura óptima para el secado de pitahaya (*Hylocereus undatus*) y rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) es 60°C; mientras que para la remolacha, roja 40°C.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Colorantes naturales

Los colorantes han sido ampliamente utilizados en la preparación de alimentos y bebidas, y siguen siendo a nivel mundial una contribución significativa en la preparación y procesamiento de los mismos. De igual manera, desde la antigüedad, antes del desarrollo de la industria de colorantes de síntesis, el teñido de fibras se hacía con plantas conteniendo colorantes naturales, llamadas especies tintóreas.

2.1.1. Definición

Un colorante natural es toda aquella materia colorante que tiene origen vegetal o animal.

Para que una sustancia coloreada, sea considerada un colorante, deberá contener grupos cromóforos llamados auxócromos, los que dan a la sustancia afinidad con la fibra.

De acuerdo con la investigación de la Doctora Olga Lock Sing de Ugaz, en su obra titulada “Colorantes naturales”, el teñido con colorantes naturales fue hecho desde tiempos prehistóricos hasta la mitad del siglo XIX, donde las plantas, animales y minerales fueron las únicas fuentes utilizadas como agentes colorantes para teñir o pigmentar.

Las primeras fibras teñidas fueron usadas aproximadamente alrededor del 1000 a.C. estos teñidos eran simples y fueron los primeros ejemplos de la aplicación de los llamados colorantes directos o colorantes sustantivos, sin embargo resultaron de muy pobre solidez, pobre resistencia al lavado y a la luz; posteriormente fueron desarrollados teñidos más sofisticados, produciéndose colores con mejor solidez.

La historia está llena de ejemplos de aplicaciones con aditivos colorantes. Pinturas en tumbas egipcias que datan de 1500 años a.C. presentan la manufactura de dulces coloreados. El vino ha sido artificialmente coloreado por siglos antes del nacimiento de Cristo y, es bien sabido que las especias y condimentos eran coloreados, por lo menos, 500 años atrás.

Las plantas utilizadas, así como los antiguos procedimientos de teñido han sido registrados, especialmente por dos historiadores del primer siglo después de Cristo. Plinio El Viejo, naturalista romano, refiere en sus escritos dos colorantes comunes usados por las tribus Gálicas, el índigo y el glasto, mientras que el griego Dioscórides describe los colorantes de la rubia para el rojo, del azafrán (de los estigmas del *Crocus sativa*) y gualda (de *Roseda luteola*) para amarillos, glasto para el azul, *Alkanna tinctoria* para rojo, entre otros.

Durante la Edad Media, alrededor de 1250 d.C., los procedimientos de tintura fueron registrados por los monjes medievales. En aquellos tiempos las mismas plantas eran usadas para teñir y para fines medicinales. El uso de colorantes en drogas, indudablemente, ha tenido una larga historia, debido a que el color ha sido asociado con enfermedades y su tratamiento desde la antigüedad. Muchas prácticas han sido documentadas en papiros egipcios.

Hasta mediados del siglo XIX, los colorantes usados en alimentos, drogas y cosméticos y textiles, fueron materiales fáciles de obtener de fuentes naturales como animales, vegetales y minerales.

Sin embargo, la importancia de los colorantes naturales disminuyó cuando en 1856, en Inglaterra, William Henry Perkin, en su intento de sintetizar quinina, oxidó sulfato de anilina con dicromato potásico y produjo el primer colorante sintético, la mauveína, de color púrpura. Posteriormente, los químicos alemanes perfeccionaron los colorantes derivados del alquitrán de hulla, hasta tal punto, que empresas de colorantes vegetales se arruinaron, totalmente, antes de que finalizara el siglo XIX.

En los últimos 130 años, se han sintetizado varios miles de compuestos químicos coloridos, de los cuales alrededor de 10 000 son o han sido producidos a escala industrial, tratando, en muchos casos, de sintetizar productos idénticos a los naturales, como el β -caroteno.

En 1987 se estimó que la producción mundial de colorantes era alrededor de 700 000 toneladas, de esta producción, aproximadamente el 50% fue destinada a la industria textil y un 2.2% al sector de alimentos, medicamentos y cosméticos.

Esta proliferación en el uso de aditivos colorantes fue enseguida reconocida, como una amenaza para la salud. De particular interés fue el hecho que las sustancias conocidas por ser venenosas, fueron a menudo incorporadas en alimentos y los tintes, frecuentemente usados para ocultar baja calidad y para añadir peso o consistencia a ciertos productos. Algunas de estas prácticas fueron deshonestas pero no inherentemente peligrosas.

Por ejemplo, la harina era frecuentemente coloreada de amarillo para esconder la suciedad y aparentar un alto contenido de huevo; naranjas ordinarias fueron inyectadas con tintes rojos para darle una mejor apariencia; carne vieja era coloreada para hacerla parecer fresca; conservas y jaleas fueron coloreadas para aparentar un mayor contenido de frutas.

Luego, otros usos de colorantes fueron criminales y a veces mortales. Era un hecho que poco o ningún control era aplicado sobre la pureza de los agregados a los alimentos y que colorantes encontrados insatisfactorios para textiles eran, a veces, deliberadamente canalizados en productos alimenticios. Debido al creciente interés público sobre tales prácticas, algunas mediciones fueron eventualmente tomadas por los manufactureros americanos de alimentos para control de su propia industria.

En 1900, se investigó por parte del gobierno estadounidense la relación entre materias primas colorantes y la salud, con el fin de establecer un principio para gobernar su uso y de esta manera controlar las prácticas de manufactura. Como resultado de esta investigación se encontró que muy pocos colorantes habían sido evaluados sobre sus efectos en la salud y que muchos de ellos, habían sido evaluados impropriamente. A veces, la verdadera identificación química de un colorante estudiado era desconocida. En otros casos la pureza del colorante era incierta. Más a menudo, los procedimientos usados para su análisis eran ingenuos. De esta manera, se formuló la regulación que puso fin al uso indiscriminado de materias colorantes peligrosas e impuras en alimentos.

Entra otras cosas, la nueva legislación requirió que solamente colores de composición conocida, examinados fisiológicamente y que no mostraban resultados adversos, podían ser usados.

Debido al incremento de las necesidades de la industria, durante las siguientes tres décadas, hubo un crecimiento continuo en el uso y número de aditivos colorantes. Como resultado de estos esfuerzos, se culminó con la publicación en 1940 de la declaración de servicios y regulaciones en alimentos, drogas y cosméticos, la cual listaba colorantes específicos que podían ser usados junto con especificaciones y regulaciones relacionadas con su manufactura, clasificación, certificación y venta.

Debido a los serios problemas generados por el efecto de los tintes sintéticos en el medio ambiente y la salud humana, se ha renovado el interés en los colorantes naturales. El aumento de la demanda del tinte natural en la industria de tintorería, así como en la de alimentos, cosméticos y medicinas, entre otras, ha motivado el incremento del número de países en que se está dando el renacimiento del cultivo y producción del mismo.

2.1.2. Distribución de los colorantes naturales

Los colorantes naturales pueden ser clasificados, según su naturaleza química en diversos grupos. Como fuentes naturales de estos colorantes se pueden considerar las plantas superiores, las algas, hongos y líquenes, algunos insectos, así como algunos organismos marinos invertebrados.

La función de los pigmentos que se encuentran en plantas y animales es variada, tal es el caso de algunos fenoles que absorben la luz ultravioleta y pueden desempeñar la función de guiar a los insectos a las flores para realizar la polinización. Las quinonas pueden actuar como sustancias tóxicas para defensa, como el gusano telero (*Laetillia coccidivora Comstock*), el cual ha superado los efectos tóxicos del colorante, cuando consume el pigmento enmascara la toxina y luego la utiliza al regurgitar el pigmento sobre su agresor.

Aunque las funciones antes mencionadas son casos puntuales, es importante señalar que la gran diversidad de pigmentos cumple funciones específicas dentro de la naturaleza, ya que algunos pueden actuar como inhibidores para la germinación de semillas, hormonas de crecimiento, atractivos o disuasivos.

Son muchas las plantas superiores que producen colorantes; sin embargo la concentración de estos es mínima, lo que no permite una rápida y económica extracción y en consecuencia son relativamente pocas las que tienen gran importancia comercial como fuente de colorantes.

Debido a esto, la elección de una planta con tales fines es determinada por consideraciones económicas; el material debe estar disponible en suficiente cantidad a un precio razonable, el proceso para obtener el colorante no debe ser excesivamente complejo y costoso y el producto final debe cubrir las perspectivas industriales y los requerimientos legales de los gobiernos.

Otro grupo considerado como fuente de colorantes naturales son las algas, estas deben su color a las ficobilinas, las cuales se clasifican en ficocianinas y ficoeritrinas de color azulado con fluorescencia roja y de color rojizo con fluorescencia naranja brillante, respectivamente. El rango de color en el que se encuentran es bastante amplio, dependiendo de la fuente de biliproteína y el medio en el cual es aislado, proporcionando así una variedad de colores naturales en las algas.

Las algas también contienen carotenoides, especialmente, β -caroteno y cetoderivados como cantaxantina, astaxantina y equinenona.

Los hongos, particularmente la parte correspondiente al cuerpo fructífero, están fuertemente pigmentados. El número de pigmentos diferentes, probablemente, excede los 1 000; aunque algunos son de naturaleza química común a las plantas superiores, muchos de ellos no han sido encontrados en algún otro organismo biológico.

Los líquenes han sido intensamente utilizados para el teñido desde tiempos antiguos. Dentro de los compuestos coloreados que ellos producen están las quinonas, dibenzofuranos, xantonas, depsidos y depsidonas, carotenoides y xantófilas, así como fenoxazinas.

Entre los líquenes se pueden destacar las especies del género *Xanthoria*, cuya coloración naranja y naranja – rojizo brillante es debida a la presencia de antraquinonas y del género *Cladonia*, en los cuales los colores rojo a rojo-sangre se deben a la contribución de las naftoquinonas presentes.

Dentro de los organismos marinos invertebrados, los crustáceos y moluscos quizás son los que proveen las más diversas fuentes de colorantes, muchos de ellos aún no caracterizados y que serían de potencial interés económico.

Entre los insectos se destaca la cochinilla por su contenido de ácido carmínico, así como el kermés que produce ácido kermésico; ambos compuestos son de naturaleza antraquinónica. Las pterinas contribuyen a los colores blanco, crema, amarillo y rojo de muchos insectos. Por ejemplo, los colores de las mariposas y avispas son a menudo formados de pterinas, como las xantopterinas que proporcionan un color amarillo brillante a muchas avispas; otras pterinas contribuyen también a los colores: amarillo, naranja y rojo de crustáceos, peces, anfibios y reptiles.

Las flavinas, como la riboflavina o vitamina B2, excepcionalmente, producen la pigmentación amarilla de algunos organismos marinos invertebrados.

Las fenazinas contribuyen al color de algunas bacterias, por lo general en las especies de *pseudomonas* y *streptomices*, mayormente amarillo y ocasionalmente azul y azul violeta.

Las fenoxazinas se han encontrado en algunas bacterias *streptomices*, en hongos *Polyporus cinnabarimes* y en líquenes como *Rocello tinctoria* y otros que contienen orceína.

Se estima que el obtener colorantes naturales puros puede costar de 30 a 100 veces más que el producir colorantes sintéticos certificados, reduciendo con ello las posibilidades de explotación de estas fuentes naturales; sin embargo, las estrategias biotecnológicas en la producción de colorantes naturales que se han desarrollado en los últimos años son de gran importancia y podrían otorgar una serie de ventajas, entre ellas, las económicas.

2.1.3. Clasificación de colorantes naturales utilizados en el teñido de fibras

Los colorantes naturales se pueden agrupar en diferentes formas: por tipo de teñido, composición química, características físicas, etc.

A continuación se detalla la agrupación a la cual pertenecen diferentes colorantes naturales debido a sus características físicas.

2.1.3.1. Características físicas

- Colorantes directos: son los grupos de colorantes de antocianina, carotenoides derivados de calcona. Los colorantes son obtenidos de una solución acuosa y esta extracción se usa directamente para teñir o pintar en frío o en caliente. A veces se usa sustancias auxiliares como ácidos o sales. Como ejemplo se tiene la flor de cártamo, cúrcuma, azafrán, *cempoalxóchitl*, etc.
- Mordentados: este tipo de colorantes no tienen por sí mismos el poder de entintar, solo con un tratamiento especial de sales metálicas solubles que reaccionan sobre la fibra. Esta técnica se aplica a la mayoría de las plantas que dan color como la gardenia, *cempoalxóchitl*, rubia, cochinilla, palo de campeche y de Brasil, etc.
- Tipos de reducción: derivados del indol, estas materias colorantes se encuentran en el interior de los cuerpos vegetales o animales, pero son insolubles, para darles solubilidad, se les aplica una sustancia reductora, obteniéndose una solución incolora que se aplica a la fibra y después, mediante una oxidación aparece el color; como ejemplo está el añil.
- Pigmentos: polvos de materiales minerales insolubles, que no tienen poder de entintar, por lo cual solo pueden utilizarse mezclándose con otro cuerpo, como el engrudo, cola, resina, caseína, clara de huevo, etc., con los que se forma una pasta para pintar.

2.1.3.2. Usos tradicionales

- Untado directamente sobre la fibra: se aprovecha directamente el color de la fibra.
- Exprimidos: el caracol púrpura da un color que aparece por oxidación del aire.
- Aprovechamiento de colorantes naturales rojos de la cochinilla, mediante la aplicación de mordientes y calor.
- Cocción de colorantes: por extracto de cocción: aparecen varios tonos con el uso de mordientes, como por ejemplo, la flor de dalia.
- Separación del colorante: las sustancias que permiten su separación pueden ser ácidas o cenizas, como la flor de cártamo.
- Reducción y oxidación como el añil flora.

2.1.3.3. Características químicas

Los flavonoides o bioflavonoides son pigmentos vegetales no nitrogenados. Su función dentro del mundo de las plantas parece ser la de atraer a los polinizadores hacia las flores o los animales que comen los frutos con la intención de que puedan dispersar mejor las semillas.

La estructura básica de un flavonoide consiste en dos anillos bencénicos unidos por un enlace de tres carbonos que forma un anillo pirónico con un oxígeno.

La mayoría de flavonoides se encuentran en las plantas como glucósidos en los que uno o más de los grupos hidróxido están unidos a azúcares.

Entre los colorantes flavonoides existen cuatro grupos principales; estos se presentan en la tabla siguiente.

Tabla I. **Colorantes flavonoides**

GRUPO	COLOR	PROCEDENCIA
Flavonol	Amarillo	Bidens
Flavonona	Crema amarillo	Perejil
Chalcona	Rojo y amarillo	Cártamo
Antocianina	Rojo y violeta	Tinantía

Fuente: LOCK, Olga. Colorantes naturales. p.95.

Los carotenoides son un grupo muy importante de flavonoides con función antioxidante, son aquellos que poseen una de coloración rojiza y anaranjada.

Entre los colorantes carotenoides hay dos grupos principales que a continuación se presentan

Tabla II. **Colorantes carotenoides**

GRUPO	COLOR	PROCEDENCIA
Caroteno	Anaranjado	Zanahoria
Xantofila	Amarillo	Achiote

Fuente: LOCK, Olga. Colorantes naturales. p.95.

Existen dos grupos de colorantes tipo quinona. Estos se presentan en la tabla siguiente.

Tabla III. **Colorantes quinónicos**

GRUPO	COLOR	PROCEDENCIA
Antraquinona	Rojo	Rubia cochinilla
Naftoquinona	Violeta	Henna

Fuente: LOCK, Olga. Colorantes naturales. p.97.

También existen los siguientes tipos de colorantes:

- Derivados de indol: color azul, proveniente del añil
- Derivados de delfinidina: color azul, proveniente de la hierba de pollo
- Derivados de dihidropilano: color rojo y violeta, proveniente del palo de Brasil.
- Grupo betaleína: color rojo, proveniente del betabel
- Grupo xantonas: colora amarillo, proveniente de algunos líquenes
- Grupo tanino-pirogalol y catecol, color café, proveniente del castaño
- Grupo clorofila: color verde, proveniente de las plantas verdes.

2.2. Proceso extractivo

Para lograr la efectividad del proceso de extracción de colorantes naturales, se debe emplear una técnica de extracción específica para la parte de la planta que se desea utilizar como materia prima.

2.2.1. Lixiviación

Lixiviación es la eliminación de una fracción soluble, en forma de solución, a partir de una fase sólida permeable e insoluble a la cual está asociada. La separación implica, normalmente, la disolución selectiva, con difusión o sin ella, pero en el caso extremo del lavado simple, consiste solo en el desplazamiento (con alguna mezcla) de un líquido intersticial por otro, con el que es miscible.

El constituyente soluble en la lixiviación puede ser sólido o líquido y estar incorporado, combinado químicamente o adsorbido, o bien mantenido mecánicamente, en la estructura porosa del material insoluble. El sólido insoluble puede ser másico y poroso; con mayor frecuencia es de partículas y estas últimas pueden ser de poros abiertos, de celdas, con paredes celulares selectivamente permeables o con superficies activadas.

Es habitual el excluir del estudio de la lixiviación la elución de solutos adsorbidos superficialmente. Este proceso será tratado, en lugar de ello, como un caso especial de la operación inversa, la adsorción. Asimismo, se excluye el lavado de tortas de filtros, ya sea *in situ* o mediante la formación de una nueva suspensión y la refiltración.

Debido a su gran variedad de aplicaciones y su importancia para diferentes industrias antiguas, la lixiviación tiene otros nombres.

Entre los nombres que se encuentran para la lixiviación en la ingeniería química están la extracción, la extracción de sólido-líquido, la percolación, la infusión, el lavado y la decantación por sedimentación. La corriente de sólidos lixiviados y el líquido que la acompaña se denominan lodos; en hidrometalurgia también se conoce como pulpa. El contenido en sólidos de las corrientes es denominado en algunas ocasiones, como *marc* (en particular en los procesos de separación de aceites). La corriente de líquido contenido en la solución lixiviada es el clarificado. Como abandona el proceso de lixiviación, tiene otros nombre opcionales: extracto, solución, lixiviado o miscelado.

El mecanismo de la lixiviación puede incluir una solución física simple o la disolución facilitada por una reacción química. La velocidad de transporte de disolvente en la masa que se va a lixiviar, o la fracción soluble en el disolvente o de la solución de extracto del material insoluble, o alguna combinación de esas velocidades, pueden ser importantes. Es posible que exista una resistencia externa. Como el que una reacción química puede afectar a la velocidad de la lixiviación.

Ya que las corrientes de lodo y clarificado no son fases inmiscibles, sino corrientes basadas en el mismo disolvente, el concepto de equilibrio en lixiviación no es el mismo que el que se aplica en otras separaciones de transferencia de materia. Si el soluto no se adsorbe en el sólido inerte solo se logra el equilibrio verdadero cuando todo el soluto se disuelve y se distribuye de forma uniforme en todo el disolvente, tanto en la corriente de lodos, como en la clarificación (o cuando el disolvente se satura uniformemente con el soluto, situación que nunca se presenta en un equipo de extracción diseñado de forma adecuada). La interpretación práctica del equilibrio de lixiviación es el estado en que las corrientes de lodos y clarificado tienen la misma composición.

En un diagrama x - y , la línea de equilibrio es una recta que pasa a través del origen con una pendiente de valor unidad. Es costumbre calcular el número de etapas ideales (de equilibrio) requeridas para una lixiviación determinada y ajustar dicho número por medio de la aplicación de un factor de eficacia de etapa, aunque si se conocen, pueden aplicarse eficacias locales etapa a etapa.

Sin embargo, y por lo general, no resulta sencillo establecer una eficiencia de etapa o un valor de eficacia global ni un índice de la velocidad de lixiviación (es decir, un coeficiente general t sin probar los modelos a pequeña escala de los aparatos). De hecho, los resultados de dichas pruebas tienen que escalarse en forma empírica, sin una evaluación explícita de los índices de velocidad o de cuasiequilibrio.

2.2.2. Métodos de extracción

A continuación se describen los métodos de extracción a utilizar.

2.2.2.1. Maceración

El proceso de maceración consiste en poner en contacto la droga de un tamaño moderadamente grueso o semifino con el disolvente establecido, durante varios días. Se trata de un proceso que da como resultado un equilibrio de concentración entre la droga y el disolvente, el rendimiento del extracto disminuye cuando la relación droga/disolvente aumente. El hinchamiento de la droga es un factor de gran importancia, porque aumenta la permeabilidad de la pared celular y la difusión del disolvente; a la vez la velocidad con que se obtiene el equilibrio está en función del tamaño de partícula de la droga molida, del hinchamiento de las células y las propiedades del disolvente.

El proceso clásico de maceración denominado maceración simple consiste en dejar la droga en contacto con el disolvente durante varios días, con agitación ocasional, este proceso es un proceso muy lento, por lo que para abreviar el tiempo de operación, la droga y el disolvente deben de mantenerse en movimiento constante; este procedimiento es conocido como maceración dinámica.

Por lo que como norma se macera la droga por siete días con agitación frecuente y protegida de la luz solar. Concluido el tiempo de maceración, se separa el extracto del residuo por medio de un colado o prensado, se lava el residuo con el líquido de extracción y ambos líquidos se llevan al contenido de masa preestablecido.

La turboextracción es un tipo de maceración modificada. El tiempo de maceración en esta extracción se acorta muchísimo debido al tipo de movimiento de agitación que se utiliza, así como trabajar a temperaturas hasta de 20°C por sobre la ambiente.

2.2.2.2. Extracción con unidad soxhlet

Es un aparato de extracción semicontinua, pues en una de las fases el sustrato se agrega sólo al principio, mientras que el disolvente de extracción cumple un ciclo de extracción y purificación continua. La purificación se realiza en forma paralela por destilación del disolvente, de manera que el sustrato siempre está en contacto con el disolvente puro; se utiliza cuando es necesaria una extracción exhaustiva de la droga. Es útil en escala de laboratorio, a pesar de que la extracción no tenga una alta eficiencia, pues la regeneración del disolvente se realiza automáticamente evitando excesivos manipuleos.

2.2.3. Variables del proceso extractivo

Las variables que interfieren en el proceso extractivo, independientemente de la escala de producción o del tipo de producto final son las siguientes:

2.2.3.1. Estado de división de la materia

La eficiencia del proceso extractivo será mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas, ya que así se obtiene una mayor área de contacto con el disolvente.

En la práctica, la presencia de partículas muy finas dificulta los procesos de percolación, pues se presenta compactación y formación de falsas vías, y los procesos de maceración, en donde las partículas pasan al extracto, haciendo necesaria la realización de la etapa adicional de filtración, la cual no siempre es de fácil ejecución.

Por otro lado, la penetración del solvente en fragmentos mayores de la materia prima es lenta y la salida de las sustancias extraíbles es difícil. Por esta razón, se recomienda la utilización de polvos moderadamente gruesos para la gran mayoría de las materias primas.

2.2.3.2. Agitación

La eficiencia del proceso extractivo es función del equilibrio de saturación del solvente. La agitación hace que nuevas cantidades de solvente, pobre en las 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 la recirculación del solvente o agitadores mecánicos, desplaza el equilibrio en el sentido de la saturación del solvente, aumentando la eficiencia del proceso.

2.2.3.3. Temperatura

La temperatura contribuye al desplazamiento de la constante de equilibrio de saturación y aumenta la eficiencia del proceso. Sin embargo muchos principios activos son termolábiles y pueden ser destruidos, total o parcialmente a temperaturas elevadas.

2.2.3.4. pH

El pH influye en la solubilidad de diversos compuestos ya que permite la posibilidad de formación de sales. La obtención de alcaloides constituye un ejemplo clásico de la influencia del pH en el proceso de extracción. La extracción de alcaloides con solventes orgánicos de baja polaridad exige un pretratamiento con soluciones alcalinas, buscando con esto liberar los alcaloides de sus sales y, así, volverlos solubles en el solvente orgánico. En el caso de extracción de alcaloides con soluciones acuosas es necesario un pH ácido, buscando con esto la conversión de los alcaloides en sus respectivas sales, solubles en agua.

2.2.3.5. Naturaleza del solvente

Dependiendo de la finalidad deseada, el disolvente utilizado extrae selectivamente o no, cierta clase de compuestos. El alcohol etílico y sus mezclas con agua, es el disolvente por excelencia para la obtención de extractos y tinturas.

Entre los solventes generales, los más utilizados son los alcoholes alifáticos de hasta 3 carbonos o mezclas de estos con el agua. Estos solventes logran extraer la gran mayoría de las sustancias naturales de interés como los alcaloides, flavonoides, glicósidos cardiotónicos y los terpenos.

Debido a su poder extractivo, estos solventes son los indicados para los casos en que los constituyentes activos de las plantas no son bien conocidos, siendo necesario agotar completamente la materia prima.

El alcohol etílico y sus mezclas con agua es el solvente por excelencia para la obtención de extractos y tinturas. Cuando no existen estudios específicos, se recomienda utilizar la mezcla de alcohol: agua 7:3 u 8:2 para la extracción de las partes leñosas de la planta, raíces y semillas, mientras la proporción de 1:1 es recomendada para extraer las hojas o las partes aéreas verdes, ya que en esta concentración se evita la extracción de la clorofila y de las sustancias polimerizadas o resinoides que, generalmente, no presentan actividad terapéutica, pero complican las etapas siguientes de purificación, por el hecho de presentar precipitados viscosos.

2.2.3.6. 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 necesaria, lo que acarrea un encarecimiento del proceso industrial.

2.3. Evaluación de propiedades del colorante natural

Para la evaluación de las propiedades del colorante natural se necesita conocer sus características fisicoquímicas.

2.3.1. Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas más importantes a evaluar las que se presentan a continuación.

2.3.1.1. Características fitoquímicas

Aunado al examen botánico está el análisis fitoquímico que ayuda a autenticar la identidad del material vegetal. La identificación química, generalmente utiliza procedimientos cromatográficos para detectar la presencia de compuestos marcadores.

Los perfiles cromatográficos o espectroscópicos pueden ser usados para obtener la identificación química comparando siempre contra un estándar o muestra de referencia. Algunos ejemplos de métodos espectroscópicos son: el ultravioleta-visible (UV-vis), infrarrojo (IR) e infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Los ejemplos de métodos cromatográficos incluyen: cromatografía líquida de alta presión (HPLC, por sus siglas en inglés), cromatografía de capa fina (TLC), y cromatografía de gas (GC).

Los métodos analíticos usados para obtener la huella digital (*fingerprinting*) de un material vegetal deben ser capaces de detectar la mayor cantidad de compuestos químicos como sea posible.

Las huellas digitales múltiples obtenidas utilizando una combinación de métodos analíticos, con diferentes principios de separación y condiciones de ensayo, pueden ser de gran utilidad.

El análisis químico de los extractos de plantas es muy importante en el control de la calidad. Después de que la identidad del material ha sido establecida, la investigación cuantitativa y cualitativa puede empezarse.

Este análisis debe envolver preferiblemente alguna clase de método cromatográfico. La calidad del extracto de la planta puede ser dada como una huella digital en el cromatograma (aceites esenciales crudos) en el caso de que los componentes principales no sean conocidos o demasiados complejos.

Entre las propiedades físicas que se analizan para los aceites esenciales están la gravedad específica, el índice de refracción, solubilidad, entre otros.

2.3.1.2. Cromatografía

La cromatografía es una técnica de separación extraordinariamente versátil que presenta distintas variantes. En toda separación cromatográfica hay dos fases, una móvil y otra estacionaria, que se mueven una respecto de la otra manteniendo un contacto íntimo. La muestra se introduce en la fase estacionaria y la móvil.

Los componentes de la mezcla a separar invierten un tiempo diferente en recorrer cada una de las fases, con lo que se produce la separación. Si un componente está la mayor parte del tiempo en la fase móvil, el producto se mueve rápidamente; mientras que si se encuentra la mayor parte en la fase estacionaria, el producto queda retenido y su salida es más lenta.

2.3.1.3. Cromatografía en capa fina

La idea y los fundamentos de la utilización de un adsorbente cromatográfico dispuesto como una delgada capa sobre un soporte inerte rígido, son atribuidos a Izmailov y a Shaiber (1938). Estos investigadores analizaron tinturas farmacéuticas por cromatografía en capa fina utilizando albúmina como adsorbente en una placa de vidrio, con el objetivo de obtener cromatogramas circulares.

En 1949, Meinhard y Hall utilizaron una goma para unir una mezcla de celita y albúmina en láminas de microscopio, obteniendo una capa homogénea y más fina. Kirchner y sus colaboradores usaron por primera vez un desarrollo ascendente, como ya era usando en la cromatografía en papel. Sin embargo, fueron el trabajo de Stahl y el consecuente desarrollo de adsorbentes estandarizados comercialmente, los responsables por el auge vertiginoso del uso de la cromatografía en capa fina. Stahl publicó un excelente libro sobre este tema.

Desde entonces, la cromatografía en capa fina fue aceptada como una técnica analítica reproducible. Wagner y sus colaboradores elaboraron un libro en el cual describen el análisis de materias primas vegetales.

La cromatografía en capa fina consiste en la separación de los componentes de una mezcla a través de la migración diferencial sobre una capa fina de adsorbente, retenida sobre una superficie plana. En esta técnica, una solución de la muestra que va a ser analizada se aplica por medio de un tubo capilar sobre la superficie de un adsorbente inerte (sílica, alúmina, etc.) distribuido uniformemente sobre una placa de vidrio o de aluminio.

La placa se coloca verticalmente dentro de una cámara previamente saturada con el vapor del efluente adecuado, de tal forma que la parte inferior de la placa que contiene la muestra entre en contacto con la fase móvil. El eluente va a migrar por capilaridad en la placa cromatográfica, separando por migración diferencial los diversos componentes de la mezcla a ser estudiada. Después de que ha ocurrido, se evapora el eluente y la placa se analiza utilizando luz UV o luz visible, o aplicando reactivos que dan como resultado reacciones de coloración con las sustancias contenidas en la mezcla analizada.

El gran desarrollo de esta técnica se debe a las múltiples ventajas que ella ofrece, entre las cuales se pueden citar: su fácil comprensión y rápida ejecución, la versatilidad, su reproducibilidad y el bajo costo. El proceso de separación está fundamentado principalmente en una serie de etapas o equilibrios de adsorción-desorción. Otros tipos de cromatografía, como la de reparto o la de intercambio iónico, pueden tener lugar cuando se utilizan fases estacionarias apropiadas. En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de adsorbentes entre los cuales están: la síicagel (SiO_2), la celita (tierra de diatomeas), la alúmina (Al_2O_3), la celulosa (para cromatografía de reparto) y la poliamida.

2.3.1.3.1. Análisis cuantitativo en cromatografía en capa fina

Hasta 1987, la principal utilización de la cromatografía en capa fina era básicamente cualitativa o semipreparativa. El desarrollo de los densitómetros modernos permitió la utilización de esta técnica para los análisis cuantitativos.

El densitómetro mide el área y la intensidad de las manchas de un cromatograma en capa fina, presentando registros en forma de picos.

La lectura de una placa puede ser llevada a cabo por transmitancia o reflectancia en la región ultravioleta y visible, o por fluorescencia. Para cuantificar una sustancia utilizando esta técnica es necesario primero construir una curva de calibración con concentraciones conocidas de un patrón de la sustancia que va a ser analizada.

Sustancias incoloras pueden ser cuantificadas, siempre y cuando se utilicen reactivos cromogénicos, los cuales van a permitir la lectura del densitómetro. En este caso debe tenerse precauciones, pues puede presentarse una distribución desigual de la coloración, dependiendo de la cantidad y la forma de aplicación del revelador utilizado, de la temperatura utilizada durante el calentamiento que puede volatilizar la muestra y del tiempo empleado entre el revelado y la lectura de la placa.

La presencia de manchas difusas e irregulares puede presentarse cuando se aplican sustancias en baja concentración que necesitan de la aplicación de un volumen mayor de la solución que va a ser analizada. Estos factores pueden afectar la eficiencia de esta técnica.

Existen otros factores que pueden ocasionar errores en la lectura y están relacionados con la falta de reproducibilidad de la aplicación de la muestra y con variaciones de las condiciones cromatográficas. Entre estos factores se puede citar: la homogeneidad del adsorbente empleado o la migración del solvente de forma irregular.

Se desarrolló un proceso de cuantificación basado en la utilización de un instrumento de alta precisión, llamado analizador de colores, bastante utilizado en la industria textil el cual muestra mayor precisión, comparado con los densitómetros usuales.

No siempre se conoce la constitución química de la planta; cuando esto sucede es indispensable realizar su perfil cromatográfico; el extracto, en condiciones definidas de análisis, formará un diseño característico debido a la migración diferencial de sus constituyentes, llamado huella digital (*finger print*) de la planta.

Por consiguiente las plantas de las cuales no se posea ninguna información sobre su constitución química, pueden ser controladas, realizando simplemente cromatografías de un extracto patrón, botánicamente identificado y obtenido de la misma manera que el extracto que va a ser analizado. La migración de las manchas presentes en la muestra y en el patrón aunque no estén identificadas, pueden ser comparadas a partir del Rf, del tamaño y coloración.

Los análisis cuantitativos del material de origen vegetal pueden ser realizados a través de la lectura de las placas en capa fina en densitómetros. Se ha utilizado la cromatografía en capa fina con posterior lectura en un densitómetro para cuantificar la pinocebrina, una isoflavanona a la cual se le atribuyen, en gran parte, las actividades antibacterianas del propóleo.

Igualmente se ha cuantificado la pinocebrina a través de la cromatografía en capa fina seguida por la lectura con un densitómetro, utilizando como patrón interno la 1, 4 dihidroxiantraquinona, obteniendo resultados comparables a los análisis realizados con la ayuda de un equipo de cromatografía líquida de alta eficiencia, comprobando así la eficiencia de esta técnica.

2.3.1.4. Cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC

La cromatografía líquida de alta eficacia o *high performance liquid chromatography* (HPLC) es un tipo de cromatografía en columna, utilizada frecuentemente en bioquímica y química analítica. También se la denomina a veces cromatografía líquida de alta presión o *high pressure liquid chromatography* (HPLC), aunque esta terminología se considera antigua y está en desuso.

El HPLC es una técnica utilizada para separar los componentes de una mezcla, basándose en diferentes tipos de interacciones químicas entre las sustancias analizadas y la columna cromatográfica.

En la HPLC isocrática el compuesto pasa por la columna cromatográfica a través de la fase estacionaria (normalmente, un cilindro con pequeñas partículas redondeadas con ciertas características químicas en su superficie) mediante el bombeo de líquido (fase móvil) a alta presión a través de la columna. La muestra a analizar es introducida en pequeñas cantidades y sus componentes se retrasan diferencialmente, dependiendo de las interacciones químicas o físicas con la fase estacionaria a medida que adelantan por la columna.

El grado de retención de los componentes de la muestra depende de la naturaleza del compuesto, de la composición de la fase estacionaria y de la fase móvil. El tiempo que tarda un compuesto a ser eluido de la columna se denomina tiempo de retención y se considera una propiedad identificativa característica de un compuesto en una determinada fase móvil y estacionaria.

La utilización de presión en este tipo de cromatografías incrementa la velocidad lineal de los compuestos dentro la columna y reduce así su difusión, mejorando la resolución de la cromatografía. Los disolventes más utilizados son el agua, metanol y acetonitrilo. El agua puede contener tampones, sales, o compuestos como el ácido trifluoroacético, que ayudan a la separación de los compuestos.

Una mejora introducida a la técnica de HPLC descrita es la variación en la composición de la fase móvil durante el análisis, conocida como elución en gradiente.

Un gradiente normal en una cromatografía de fase reversa puede empezar a un 5% de acetonitrilo y progresar de forma lineal hasta un 50% en 25 minutos. El gradiente utilizado varía en función de la hidrofobicidad del compuesto. El gradiente separa los componentes de la muestra como una función de la afinidad del compuesto por la fase móvil utilizada, respecto de la afinidad por la fase estacionaria. A menudo, hace falta realizar una serie de pruebas previas, con tal de optimizar el gradiente, de forma que permita una buena separación de los compuestos.

2.3.1.5. Constituyentes

La quimiotaxonomía es la clasificación de plantas basadas en sus constituyentes químicos y esta puede ser de utilidad en la identificación de material vegetal. Los compuestos metabólicos encontrados en los tejidos vegetales pueden ser divididos en dos grandes categorías basadas en sus funciones.

La primera categoría comprende los metabolitos primarios que son los involucrados en los procesos fisiológicos de la planta, absolutamente necesarios para la vida y omnipresentes en el reino vegetal; estos procesos incluyen la fotosíntesis, respiración y metabolismo del ácido nucléico, proteínas, carbohidratos y lípidos.

La segunda comprende los metabolitos secundarios, compuestos que se cree no son absolutamente necesarios para los procesos de la vida, aunque pueden tener funciones importantes en las interacciones de la planta con otros organismos, tales como interacciones alelopáticas, defensa química contra herbívoros y patógenos y atracción para la polinización y animales dispersadores de semilla.

Muchos metabolitos secundarios son conocidos por tener actividad farmacológica y, además, son la base para la quimiotaxonomía de las plantas. Los metabolitos secundarios pueden ser clasificados en diferentes clases químicas, tales como: aminoácidos no protéicos, flavonoides, xantonas, umarinas, poliacetilenos, policétidos cíclicos, monoterpenos, sesquiterpenos, iridoides, triterpenos, esteroides, terpenos que contienen nitrógeno y alcaloides.

2.3.1.6. Identificación química

Para la identificación química de artículos botánicos se preparan extractos, los cuales son mezclas complejas de varios constituyentes químicos.

Para la gran mayoría de extractos botánicos, se puede decir que no se conoce con certeza cuál de los componentes es el responsable del efecto farmacológico registrado.

Generalmente, se cree que varios constituyentes actúan sinérgicamente para proveer dicho efecto. Para el material vegetal que posee una monografía, ciertos constituyentes químicos son elegidos y se describen ensayos cuantitativos para evaluar su contenido. La elección de tales componentes, generalmente conocidos como marcadores, está basada en ciertas consideraciones.

Actualmente, los siguientes tipos de marcadores son especificados en las monografías y pueden ser identificados en la materia prima.

2.3.1.7. Determinación cualitativa de metabolitos secundarios

El cribado o tamizaje fitoquímico tiene como objetivo general la determinación cualitativa de los principales grupos químicos presentes en el material vegetal y que, por lo general, son los grupos responsables de la actividad farmacológica.

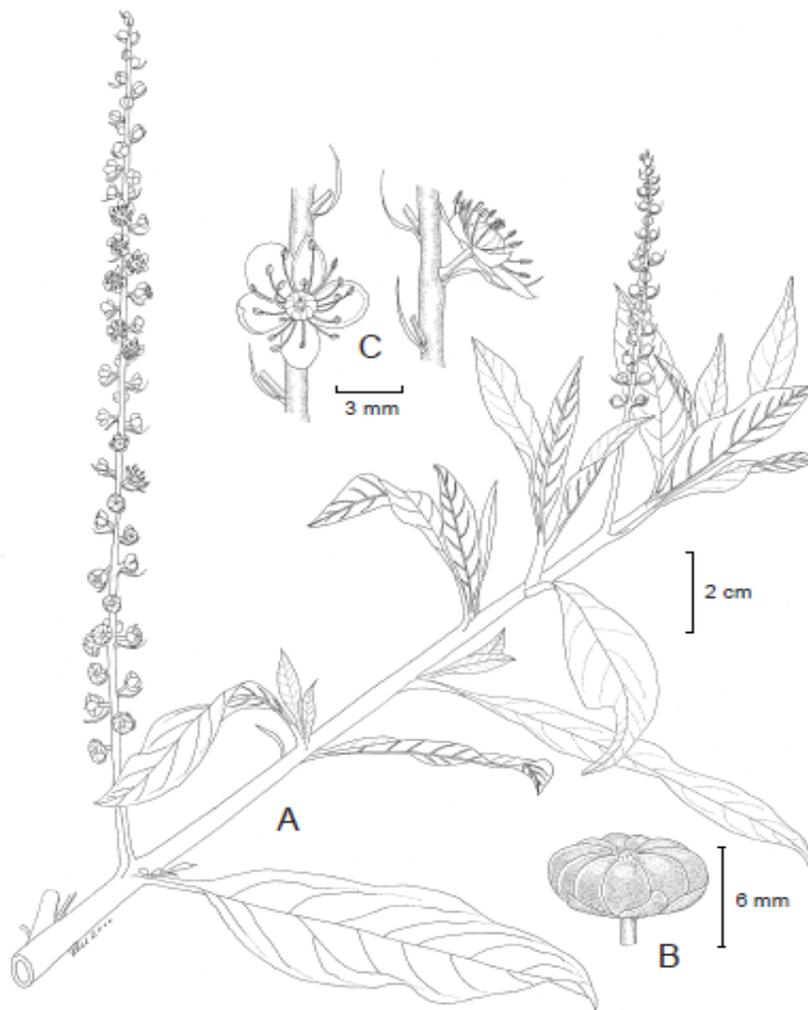
Estos ensayos son simples y pueden utilizarse de forma general para la caracterización de extractos obtenidos de material vegetal, pero no son ensayos cuantitativos, por lo tanto, no indican por sí solos la calidad del material vegetal.

Las técnicas de determinación cualitativa más corrientemente utilizadas incluyen la determinación de la presencia de alcaloides, flavonoides, taninos, antracenos, esteroides insaturados, saponinas, glicósidos cardioactivos y otros grupos fenólicos.

2.4. Descripción de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)

El jaboncillo es una hierba de porte erecto que alcanza los dos metros de altura. La raíz es gruesa, carnosa y los tallos son huecos. A continuación se presenta su descripción.

Figura 1. Planta normal de *Phytolacca icosandra* L.



Fuente: CRUZ, Ramiro. Anormalidad floral en *Phytolacca icosandra* L. p. 27.

2.4.1. Sinonimia

Phytolacca octandra L.

2.4.2. Nombres comunes en español

Jaboncillo, almorsaca, mazorquilla, uaxit (fide Mrs. Osborne); ixmaxin (Quezaltenango); amorzacate.

2.4.3. Nombres comunes en inglés

Tropical pokeweed, red inkplant

2.4.4. Categorías taxonómicas superiores

Reino: *Plantae*; Subreino: *Traqueobionta* (plantas vasculares); Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas); División: *Magnoliophyta* (plantas con flor); Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas); Subclase: *Caryophyllidae*; Orden: *Caryophyllales*.

2.4.5. Origen y distribución geográfica

A continuación se detallan los aspectos del origen y distribución geográfica de la planta.

2.4.5.1. Área de origen

México y Antillas a Sudamérica.

2.4.5.2. Distribución secundaria

Naturalizada en algunas partes de Europa.

2.4.5.3. Distribución en Guatemala

Campos húmedos y matorrales o pistas abiertas, a veces en un pinar, a menudo en los residuos o la tierra cultivada, ampliamente distribuida, ascendiendo a 2 900 metros de altura, más abundante en el medio o las elevaciones más altas, y rara vez se encuentran en tierra caliente.

2.4.5.4. Estatus migratorio en Guatemala

Nativa.

2.4.6. Identificación y descripción

La identificación y descripción de la planta comprende aspectos básicos de la planta como hábito y forma de vida, tamaño, tallo, hojas, inflorescencia, flores, frutos y semillas.

2.4.6.1. Hábito y forma de vida

Hierba anual o perenne de vida corta, con frecuencia robusta, sin pelos o poco pubescente, algo suculenta.

2.4.6.2. Tamaño

Hasta de 2 m de alto.

2.4.6.3. Tallo

Ramificado, hueco, anguloso.

2.4.6.4. Hojas

Elípticas u ovadoelípticas, de 7 a 20 cm de largo por 2,5 a 9,5 cm de ancho, ápice agudo, acuminado y a veces mucronado, base atenuada a acuminada; pecíolos bien manifiestos, de 1 a 6 cm de largo.

2.4.6.5. Inflorescencia

Racimos pedunculados, numerosos, axilares y terminales, de 8 a 15 cm o más de largo, en estado de fructificación, raquis frecuentemente pubescente.

2.4.6.6. Flores

Subsésiles o sobre pedicelos de 2 a 5 mm de largo, brácteas subuladas, tépalos verdosos, blancos o rojizos, elípticos a ovados, de 2,5 a 3,2 mm de largo por 1,5 a 3 mm de ancho, persistentes; estambres 8 a 20; ovario subgloboso, con 6 a 10 carpelos, estilos encorvados.

2.4.6.7. Frutos y semillas

Fruto carnoso, globoso-aplanado, de 6 a 8 mm de diámetro, verde cuando tierno, pasando a rojo oscuro y luego negro en la madurez; semilla negra, brillante, de unos 2,5 mm de largo.

2.4.7. Etnobotánica y antropología

Esta planta y las otras especies locales son de gran importancia económica en Guatemala como un sustituto de jabón. A lo largo de las tierras altas, pero especialmente en San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán, grandes cantidades de las bayas verdes son recogidas por mujeres indígenas y niños, y se utiliza en el hogar o se venden en los mercados. Los frutos maduros no se reúnen, ya que dejan manchas, pero los de color verde cuando se maceran en agua dan una espuma abundante que es satisfactoria para la limpieza de la ropa.

El jugo de los frutos maduros da un color rojo-púrpura que a veces se utiliza para tinta o para la coloración de varios artículos pequeños. Hay una creencia popular en algunas regiones, que los frutos son venenosos, pero a veces se come en pequeñas cantidades por los niños, tanto en Centroamérica como en Estados Unidos.

Las raíces son conocidas por ser tóxicas. Secas, son empleadas en los Estados Unidos como un remedio para ubre endurecida en las vacas, y antiguamente se vendían normalmente en las farmacias para este fin. Las plantas han sido muy utilizados en la medicina interna u oficiales, incluso en América y Europa.

Es frecuente el empleo del jaboncillo en problemas del cuero cabelludo y padecimientos de la piel. Es así que se recomienda lavar el pelo, con el cocimiento de las hojas para evitar su caída, contra la tiña y la caspa. Para evitar la caspa se remojan los frutos y las hojas en agua tibia, después de cierto tiempo se utiliza el agua como enjuague, dando masajes en el cuero cabelludo, pero cuidando que no entre a los ojos.

Por otra parte, el jugo del fruto se aplica de manera local como antidermatítico y contra los hongos de la piel. El cocimiento de las hojas se aplica mediante compresas sobre los granos o se lavan con él las heridas. La infusión de las hojas y flores es útil contra el sarampión, se ingiere y acompaña de un baño con la decocción de las flores.

Para obtener un efecto analgésico, se aplican localmente las hojas hervidas o semiasadas, cuando hay dolor de espalda, estómago o dolor de cabeza. Por otra parte, se ponen compresas con su cocimiento para sanar los golpes. Se bebe la infusión de la raíz en caso de cólico o el de las hojas cuando hay dolor de estómago menos intenso. Para las reumas se unta en la zona adolorida un preparado alcohólico de las hojas y la raíz.

El cocimiento de las ramas se toma para adelgazar. Este serenado, se considera un diurético eficaz contra la oliguria.

Además, se le usa cuando hay congestión estomacal, contra *Ascaris lumbricoides* y como anticonceptivo.

2.4.8. Toxicidad

Se reporta que esta planta es tóxica debido a la presencia de un glucósido saponínico: fitolaccina. Las partes de la planta donde hay mayor concentración de fitolaccina son los frutos y la raíz.

Cuando se ingieren grandes cantidades de la planta, los síntomas tóxicos suelen aparecer una o dos horas después de su ingesta, incluye vómitos, vértigos y trastornos de la visión.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables de la investigación se clasifican en independientes, dependientes, monitoreables, no monitoreables y de respuesta.

Tabla IV. Definición de variables de la investigación

Variable	Independiente	Dependiente	Monitoreable	No monitoreable	Respuesta
Cantidad de materia prima	X		X		
Tamaño de partícula	X		X		
Tipo de disolvente	X		X		
Relación materia prima/disolvente	X		X		
Temperatura del sistema	X		X		
Velocidad de agitación	X		X		
Tiempo de extracción		X		X	
Rendimiento de extracción		X		X	X
Densidad		X		X	
Porcentaje de humedad		X		X	
pH		X		X	
Índice de refracción		X		X	
Color		X		X	
Mordientes	X		X		
Solidez a la luz		X		X	X
Solidez al lavado		X		X	X
Solidez al cloro		X		X	X
Solidez a la sublimación		X		X	X

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El estudio está delimitado por las líneas de investigación de la carrera de ingeniería química, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla V. Líneas de investigación para el trabajo de graduación

Área científica y tecnológica	Área temática principal	Área temática secundaria	Línea de investigación prioritaria
Ingeniería y tecnología	Ciencias tecnológicas	Procesos tecnológicos	Extracción sólido-líquido
Ciencias Naturales y exactas	Química	Química orgánica	Química de los colorantes

Fuente: Escuela de Ingeniería química (<http://equimica.ingenieria-usac.edu.gt/index.php>)

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Shilonen Shkik Camposeco Xiloj
- Asesora: Inga. Telma Maricela Cano Morales
- Asesor: Ing. Mario José Mérida Meré

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos para la investigación incluyen materia prima, equipo y cristalería.

3.4.1. Materia prima

- Fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)
- Metanol

- Alcohol etílico 99%
- Agua destilada

3.4.2. Equipo

- Potenciómetro HANNA pH 211
- Picnómetro de 1.023 mL
- Estufa con sistema de calentamiento de medio a fuerte
- Balanza digital marca *Sartorius*, precisión de 0.001 gramo, percibe hasta 400 gramos
- Balanza de humedad
- Bomba de vacío
- Agitadores magnéticos
- Rotavaporador
- Secador de bandejas
- Refractómetro
- Molino
- Marmita
- Marmita de concentración

3.4.3. Cristalería

- *Beackers* con capacidad de 50,100,250,600 y 1000 mL
- Balones aforados de 500 y 1000 mL
- Matraz de cuello corto con esmeril 24/40, de 5000 mL
- Condensadores de reflujo
- Probetas 100 y 250 mL
- Embudo de vidrio

- Embudo Büchner
- Kitasato de 500 mL
- Frascos ámbar de tapón de rosca de 200 mL

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

A continuación se detalla la metodología utilizada en el ensayo, tanto a escala laboratorio como a escala planta piloto.

3.5.1. Pruebas preliminares

Comprenden las pruebas realizadas antes de iniciar el proceso de extracción del colorante natural.

3.5.1.1. Rendimiento máximo por soxhlet

Este es un proceso de lixiviación que se lleva a cabo entre dos fases: una sólida y otra líquida; una fase estática (sólido) y la fase líquida que es móvil. El solvente se encuentra en un matraz, de fondo plano o redondo, el cual es agitado con un agitador magnético, se eleva la temperatura al punto de ebullición del solvente, esto con el objetivo de que el solvente evaporado se desplace en el *bypass* ubicado en el equipo de extracción soxhlet para luego condensarse en el refrigerante *Allihn* o de bolas y depositarse en el tubo extractor, donde se encuentra la materia prima dentro de un dedal de celulosa.

Una vez el nivel del soluto alcanza la altura del tubo de reflujo se produce el efecto de sifón que regresa el solvente al matraz de fondo plano, donde se repite el proceso.

El tiempo de contacto entre el soluto y el solvente es variable, ya que cada uno de los ciclos es variable y depende muchas veces de las pérdidas de calor que se puedan presentar en el sistema. En este método extractivo es necesario tomar como parámetro de control del proceso la temperatura a la cual el solvente alcanza el punto de ebullición.

Durante este proceso se lleva a cabo un monitoreo para determinar el final de la extracción; se toman alícuotas del solvente que se encuentre dentro del equipo Soxhlet para poder determinar valores de densidad y humedad. El punto final será cuando el valor de los sólidos totales del extracto dentro del equipo Soxhlet muestre un valor constante

El tiempo de extracción es continuo hasta agotar el material, es decir, que el líquido pase incoloro por el tubo sifón. Se utilizan tres solventes diferentes: metanol, etanol y agua destilada.

3.5.1.2. Secado de la materia prima

Colocar la cantidad de materia prima necesaria en el secador de bandejas del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, sección Química Industrial del Centro de Investigaciones, de la Facultad de Ingeniería.

3.5.1.3. Materia extraña

Es todo aquella materia que no es parte de la planta y que en el proceso de obtención de tinturas podría contaminar el producto final.

Para su eliminación se realiza el siguiente procedimiento: tomar 500 g de muestra del fruto de jaboncillo secos y se extienden en una superficie en donde se determinará el fruto globoso achatado de alrededor de 8 mm de radio.

Después de extraer de la muestra todo material que no cumpla con estos requerimientos se pesan y se hace una relación para determinar el porcentaje de materia extraña en la muestra:

Si el porcentaje de materia extraña determinado es menor a 1%, se considera aprobada la materia prima y se procede a tamizar previamente, eliminando del primer lote todo aquello que no cumpla.

3.5.2. Determinación de porcentaje de humedad

La humedad de una muestra no es solo el contenido de agua, comprende también toda materia volátil que se elimina por calentamiento, conduciendo a pérdida de peso. Entre estas sustancias se tiene: agua, grasas, aceites, alcoholes, disolventes, materias aromáticas, componentes volátiles y productos de descomposición.

El exceso de agua en drogas vegetales es el responsable de la hidrólisis de sus constituyentes y del crecimiento de microorganismos. Con pocas excepciones, el contenido de agua en estas drogas debe variar entre 8 y 12%.

Debido a que se cuenta con una balanza de humedad, se deposita una muestra de 1 g, y la balanza indica el porcentaje de humedad en la muestra.

3.5.3. Molienda y tamizado de la materia prima

El material previamente molido se hace pasar por una torre de tamices, con distinta secuencia, según la planta tamizada, de la siguiente forma:

Tabla VI. Tamices para jaboncillo

No. Tamiz	Tamaño de tamiz	Tamaño promedio de partícula
8	2,38 mm	2,38 mm
10	2 mm	2,19 mm
30	600 μ m	1,2 mm
40	425 μ m	812,5 μ m
50	300 μ m	512,5 μ m
80	180 μ m	330 μ m
Fondo	>180 μ m	>180 μ m

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Maceración dinámica

- La materia prima se coloca en un matraz de cuello corto con esmeril 24/40, de 5000 mL de capacidad; en una relación de materia prima fresca/solvente de 1:10 (w/v). Colocándose 20 g de materia prima y 200 mL de solvente.
- El método utilizado es el de maceración dinámica con reflujo, se coloca el condensador en el cuello del matraz y todo el equipo se ubica en una plancha de calentamiento durante el tiempo determinado para cada solvente, a temperatura de ebullición.

- Luego se procede a filtrar con manta, utilizando la técnica de filtrado al vacío.
- Los extractos obtenidos se secan por evaporación, luego se colocan en recipientes cerrados color ámbar para su posterior caracterización y utilización en el proceso de tinción de fibras.
- Para poder analizar la calidad del extracto obtenido se procede de la siguiente manera: se concentra a presiones negativas de 15" Hg en un rotavapor, a temperatura no mayor de 40°C y seleccionando una rotación constante del equipo. El tiempo de extracción de solvente es continuo, hasta que la muestra no tenga presencia de solvente.
- El residuo obtenido contiene extracto de colorante, el que es almacenado en viales debidamente identificados y en refrigeración.
- Después de obtener los extractos se le realizan pruebas físicas y químicas.

3.5.5. Determinación de los sólidos extraíbles

Consiste en la determinación de la cantidad de sólidos presentes en el extracto después de la eliminación total del solvente.

Se determina de la siguiente manera:

3.5.6. Determinación de la densidad

La densidad relativa es la relación entre la masa de un determinado volumen a 25°C y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

El procedimiento para la determinación de la densidad es el siguiente:

- Tarar el picnómetro perfectamente limpio y seco.
- Llevar el picnómetro hasta el borde con la solución y colocar el termómetro tapadera; se producirá un pequeño rebalse por el canal lateral; colocar la tapadera del canal lateral.
- Secar perfectamente y tarar en una balanza analítica.
- Determinar la densidad de la manera siguiente:

3.5.7. Determinación del pH

El pH es un valor que representa convencionalmente la concentración de iones hidrógeno de una disolución acuosa. Por razones prácticas se define una manera experimental.

Es necesario calibrar el instrumento periódicamente, especialmente si se requiere de precisión en las lecturas. Con el instrumento calibrado determinar el pH de la solución, siempre teniendo en cuenta que desde cada lectura debe lavarse con agua destilada.

3.5.8. Determinación del índice de refracción

Se utilizará un refractómetro *Abbe*. Se limpia con xilol y se vierte una gota del extracto en el prisma, tomando nota de la lectura del equipo a temperatura de 20°C.

3.5.9. Determinación de color

Se coloca una muestra de la planta en un vidrio de reloj; haciendo uso del estereoscopio se determina el color. El color se basará en el *Pantone® Color Formula Guide 1000* SICPA.

3.5.10. Fitoquímica

El tamizaje fitoquímico incluye la determinación cualitativa de flavonoides y taninos.

3.5.10.1. Determinación cualitativa de flavonoides

Para la determinación cualitativa de los flavonoides presentes en la planta se realiza en un ensayo de cromatografía en capa fina.

3.5.10.1.1. Ensayo semimicro: cromatografía en capa fina

Cromatografía en capa fina: 0.25 mg de extracto diluir en 10 mL de metanol al 80% filtrar, y aplicar 25-40 µL en una cromatoplaque de silicagel 60 F254; como estándar emplear 10 µL de quercetina, rutina, ácido clorogénico y ácido cafeico. Fase móvil: n-butanol-ácido acético-agua (25:5:20)

Detección: sin tratamiento químico; UV 254 nm fluorescencia, zonas azules o amarillas. UV 365 nm, dependiendo de la estructura fluorescente, amarillo, azul o verde. Reactivo de productos naturales (NP/PEG). Fluorescencia intensiva en UV-365 nm.

- Solución 1: solución metanólica al 1% de difenilboriloxietilamina (NP)
- Solución 2: solución etanólica al 5% de polietilenglicol 40000 (PEG)

Aplicar a la placa vapores de amoniaco para intensificar el color de las manchas.

3.5.10.2. Determinación cualitativa de taninos

Los taninos son sustancias de alto peso molecular; es un complejo polímero de ácidos fenólicos y algunos además contienen azúcares.

- Extraer 10 g de material vegetal pulverizado con 30 mL de etanol o metanol al 80 por ciento;
- Filtrar y evaporar a sequedad;
- Añadir 25 mL de agua caliente al residuo y agitar con varilla y dejar enfriar;
- Agregar 1 mL de solución de cloruro de sodio al 10% y filtrar;
- Adicional 3 mL del filtrado a 4 tubos de ensayo:
 - Tubo 1: testigo
 - Tubo 2: agregar 4 a 5 gotas de solución de gelatina al 1% (w/v)

- Tubo 3: agregar 4 a 5 gotas de gelatina-sal (1 por ciento de gelatina y cloruro de sodio al 10%)
- Tubo 4: agregar 3 a 4 gotas de solución de cloruro férrico al 10 por ciento (w/v)

- Observar la formación de precipitado y/o cambio de coloración.
- Con cloruro férrico: grisáceo-negro catecol; negro-azulado: pirogalol.

3.5.11. Extracción del tinte natural a escala planta piloto

El método a usar para la extracción del tinte es el de maceración dinámica en caliente.

En este método se procede de la siguiente manera:

- La materia prima fresca, molida se coloca en la marmita de acero inoxidable en una relación materia prima seca/solvente 1:10 (w/v);
- Se procede a abrir la llave de vapor que en forma indirecta incrementa la temperatura de la mezcla hasta llegar a temperatura de ebullición durante 2 horas;
- Se procede a descargar la mezcla a través del conducto de salida en la parte inferior de la marmita;
- Se procede a filtrar, utilizando un recipiente de acero inoxidable para filtración al vacío. Se utiliza manta de algodón de un tamaño de abertura de 118 μm , como medio filtrante;

- El extracto obtenido se seca, utilizando el secador eléctrico de flujo transversal de bandejas, obteniendo un polvo de cristales brillantes y se coloca en frasco color ámbar para su utilización en el teñido de fibras.

3.5.12. Método para la tinción de fibras naturales (Maguey, lana y algodón)

- Se realizará el proceso de lavado de las fibras de lana. Se colocará en agua con detergente durante 12 horas. Posteriormente se lavará solo con agua. Las fibras de maguey y algodón no se lavan;
- Se hará el proceso de mordentado de las fibras, el cual consiste en colocar las fibras en una solución de alumbre (sulfato doble de potasio y aluminio, $(Al_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24 H_2O)$). La cantidad de alumbre agregado representa el 10% en masa de la cantidad de fibra a mordentar;
- Para mordentar la lana, además de alumbre se le agrega a la solución de mordentado ácido tartárico (crémor tártaro), que represente el 5% de la cantidad de lana a mordentar;
- Para mordentar el algodón, además de alumbre se le agrega un extracto tánico, que represente el 25% en peso de corteza fresca de la especie de donde se obtiene dicho extracto, de la cantidad de algodón a mordentar;
- Se introduce la fibra en la solución de mordentado y se procede a aplicarle calor;

- En el caso de maguey y algodón se ebulle durante 1 hora, moviendo constantemente la fibra. En el caso de lana, se mantiene la temperatura de la mezcla mordiente a una temperatura de 90°C, sin llegar a ebullición, debido a que la fibra es más sensible y se destruye;
- Se realizará el lavado de fibras después del mordentado. Este proceso se realiza utilizando agua con una pequeña cantidad de jabón neutro;
- Se realizará el proceso de tinción de la siguiente manera: para 1 libra de fibra se miden los 7.5 litros de agua y se colocan en un recipiente, se le aplica calor hasta llegar a una temperatura aproximada de 70°C, luego se introduce la cantidad necesaria de extracto colorante y se agita durante 5 minutos; se introduce la fibra y se mueve constantemente;
- Cuando se tiñe algodón o maguey, se puede llegar a ebullición, pero con la lana solo se puede llegar a una temperatura de 90°C, al igual que en el proceso de mordentado, ya que la fibra se afecta. Desde el momento del inicio de la ebullición o al llegar a 90°C en el caso de la lana, se mide 1 hora y se sacan las fibras de la solución de agua y extracto colorante para realizar el proceso de lavado;
- Se realizará el lavado de fibras después de la tinción. Este proceso se realiza utilizando agua con una pequeña cantidad de jabón neutro (se puede usar shampoo para bebé);
- Se realizará después el proceso de lavado de las fibras con suficiente agua, se ordenan las madejas de fibras y se procede a secar a la sombra.

3.5.12.1. Caracterización de las fibras teñidas

Determinación de las propiedades fisicoquímicas de solidez de las fibras teñidas:

- Solidez a la luz: prueba que determina el grado de resistencia a la degradación por la luz de un colorante determinado sobre un tejido, hilo o fibra. Refiriendo el resultado de las pruebas a una escala con patrones conocidos. Existe una escala de 1 a 8 en el que 1 representa el grado más bajo y 8 el más alto.

- Solidez al lavado: prueba determinativa de la resistencia presentada por el género teñido a la operación de lavado, en sus distintas condiciones prácticas:
 - Test 1/40°C:5g/L jabón, 30 minutos a 40°C, relación de baño: 50:1
 - Test 3/60°C:5g/L jabón, 2g/L soda ash, 30 minutos a 60°C, relación de baño: 50:1
 - Test 4/95°C:5g/L jabón, 2 g/L soda ash, 30 minutos a 95°C, relación de baño: 50:1

- Solidez al cloro: propiedad de resistencia del colorante sobre la fibra frente a la acción del cloro con el siguiente ensayo: solución de hipoclorito de sodio con 20 mg/L activo de cloro, pH 8.5, 4 horas a temperatura ambiente. Relación de baño 100:1.

- Solidez a la sublimación: 30 segundos de contacto (calentado en una plancha de laboratorio por ambos lados, utilizando la misma presión) a 150°C, 180°C y 210°C.

La escala de solidez más generalmente utilizada, es la siguiente:

- Para solidez a la luz
 - 1 = Escasa
 - 3 = Regular
 - 5 = Buena
 - 7 = Muy buena
 - 8 = Excelente

- Para los demás caracteres de solidez:
 - 1 = Escasa
 - 2 = Regular
 - 3 = Buena
 - 4 = Muy Buena
 - 5 = Excelente

3.5.13. Análisis de aguas residuales

Se analizará el agua residual de ambos procesos de tinción de fibras, con el extracto colorante de Jaboncillo y con anilina, en el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC determinando pH, sólidos totales en suspensión, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO).

4. RESULTADOS

4.1. Rendimiento de extracción

Resultados de la evaluación del rendimiento de extracción.

Tabla VII. **Rendimiento de extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Peso del extracto colorante (g)
Fresca	Agua	1	1,58
		2	1,46
		3	1,53
		4	1,58
	Etanol	1	1,00
		2	0,98
		3	0,95
		4	0,97
	Metanol	1	1,16
		2	1,33
		3	1,18
		4	1,17
Deshidratada	Agua	1	5,76
		2	5,57
		3	5,75
		4	5,77
	Etanol	1	2,01
		2	2,15
		3	2,09
		4	2,07
	Metanol	1	4,10
		2	4,91
		3	4,31
		4	4,69

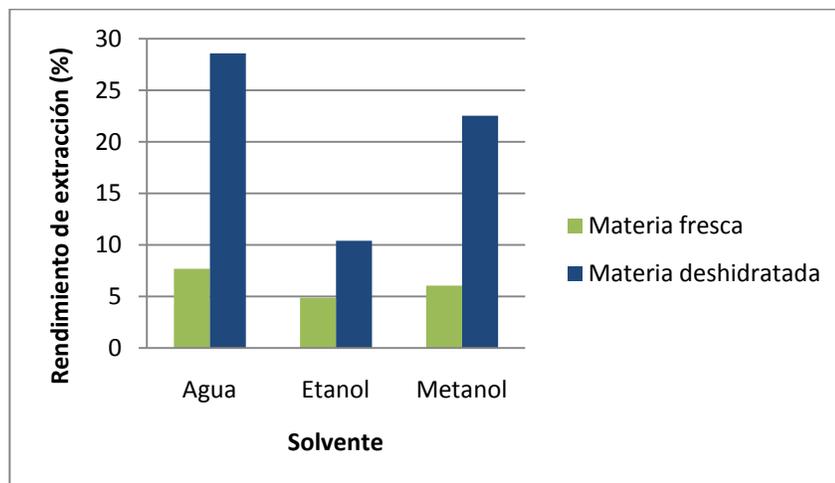
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Rendimiento porcentual promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Porcentaje de recuperación (%)
Fresca	Agua	7,69 ± 0,2800
Fresca	Etanol	4,88 ± 0,1017
Fresca	Metanol	6,04 ± 0,4093
Deshidratada	Agua	28,57 ± 0,4946
Deshidratada	Etanol	10,40 ± 0,2952
Deshidratada	Metanol	22,52 ± 1,8318

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Rendimiento porcentual promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Caracterización fisicoquímica

Resultados de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas del ensayo a escala laboratorio.

Tabla IX. **Promedio de densidad de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Densidad (g/mL)
Fresca	Agua	0,9854 ± 0,0031
Fresca	Etanol	0,8202 ± 0,0037
Fresca	Metanol	0,8191 ± 0,0050
Deshidratada	Agua	1,0058 ± 0,0039
Deshidratada	Etanol	0,8179 ± 0,0039
Deshidratada	Metanol	0,8104 ± 0,0016

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Promedio de sólidos totales de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Sólidos totales (g/mL)
Fresca	Agua	0,8033 ± 0,1038
Fresca	Etanol	0,4449 ± 0,0648
Fresca	Metanol	0,5608 ± 0,0589
Deshidratada	Agua	3,6038 ± 0,3082
Deshidratada	Etanol	1,4291 ± 0,0929
Deshidratada	Metanol	2,2974 ± 0,2647

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Promedio de pH de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	pH
Fresca	Agua	6,72 ± 0,1204
Fresca	Etanol	7,24 ± 0,0512
Fresca	Metanol	7,88 ± 0,0506
Deshidratada	Agua	7,01 ± 0,0918
Deshidratada	Etanol	6,67 ± 0,0656
Deshidratada	Metanol	7,20 ± 0,1819

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Promedio de índice de refracción de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Índice de refracción
Fresca	Agua	1,3363 ± 0,0012
Fresca	Etanol	1,3684 ± 0,0009
Fresca	Metanol	1,3394 ± 0,0005
Deshidratada	Agua	1,3385 ± 0,0014
Deshidratada	Etanol	1,3680 ± 0,0014
Deshidratada	Metanol	1,3396 ± 0,0006

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Color de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) con base en el *Pantone*® *Color Formula Guide* 1000 SICPA**

Estado de la materia	Solvente	Color
Fresca	Agua	Tabaco D4-12
	Etanol	Ladrillo F3-12
	Metanol	Granate B3-14
Deshidratada	Agua	Tabaco D4-12
	Etanol	Tamarindo E4-13
	Metanol	Tabaco D4-12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis cromatográfico en capa fina para la detección de quercetina, rutina, ácido clorogénico y cafeico, utilizados como soluciones flavonoides estándar, en fluorescencia UV 254 nm (zonas azules o amarillas) y UV 365 nm (zonas amarillas, azules o verdes)**

Estado de la materia	Solvente	Estándar			
		Ácido cafeico	Rutina	Ácido clorogénico	Quercetina
Fresca	Agua	-	+	-	+
	Etanol	-	+	-	+
	Metanol	-	-	-	+
Deshidratada	Agua	-	-	-	+
	Etanol	-	-	-	+
	Metanol	+	-	-	-
Positivo: (+), Negativo: (-)					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Ensayo macro para la detección cualitativa de taninos del tipo catecol o pirogalol en los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Estándar gelatina 1%	Cloruro férrico	Gelatina sal	Tipo de tanino
Fresca	Agua	+	+	+	Catecol
	Etanol	+	+	+	Catecol
	Metanol	+	+	+	Catecol
Deshidratada	Agua	+	+	+	Catecol
	Etanol	+	+	+	Catecol
	Metanol	+	+	+	Catecol
Positivo: (+), Negativo: (-)					

Fuente: elaboración propia.

4.3. Propiedades fisicoquímicas de solidez

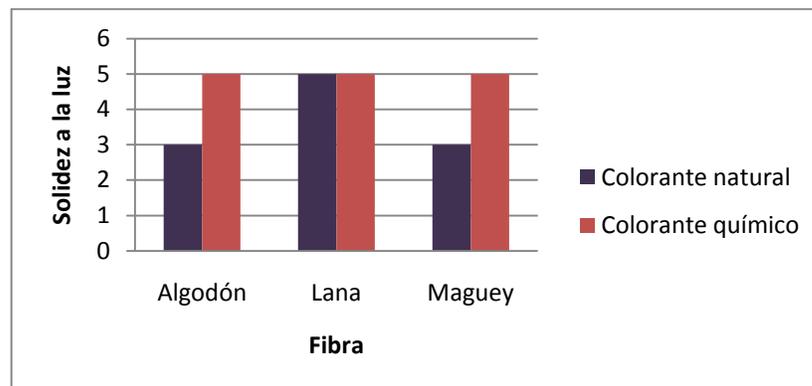
Resultados de la evaluación de las pruebas fisicoquímicas de solidez a fibras de lana, algodón y maguey teñidas con el extracto colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) obtenido a escala planta piloto, con base en el mejor rendimiento de la extracción a escala laboratorio, en comparación con las mismas fibras teñidas con anilina.

Tabla XVI. **Pruebas de solidez a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Colorante	Fibra	Solidez a la luz	solidez al lavado (40°C)	solidez al lavado (60°C)	Solidez al lavado (95°C)	Solidez al cloro	Solidez a la sublimación n 150°C	Solidez a la sublimación n 180°C	Solidez a la sublimación n 210°C
Natural	Algodón	3	4	4	3	1	5	5	5
Natural	Lana	5	5	4	4	4	5	5	5
Natural	Maguey	3	4	4	2	1	5	5	5
Químico	Algodón	5	3	3	2	2	5	5	5
Químico	Lana	5	3	2	2	4	5	5	5
Químico	Maguey	5	5	4	4	2	5	5	5

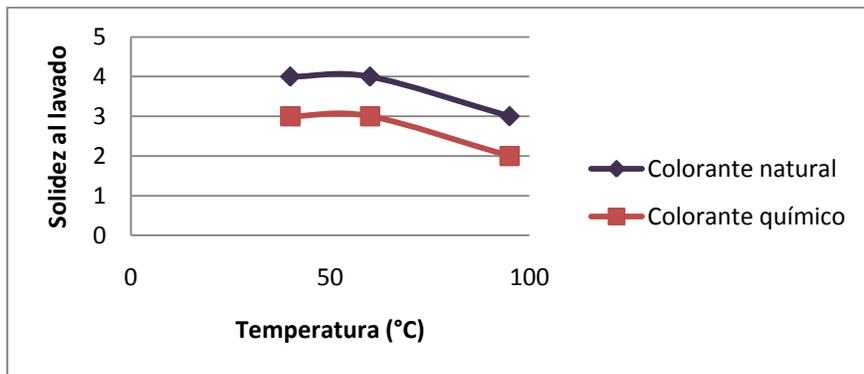
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Prueba de solidez a la luz, a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**



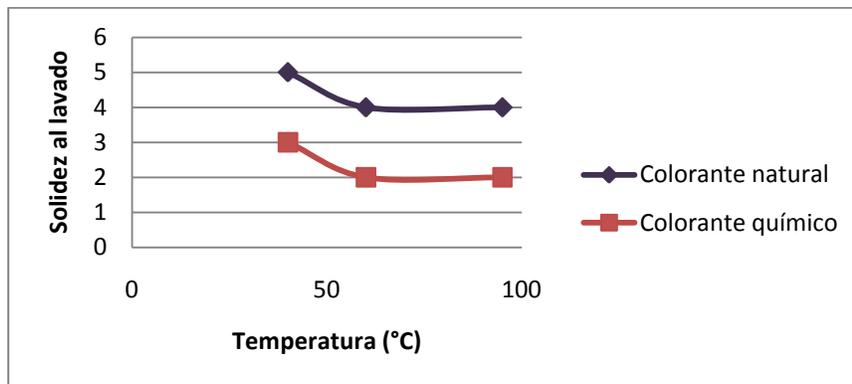
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de algodón teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)



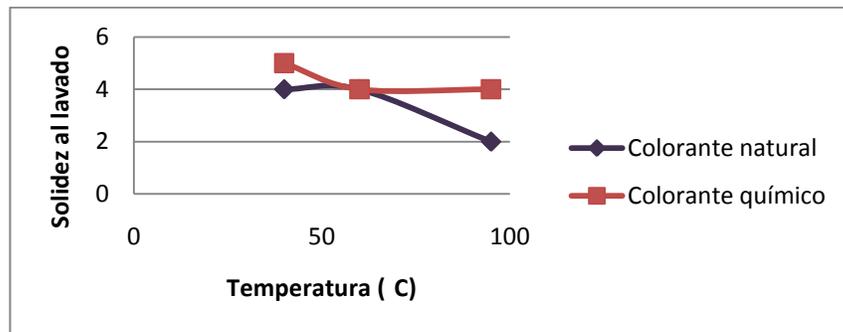
Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de lana teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)



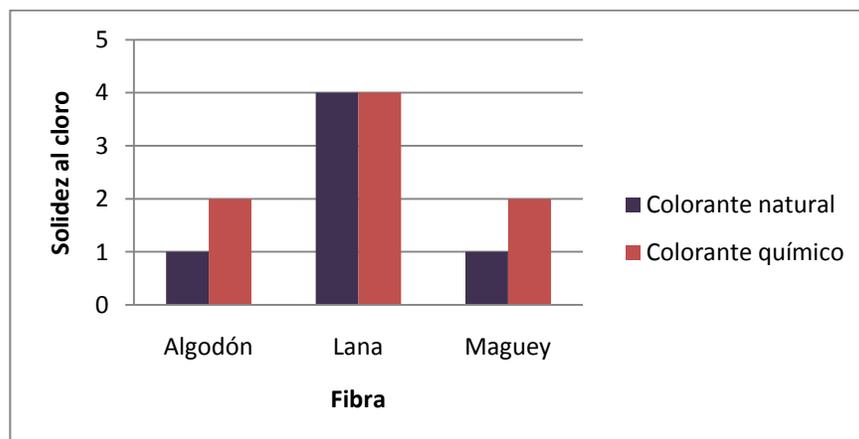
Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Prueba de solidez al lavado a temperatura de 40, 60 y 95°C, a la fibra natural de maguey, teñida con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)



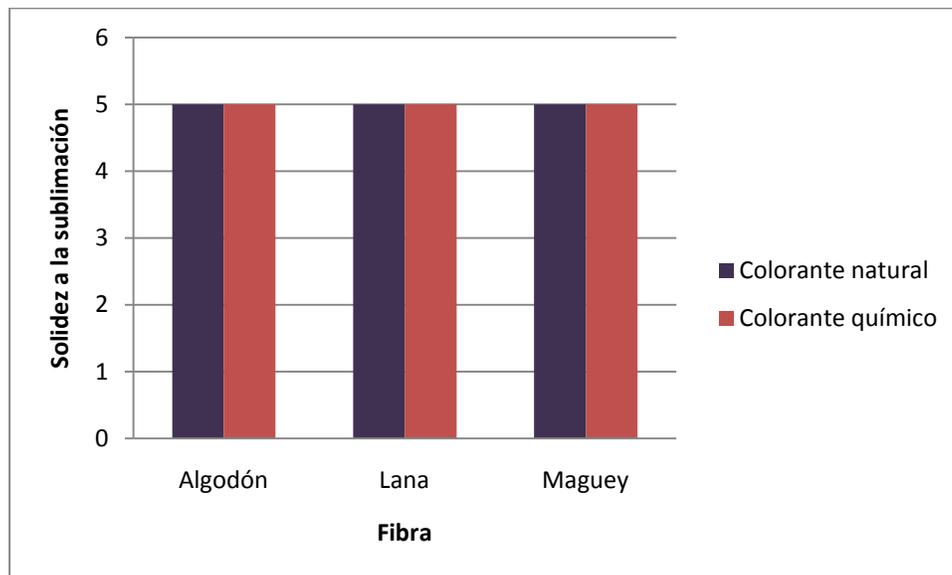
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Prueba de solidez al cloro a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Prueba de solidez a la sublimación a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**



Fuente: elaboración propia.

4.4. Análisis de aguas residuales

Resultados del análisis del agua residual de los procesos de tinción de fibras con el extracto colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) y con anilina, mediante métodos analíticos para aguas residuales.

Tabla XVII. **Análisis de aguas residuales del agua proveniente del proceso de tinción de fibras naturales de algodón, lana y maguey, con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Colorante	Solvente	DBO	DQO	Sólidos totales (mg/L)	pH
Natural	Algodón	5080,00	34850,00	144,32	7,26
	Lana	2708,00	11500,00	124,85	6,76
	Maguey	1920,00	14000,00	159,45	6,62
Químico	Algodón	0,00	520,00	238,43	12,64
	Lana	0,00	4640,00	179,14	12,51
	Maguey	0,00	19000,00	187,24	12,60

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Rendimiento de extracción

Se determina la existencia de diferencia significativa en el rendimiento de extracción debido al estado de la materia prima y tipo de disolvente, por tanto se rechaza la hipótesis nula.

En la figura 2 sobre la interacción del estado de la materia prima y el solvente utilizado en los resultados de porcentaje de extracción, se observa que los datos de materia prima deshidratada presentan resultados representativamente mayores a los que se obtienen utilizando materia prima fresca. En ambos casos el porcentaje de extracción medio es mayor, utilizando como solvente agua; según la tabla VIII se observa un 28,56% para materia deshidratada y un 7,69% para materia fresca. En tanto que para el metanol se observa un 22,52% para materia deshidratada y 6,04% para materia fresca; mientras que para etanol se obtuvo un 10,40% y 4,88%, respectivamente.

Debido al poder extractivo presentado por el agua para este experimento, se define como el indicado para la finalidad deseada. Por otro lado, la materia prima deshidratada permitió una homogeneidad en el tamaño de partícula del material vegetal que fue difícil de igualar en el caso de la materia prima fresca, demostrando que cuanto menor sea el tamaño de las partículas, la eficiencia del proceso extractivo será mayor.

5.2. Propiedades fisicoquímicas

Simultáneamente los datos más altos de humedad son los bajos en cuanto a los sólidos totales, lo cual revela que en este caso el etanol extrae los constituyentes de interés en menor medida que el metanol y el agua.

El potencial de hidrógeno para los extractos está en el rango de 6 a 8. El extracto que se obtiene con agua y con la materia prima deshidratada presenta un pH de 7.01, indicando que la neutralidad del pH del solvente favorece la extracción puesto que es el extracto con mayor porcentaje de extracción.

Los datos medios de porcentaje de sólidos totales son análogos a los datos medios de porcentaje de recuperación, dado a que ambos se refieren a la cantidad de materia sólida que permanece en el extracto posterior a la evaporación del solvente.

A partir del catálogo *Pantone® Color Formula Guide 1000 SICPA* se determina el color de los extractos; en la tabla XIII se detalla el color leído para cada tratamiento. Los extractos obtenidos con materia prima fresca presentaron colores más tenues que los que se obtuvieron con materia prima deshidratada.

La presencia de catecol es visible para todas las muestras, independientemente del estado de la materia y el solvente utilizados para el experimento.

En el ensayo de flavonoides semimicro se confirma la presencia de estos para todas las muestras. El ensayo semimicro comprende una cromatografía en capa fina, ilustrada en la tabla XIV, para las muestras con materia prima fresca, utilizando agua y etanol se determina la presencia de rutina y quercetina. En las muestras utilizando materia fresca con metanol, materia deshidratada con agua y materia deshidratada con etanol se encuentra el flavonoide quercetina. El ácido cafeico se manifiesta presente únicamente en la muestra obtenida utilizando materia prima deshidratada con metanol. Todas las muestras presentan ausencia de ácido clorogénico.

5.3. Propiedades fisicoquímicas de solidez

Los datos medios de solidez a la luz no tienen variación significativa y los datos medios de solidez a la sublimación no tienen ninguna variación, por tanto, para estas dos propiedades de solidez se acepta la hipótesis nula.

Los resultados de solidez a la luz son catalogados como buenos para todas las fibras cuando se utiliza colorante químico y para lana, utilizando colorante natural; en tanto que para algodón y maguey, utilizando colorante natural es catalogado como regular. Los rayos del sol penetraron más en las fibras teñidas con colorante natural, exceptuando la lana, lo cual indica que el colorante químico y el natural aplicado en lana, funcionaron como un escudo de protección solar.

Los resultados medios de solidez al lavado para las temperaturas de 40°C y 60°C, presentan diferencias significativas en cuanto al colorante utilizado, por lo que para estos dos casos se rechaza la hipótesis nula.

Según los niveles críticos de F en la tabla XXX, la solidez al lavado a 95°C y la solidez al cloro no hay efecto significativo en cuanto al color utilizado por tanto se acepta la hipótesis nula.

Las figuras 4 a 6 muestran que la solidez al lavado es inversamente proporcional a la temperatura, ya que disminuye al aumentar la temperatura independientemente de la fibra y el colorante utilizado. Se observa así mismo que en las fibras de algodón y lana el colorante natural exhibe valores mayores de solidez al lavado que los valores obtenidos con colorante químico, contrariamente la fibra de maguey presenta mayor solidez al lavado utilizando colorante químico.

Para todas las pruebas de solidez la fibra de lana es la que presenta valores catalogados de muy buena a excelente, ya que al tener queratina y estar constituida por cadenas largas de unidades de α -aminoácidos forma enlaces entre la fibra y los taninos, lo cual le imparte resistencia al agua, calor y a la abrasión protegiendo el color conferido por la quercetina; por tanto se presenta como alternativa viable al colorante químico.

La figura 7 muestra que la solidez al cloro es muy buena, independientemente del colorante utilizado. Las fibras de algodón y maguey teñidas con colorante químico presentan una solidez catalogada como regular y es escasa para las fibras de algodón y maguey teñidas con colorante natural.

La solidez a la sublimación es excelente independientemente de la fibra, el colorante y la temperatura a la que se realice la prueba. Lo que indica que la exposición a las temperaturas en el experimento no degrada el material.

5.4. Análisis de agua residual

En la tabla XVII se observan valores excesivos de DBO y DQO para el agua proveniente del proceso de tinción con el extracto colorante de jaboncillo ocasionado por la fermentación que sufrió el extracto en el proceso de obtención a escala planta piloto; esto indica que el agua está muy cargada de compuestos orgánicos que demandan una gran cantidad de oxígeno para ser degradados.

CONCLUSIONES

1. Existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de extracción debido al estado de la materia y al solvente utilizado al realizar en el ensayo.
2. El mayor porcentaje de extracción del colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) se obtiene utilizando materia prima deshidratada y agua, como solvente en la extracción.
3. La presencia de taninos del tipo catecol es visible para todas las muestras, independientemente del estado de la materia y el solvente utilizado.
4. Se confirma la presencia de flavonoides para todas las muestras, siendo el flavonoide quercetina, el responsable de conferirle color a las fibras teñidas en el experimento.
5. El extracto colorante del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) aplicado en lana, presenta valores catalogados de muy buenos a excelentes en la escala de solidez, por lo que se presenta como una alternativa viable al uso de la anilina.

RECOMENDACIONES

1. Adicionar un preservante al extracto obtenido en planta piloto para evitar su descomposición.
2. Efectuar el análisis de aguas residuales inmediatamente después de la tinción de las fibras.
3. Realizar tinciones con un porcentaje de extracto colorante mayor al 20% en peso de fibra, para evaluar cambios en el poder de tinción.
4. Evaluar un tratamiento para las aguas residuales provenientes de la tinción con colorante natural, que incluya en primer lugar agregar un floculante cationico a una dosis de 300 ppm y luego un cuagulante a una dosis de 5 ppm, para disminuir los valores elevados de DQO y DBO, sin alterar el pH.

BIBLIOGRAFÍA

1. CALDERÓN, Eduardo. *Obtención del extracto colorante acuoso, a partir de los rechazos de exportación de la producción nacional de dos variedades de pitahaya, a nivel planta piloto*. Guatemala: FODECYT 13-99. 2001. 80 p.
2. GEANKOPLIS, Chirstine. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México, D.F.: CECSA, 1998. 1 024 p.
3. LAIDLER, Keith. *Fisicoquímica*. México: CECSA, 1997. 1 027 p. ISBN: 968 444 316 1.
4. LOCK, Olga. *Colorantes naturales*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo editorial, 1997. 279 p. ISBN: 9972-42-093-0.
5. MÁRQUEZ GONZÁLEZ, Ehosbel; GARCÍA, Yisser. *Colorantes naturales de origen vegetal*, Revista ciencia y tecnología. La Habana: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. 2007. 74 p.
6. MONTGOMERY, Douglas. *Control estadístico de la calidad*. 3a ed. México: Limusa Wiley, 2007. 686 p. ISBN-13: 978-968-18-6156-6.
7. MORENO, Luciano. *Teoría del color. Propiedades de los colores*. [en línea] <http://www.desarrolloweb.com/articulos/1503.php> [Consulta: febrero de 2010].

8. PERRY, Robert. *Manual del Ingeniero Químico*. 7a ed. España: McGraw Hill, 2001. 3 166 p.
9. SOBERANIS IBÁÑEZ, Adrián Antonio. *Evaluación de propiedades fisicoquímicas de la oleorresina de cardamomo (elletteria cardamomum, l. Matton) obtenida a nivel laboratorio, utilizando dos métodos de lixiviación a tres diferentes temperaturas*. Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 203 p.
10. SOLÍS, Pablo N. et al. *Manual de caracterización y análisis de drogas vegetales y productos fitoterapéuticos*. Guatemala: Proyecto OEA/AICD/AE-089/03. 2009. 136 p.
11. Textos científicos. *Cromatografía en capa fina*. [en línea] <<http://www.textoscientificos.com/quimica/cromatografia/capa-fina> > [Consulta: junio de 2009].
12. TREYBAL, Robert. *Operaciones de transferencia de masa*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 1988. 865 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Muestra de cálculo

1. Densidad

[Ecuación 1]

Donde:

= densidad (g/mL)

= masa total de extracto y picnómetro (g)

= masa del picnómetro (g)

= volumen de extracto (mL)

Para la primera corrida de densidad para materia fresca y solvente agua, por el método soxhlet:

Siguiendo el mismo procedimiento se calcularon los datos de las tablas XXX a XXV y de las tablas XXXVII y XXXVIII.

2. Sólidos extraíbles

[Ecuación 2]

Donde:

= Sólidos extraíbles (g/mL)

= Porcentaje de humedad (%)

=densidad (g/mL)

Para la primera corrida de materia fresca con el método de maceración dinámica utilizado agua como solvente:

Siguiendo el mismo procedimiento se calcularon los datos de las tablas

3. Porcentaje de recuperación

[Ecuación 3]

Donde:

= Porcentaje de recuperación (%)

= Peso del extracto (g)

= Peso del balón (g)

= masa de materia prima (g)

Para la primera corrida de materia fresca con el método de maceración dinámica utilizando agua como solvente:

Siguiendo el mismo procedimiento se calcularon los datos de las tablas

Apéndice 2. **Datos originales y calculados**

Apéndice 2a. **Monitoreo de sólidos totales para la determinación del tiempo de extracción de los extractos colorantes del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.), utilizando materia prima fresca mediante unidad Soxhlet**

Solvente	Tiempo (h)	Densidad (g/mL)	Sólidos totales (g/mL)
Agua	1	0,9970	0,9970
	2	0,9966	0,9966
	3	0,9956	0,9956
	4	0,9935	0,9935
	5	0,9928	0,9928
	6	0,9928	0,9928
	7	0,9928	0,9928
	8	0,9928	0,9928
Etanol	1	0,8813	0,8689
	2	0,8282	0,8242
	3	0,8261	0,8261
	4	0,8154	0,8154
	5	0,8154	0,8154
	6	0,8154	0,8154
	7	0,8154	0,8154
	8	0,8154	0,8154
Metanol	1	0,8815	0,8601
	2	0,8352	0,8280
	3	0,7986	0,7955
	4	0,7950	0,7950
	5	0,7950	0,7950
	6	0,7950	0,7950
	7	0,7950	0,7950
	8	0,7950	0,7950

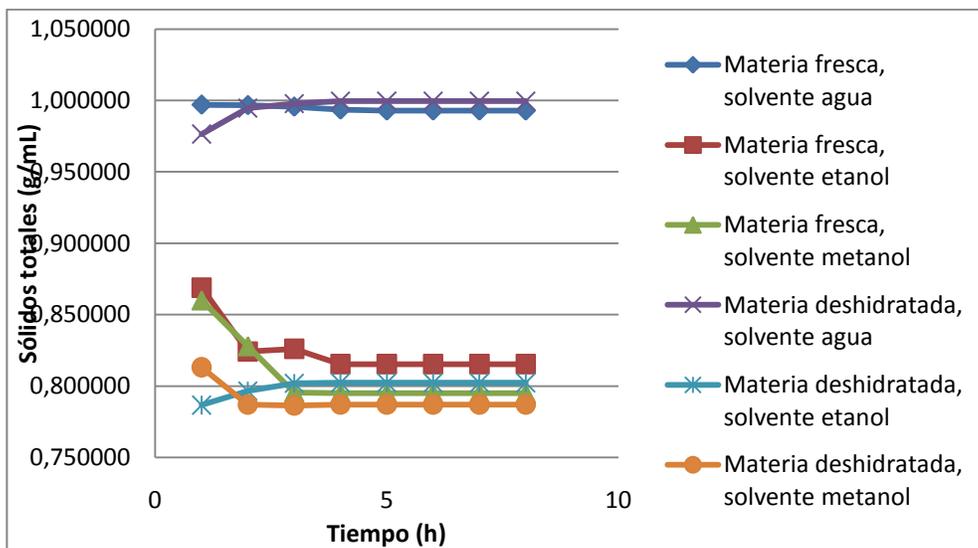
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2b. **Monitoreo de sólidos totales para la determinación del tiempo de extracción de los extractos colorantes del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) utilizando materia prima deshidratada mediante unidad Soxhlet**

Solvente	Tiempo (h)	Densidad (g/mL)	Solidos totales (g/mL)
Agua	1	1,0112	0,9765
	2	1,0036	0,9947
	3	1,0008	0,9978
	4	0,9996	0,9996
	5	0,9996	0,9996
	6	0,9996	0,9996
	7	0,9996	0,9996
	8	0,9996	0,9996
Etanol	1	0,8335	0,7867
	2	0,8049	0,7966
	3	0,8024	0,8019
	4	0,8023	0,8023
	5	0,8023	0,8023
	6	0,8023	0,8023
	7	0,8023	0,8023
	8	0,8023	0,8023
Metanol	1	0,8445	0,8132
	2	0,7932	0,7870
	3	0,7864	0,7864
	4	0,7871	0,7871
	5	0,7871	0,7871
	6	0,7871	0,7871
	7	0,7871	0,7871
	8	0,7871	0,7871

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2c. **Gráfica del monitoreo de sólidos totales para la determinación del tiempo de extracción de los extractos colorantes del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) a 100, 78 y 65°C**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2d. **Tiempo óptimo de extracción mediante unidad soxhlet.**

Estado de la materia	Solvente	Tiempo (h)
Fresca	Agua	5
	Etanol	4
	Metanol	3
Deshidratada	Agua	4
	Etanol	4
	Metanol	4

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2e. **Rendimiento de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Peso del extracto colorante (g)	Porcentaje de recuperación (%)	Promedio
Fresca	Agua	1	1,58	7,89	7,69
		2	1,46	7,31	
		3	1,53	7,65	
		4	1,58	7,92	
	Etanol	1	1,00	5,00	4,88
		2	0,98	4,91	
		3	0,95	4,75	
		4	0,97	4,86	
	Metanol	1	1,16	5,78	6,04
		2	1,33	6,65	
		3	1,18	5,89	
		4	1,17	5,85	
Deshidratada	Agua	1	5,76	28,82	28,57
		2	5,57	27,83	
		3	5,75	28,75	
		4	5,77	28,86	
	Etanol	1	2,01	10,04	10,40
		2	2,15	10,75	
		3	2,09	10,46	
		4	2,07	10,37	
	Metanol	1	4,10	20,49	22,52
		2	4,91	24,56	
		3	4,31	21,56	
		4	4,69	23,46	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2f. **Densidad de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Masa del picnómetro más extracto (g)	Densidad (g/mL)	Promedio
Fresca	Agua	1	4,3269	0,9863	0,9854
		2	4,3213	0,9811	
		3	4,3290	0,9883	
		4	4,3263	0,9858	
	Etanol	1	4,1517	0,8221	0,8202
		2	4,1462	0,8170	
		3	4,1541	0,8244	
		4	4,1465	0,8172	
	Metanol	1	4,1533	0,8236	0,8191
		2	4,1520	0,8224	
		3	4,1416	0,8127	
		4	4,1469	0,8176	
Deshidratada	Agua	1	4,3508	1,0087	1,0058
		2	4,3447	1,0030	
		3	4,3436	1,0020	
		4	4,3518	1,0097	
	Etanol	1	4,1533	0,8236	0,8179
		2	4,1465	0,8172	
		3	4,1455	0,8163	
		4	4,1437	0,8146	
	Metanol	1	4,1390	0,8102	0,8104
		2	4,1414	0,8125	
		3	4,1372	0,8085	
		4	4,1392	0,8104	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2g. **Humedad de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Humedad (%)	Promedio
Fresca	Agua	1	99,07	99,19
		2	99,31	
		3	99,14	
		4	99,22	
	Etanol	1	99,40	99,46
		2	99,54	
		3	99,51	
		4	99,38	
	Metanol	1	99,38	99,32
		2	99,38	
		3	99,26	
		4	99,24	
Deshidratada	Agua	1	95,97	96,42
		2	96,58	
		3	96,53	
		4	96,59	
	Etanol	1	98,39	98,25
		2	98,25	
		3	98,10	
		4	98,27	
	Metanol	1	97,62	97,17
		2	97,04	
		3	96,85	
		4	97,15	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2h. **Sólidos totales de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Sólidos totales (g/mL)	Promedio
Fresca	Agua	1	0,9173	0,8033
		2	0,6769	
		3	0,8499	
		4	0,7689	
	Etanol	1	0,4933	0,4449
		2	0,3758	
		3	0,4039	
		4	0,5067	
	Metanol	1	0,5106	0,5608
		2	0,5099	
		3	0,6014	
		4	0,6214	
Deshidratada	Agua	1	4,0651	3,6038
		2	3,4303	
		3	3,4768	
		4	3,4429	
	Etanol	1	1,3260	1,4291
		2	1,4302	
		3	1,5510	
		4	1,4093	
	Metanol	1	1,9283	2,2974
		2	2,4049	
		3	2,5469	
		4	2,3096	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2i. **pH de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	pH	Promedio
Fresca	Agua	1	6,72	6,72
		2	6,89	
		3	6,67	
		4	6,61	
	Etanol	1	7,19	7,24
		2	7,23	
		3	7,31	
		4	7,22	
	Metanol	1	7,94	7,88
		2	7,86	
		3	7,89	
		4	7,82	
Deshidratada	Agua	1	6,98	7,01
		2	7,09	
		3	6,89	
		4	7,07	
	Etanol	1	6,72	6,67
		2	6,69	
		3	6,57	
		4	6,68	
	Metanol	1	7,30	7,20
		2	7,07	
		3	7,02	
		4	7,40	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2j. **Índice de refracción de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Estado de la materia	Solvente	Corrida	Índice de refracción	Promedio
Fresca	Agua	1	1,3370	1,3363
		2	1,3352	
		3	1,3355	
		4	1,3376	
	Etanol	1	1,3675	1,3684
		2	1,3685	
		3	1,3680	
		4	1,3697	
	Metanol	1	1,3391	1,3394
		2	1,3400	
		3	1,3390	
		4	1,3395	
Deshidratada	Agua	1	1,3395	1,3385
		2	1,3395	
		3	1,3365	
		4	1,3385	
	Etanol	1	1,3675	1,3680
		2	1,3676	
		3	1,3700	
		4	1,3667	
	Metanol	1	1,3400	1,3396
		2	1,3401	
		3	1,3389	
		4	1,3395	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2k. **Pruebas de solidez a fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso extraído del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Colorante	Fibra	Corrida	Solidez a la luz	Solidez al lavado (40°C)	Solidez al lavado (60°C)	Solidez al lavado (95°C)	Solidez al cloro	Sublimación 150°C	Sublimación 180°C	Sublimación 210°C	
Natural	Algodón	1	3	4	3	4	1	5	5	5	
		2	3	4	4	3	1	5	5	5	
		3	3	4	4	3	1	5	5	5	
		4	3	4	3	3	1	5	5	5	
	Lana	1	5	5	4	4	4	4	5	5	5
		2	5	5	4	4	4	4	5	5	5
		3	5	4	4	4	4	4	5	5	5
		4	5	5	4	3	3	3	5	5	5
	Maguey	1	3	4	3	3	1	5	5	5	
		2	3	4	4	2	1	5	5	5	
		3	3	4	4	2	1	5	5	5	
		4	3	4	3	2	1	5	5	5	
Químico	Algodón	1	5	3	3	3	2	5	5	5	
		2	5	3	3	2	1	5	5	5	
		3	5	2	3	2	2	5	5	5	
		4	5	3	3	2	1	5	5	5	
	Lana	1	5	3	3	2	3	5	5	5	
		2	5	2	2	2	4	5	5	5	
		3	5	3	2	2	4	5	5	5	
		4	5	3	2	3	4	5	5	5	
	Maguey	1	5	5	3	3	2	5	5	5	
		2	5	5	4	4	1	5	5	5	
		3	5	4	4	4	1	5	5	5	
		4	5	5	4	4	2	5	5	5	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Análisis estadístico

Apéndice 3a. **Análisis de varianza del rendimiento de extracción y de sólidos totales de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Origen de variación	Sólidos totales		Porcentaje de recuperación	
	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos
Materia prima	561,101	0,000	1 824,143	0,000
Solvente	90,036	0,000	335,182	0,000
Materia prima*solvente	45,988	0,000	186,088	0,000
Error			0,871	0,478

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3b. **Análisis de varianza de la densidad, humedad, pH e índice de refracción de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos, obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Origen de variación	Densidad		Humedad		pH		Índice de refracción	
	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos
Materia prima	4,91	0,043	569,526	0,000	55,763	0,000	1,946	0,183
Solvente	6 894,70	0,000	51,084	0,000	95,719	0,000	1 863,078	0,000
Materia prima*solvente	37,61	0,000	28,227	0,000	49,984	0,000	2,971	0,082
Error								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3c. **Análisis de varianza de las pruebas de solidez al lavado a 40, 60 y 95°C y de solidez al cloro de las fibras naturales de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Origen de variación	Solidez al lavado (40°C)		Solidez al lavado (60°C)		Solidez al lavado (95°C)		Solidez al cloro	
	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos	F	Niveles críticos
Colorante	25,000	0,000	13,714	0,002	2,667	0,120	3,249	0,081
Fibra	12,250	0,000	2,786	0,088	0,667	0,526	85,714	0,000
Colorante*fibra	2,250	0,000	10,500	0,001	20,667	0,000	0,857	0,441
Error								
Total								

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3d. **Análisis DHS de Tukey para rendimiento de los extractos colorantes acuosos, etanónicos y metanólicos obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$		
		1	2	3
Etanol	8	7,6422		
Metanol	8		14,2802	
Agua	8			18,1290
Significancia		1,0000	1,0000	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3e. **Análisis DHS de Tukey para densidad de los extractos colorantes acuosos, etanónicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$	
		1	2
Metanol	8	0,8147	
Etanol	8	0,8191	
Agua	8		0,9956
Sig.		0,066	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3f. **Análisis DHS de Tukey para humedad de los extractos colorantes acuosos, etanónicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$		
		1	2	3
Agua	8	97,8013		
Metanol	8		98,2400	
Etanol	8			98,8550
Sig.		1,0000	1,0000	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3g. **Análisis DHS de Tukey para sólidos totales de los extractos colorantes acuosos, etanónicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$		
		1	2	3
Etanol	8	0,9370		
Metanol	8		1,4291	
Agua	8			2,2035
Sig.		1,0000	1,0000	1,0000

Fuente: elaboración propia

Apéndice 3h. **Análisis DHS de Tukey para pH de los extractos colorantes acuosos, etanónicos y metanólicos obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$	
		1	2
Agua	8	6,8650	
Etanol	8	6,9513	
Metanol	8		7,5375
Sig.		0,2640	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3i. **Análisis DHS de Tukey para índice de refracción de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos obtenidos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Solvente	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$		
		1	2	3
Agua	8	1,3374		
Metanol	8		1,3395	
Etanol	8			1,3682
Sig.		1,0000	1,0000	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3j. **Análisis DHS de Tukey para solidez al lavado a 40°C de fibras de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso obtenido del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Fibra	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$	
		1	2
Algodón	8	3,38	
Lana	8	3,75	
Maguey	8		4,38
Sig.		0,1860	1,0000

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3k. **Análisis DHS de Tukey para solidez al lavado a 60°C de fibras de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso obtenido del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Fibra	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$
		1
Lana	8	3,13
Algodón	8	3,25
Maguey	8	3,63
Sig.		0,087

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3l. **Análisis DHS de Tukey para solidez al lavado a 95°C de fibras de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso obtenido del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Fibra	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$
		1
Algodón	8	2,75
Lana	8	3,00
Maguey	8	3,00
Sig.		0,586

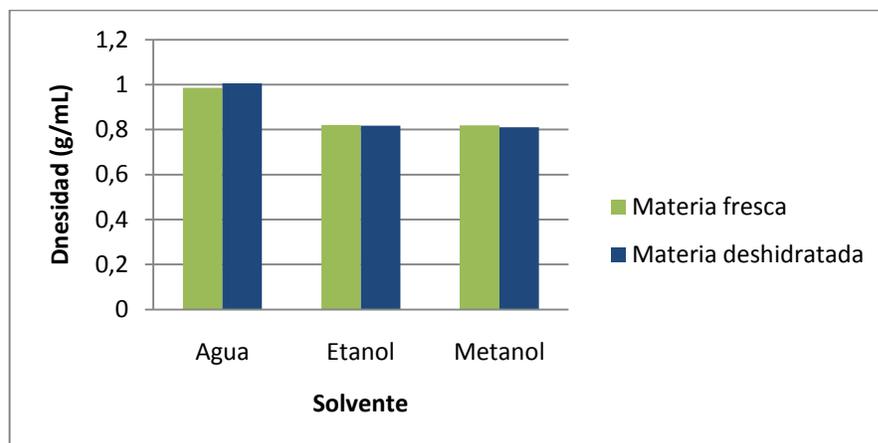
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3m. **Análisis DHS de Tukey para solidez al cloro de fibras de algodón, lana y maguey, teñidas con el extracto colorante acuoso obtenido del fruto de jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.)**

Fibra	N	Subconjunto para $\alpha=0,05$	
		1	2
Algodón	8	1,25	
Maguey	8	1,25	
Lana	8		3,75
Sig.		1,0000	1,0000

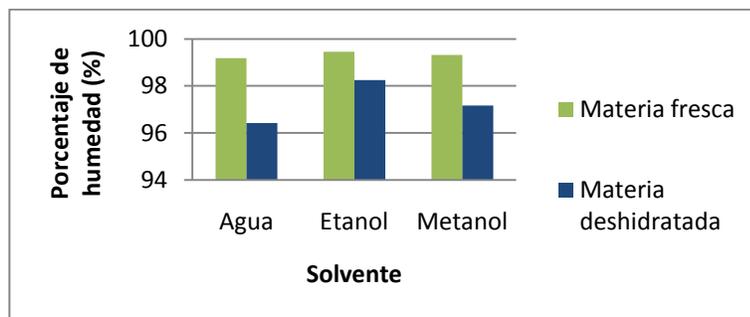
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3n. **Densidad promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



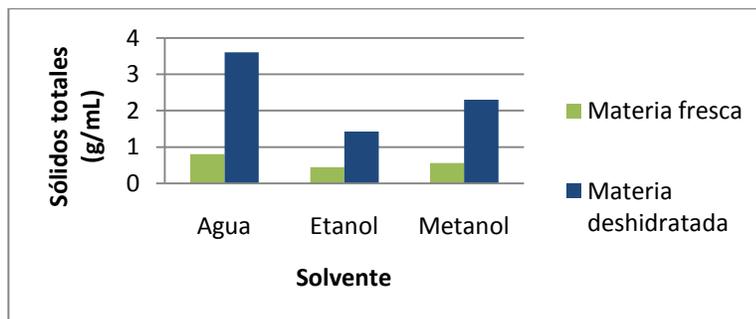
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3ñ. **Humedad promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



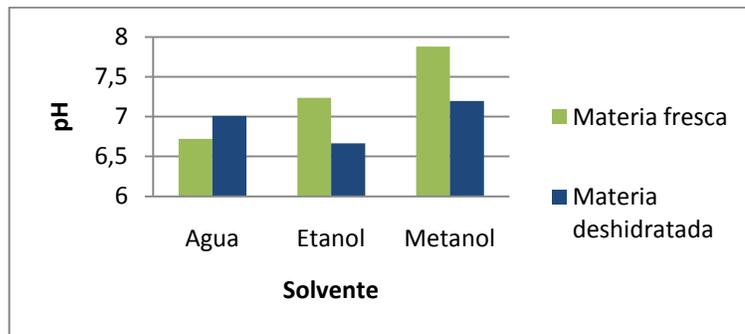
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3o. **Sólidos totales promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



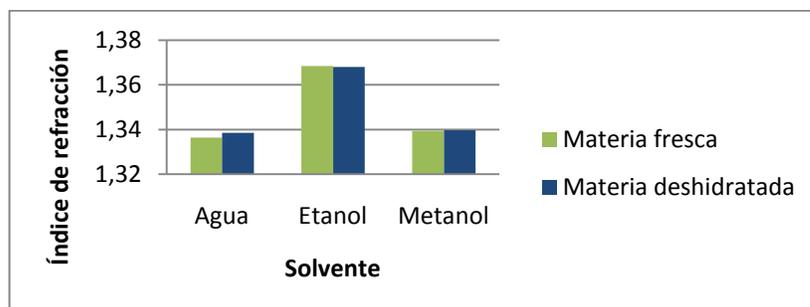
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3p. **pH promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3q. **Índice de refracción promedio de los extractos colorantes acuosos, etanólicos y metanólicos del jaboncillo (*Phytolacca icosandra* L.) en función del solvente, a temperatura de 20°C del material fresco y deshidratado**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Fotografías del procedimiento

Apéndice 4a. **Monitoreo con método *soxhlet* para la extracción del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.) utilizando materia prima fresca y deshidratada y como solvente agua, etanol y metanol**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4b. **Extracción por maceración dinámica de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4c. **Filtrado de los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



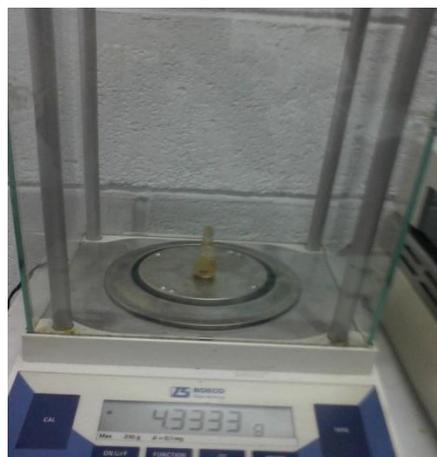
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4d. **Rotavaporación de los extractos acuosos etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4e. **Determinación de Densidad de los extractos acuosos etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4f. **Determinación de Humedad de los extractos acuosos etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4g. **Determinación de pH de los extractos acuosos etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4h. **Determinación de Índice de refracción de los extractos acuosos etanólicos y metanólicos del fruto de jaboncillo (*Phytolacca isocandra* L.)**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4i. **Secado de materia prima**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4j. **Proceso de molienda**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4k. **Proceso de extracción (maceración dinámica en caliente) a escala planta piloto**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4l. **Proceso de filtración a escala planta piloto**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4m. **Proceso de concentración del extracto**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4n. **Secado del extracto colorante**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4ñ. **Mordentado de las fibras**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4o. **Teñido de fibras**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4p. **Pruebas de solidez**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4q.

Pruebas de solidez



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

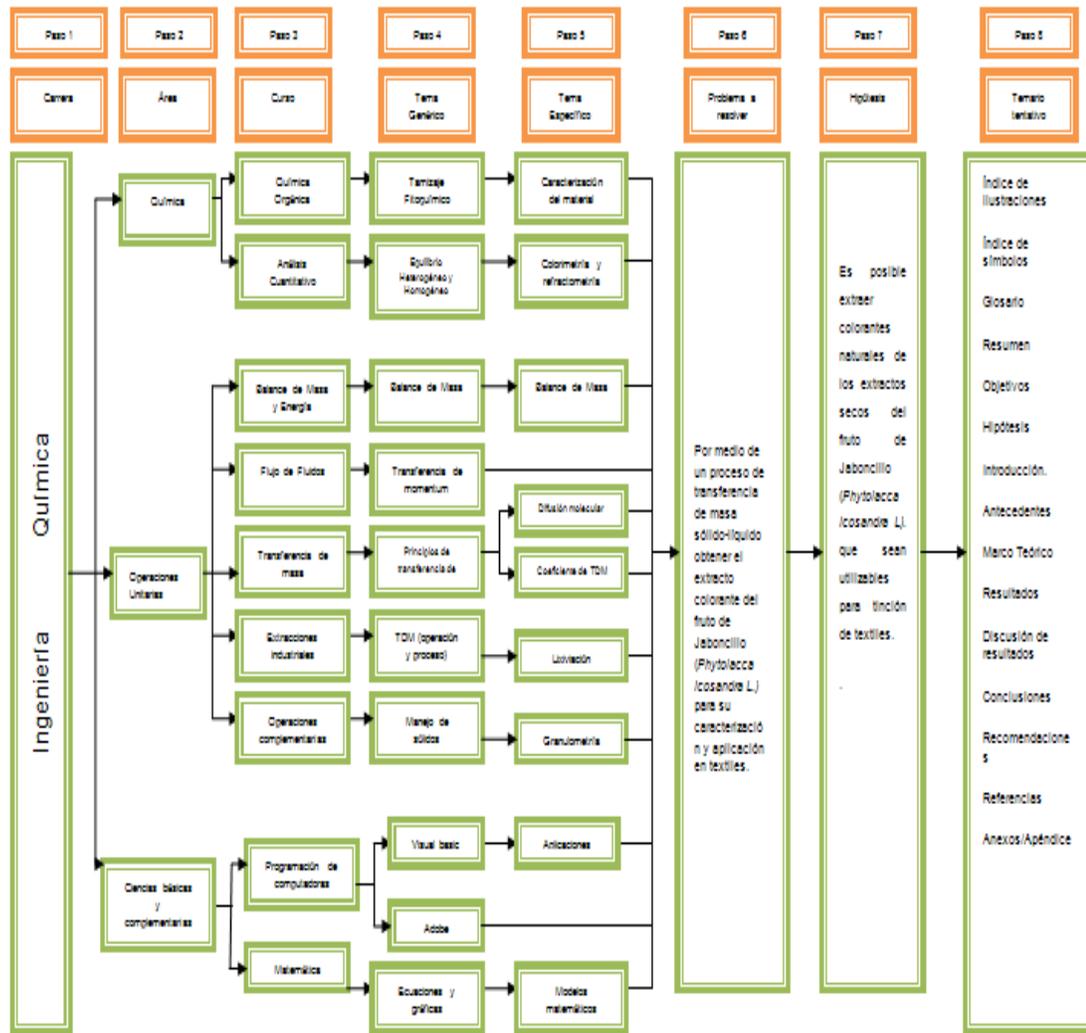
Apéndice 4r.

Pruebas de solidez



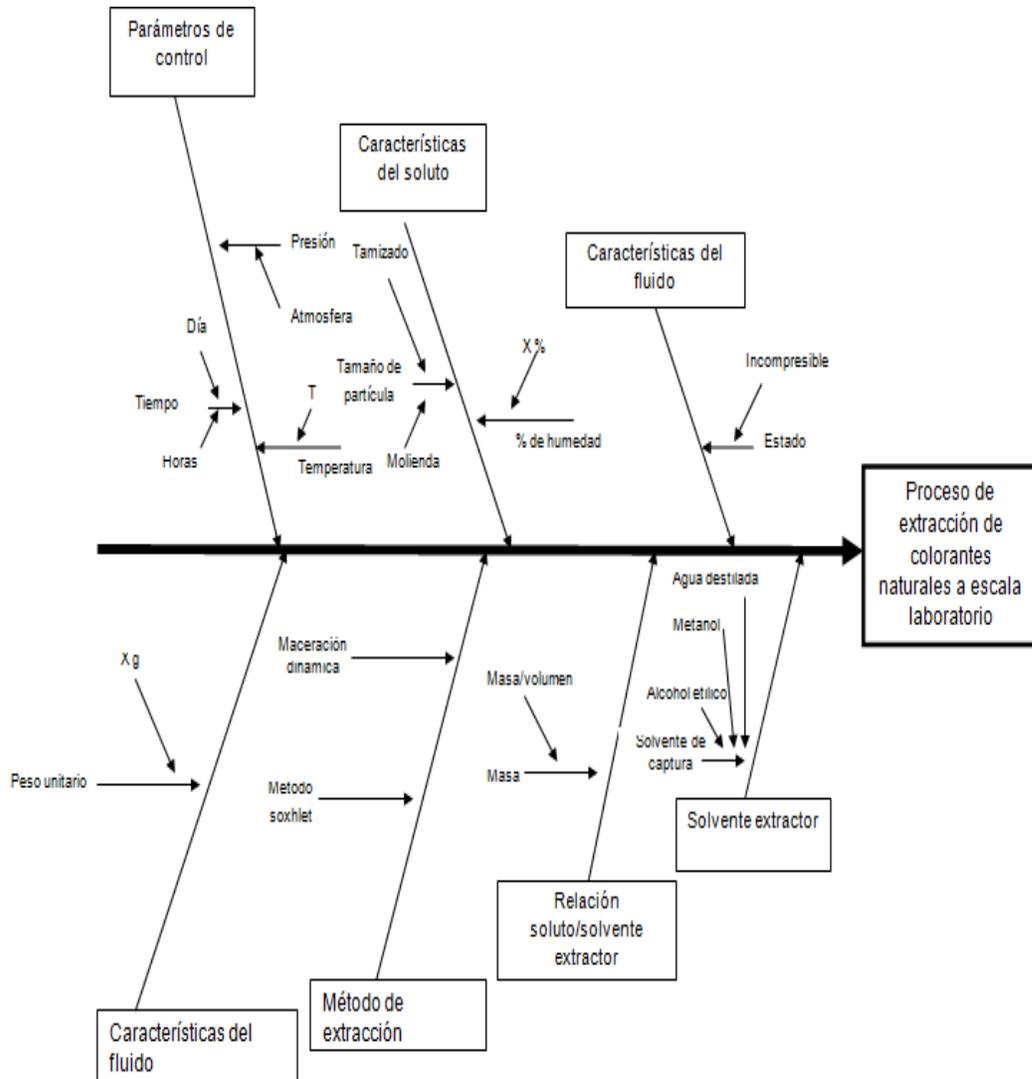
Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 5. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.