



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Colorantes naturales de plantas nativas de México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A :

FERNANDA CABRERA JIMÉNEZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. MARIANA PALMA TENANGO

CDMX, 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

En primer lugar, les agradezco profundamente a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos, ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte emocional y económico para poder concentrarme en los estudios. A mi papá, gracias por conducir 3 horas fuera de la Ciudad de México para llevarme a realizar la parte experimental de mi tesis, y a ti mamá, gracias por siempre tener las palabras y consejos que me han hecho crecer en la persona que soy ahora. Hoy, cuando concluyo mis estudios les dedico a ustedes este logro, como una meta más conquistada.

A mis hermanas Raque y Andy, por siempre ser un apoyo para mí, han sido mi ejemplo y guía en todo momento. Gracias por estar presente en cada paso de mi vida y por ser mi apoyo incondicional en este proceso de elaboración de mi tesis, por estar ahí para corregir mis errores ortográficos, darme palabras de apoyo cuando ya no sabía qué escribir, por su paciencia, amor y comprensión en este largo camino.

Agradezco a mi tutora la Dra. Mariana Palma Tenango. Sin usted, su paciencia y constancia este trabajo no sería posible. Sus consejos fueron siempre útiles para escribir lo que hoy he logrado, sobre todo cuando se me agotaban las ideas para seguir escribiendo. Usted formó parte importante en mi crecimiento como investigadora con sus aportes profesionales que la caracterizan; muchas gracias por sus múltiples palabras, correos y horas que invirtió cuando más las necesite; por estar siempre ahí cuando mis horas de trabajo se hacían confusas y por no dejarme en el proceso. Gracias también por su guía y sus consejos, los llevaré grabados y los aplicaré en mi futuro profesional.

A mis amigos y compañeros de viaje en esta carrera, Karla, César y Daniel, hoy culmina esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes, comidas en la cafetería, prácticas de campo y horas de trabajo hasta la madrugada compartimos a lo largo de nuestra formación. Hoy que cierra este maravilloso capítulo en nuestra vida no puedo dejar de agradecerles por todo su apoyo, amistad y constancia, porque a pesar de la distancia,

conflictos y una pandemia han estado en los momentos más difíciles. Gracias por siempre estar ahí para mí.

Gracias también a todos mis profesores que han sido parte de mi camino universitario, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para poder estar aquí hoy. Agradezco especialmente a mis sinodales, quienes fueron parte de mi crecimiento académico de manera cercana. A la Dra. Eva Aguirre Hernández, quien me guió por todo mi taller y en la elección que culminaría siendo mi tema de tesis y quien sería mi tutora principal. Al Maestro en Ciencias Rubén San Miguel Chávez; sin él parte importante de esta tesis no se habría podido llevar a cabo, ya que me guió a través de una pandemia y todos los protocolos que conllevó a realizar la parte experimental de esta tesis; muchas gracias por estar dispuesto a compartirme sus conocimientos y espacio de trabajo, por su dedicación y tiempo invertido para que yo adquiriera el entusiasmo y amor por la investigación. De igual forma, le quiero agradecer al Dr. Marcos Soto Hernández que me brindó las facilidades para que desarrollara la investigación experimental en el laboratorio de Fitoquímica del Colegio de Postgraduados. Al Maestro en Ciencias Ramiro Cruz Durán, por acercarme al mundo de las plantas en mi tercer semestre de carrera, gracias a usted ésta se convirtió en mi área de especialización. Gracias por aceptar ser mi sinodal y por todas las horas invertidas en la revisión y corrección de esta tesis. Y a la Maestra en Ciencias Lucia Yoscelina Centeno Betanzos, porque sin saber nada de mi antes de esta etapa, aceptó convertirse en mi sinodal, de igual forma, gracias por el tiempo invertido en la revisión de mi tesis, sus comentarios y correcciones fueron parte importante para enriquecer esta investigación. Gracias a todos por transmitirme sus sabias palabras, por su paciencia y por siempre transmitir con tanto amor y dedicación sus conocimientos.

Índice

COLORANTES NATURALES DE PLANTAS NATIVAS DE MÉXICO.....	5
RESUMEN	7
PRÓLOGO	7
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	8
1.1 <i>Referencias generales</i>	7
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	10
OBJETIVOS.....	10
OBJETIVOS GENERALES	10
OBJETIVOS PARTICULARES	10
II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 SITUACIÓN MUNDIAL DE LAS PLANTAS TINTÓREAS	11
2.2 PANORAMA EN MÉXICO DE LAS PLANTAS TINTÓREAS	12
2.3 LOS COLORANTES NATURALES	16
<i>Uso tradicional de los colorantes naturales en México</i>	16
<i>Estado actual de los colorantes naturales</i>	17
2.4 TINTES NATURALES EN LA COSMÉTICA	18
<i>Cosmética prehispánica en México</i>	18
2.5 APLICACIÓN DE LOS COLORANTES NATURALES.....	19
<i>Industria textil</i>	19
<i>Industria alimenticia</i>	19
<i>Industria farmacéutica y cosmética</i>	20
2.6 IMPORTANCIA DE LOS COLORANTES EN PRODUCTOS COSMÉTICOS.....	21
2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS COLORANTES NATURALES	21
<i>Clasificación según su color</i>	21
<i>Clasificación basada en su constitución química</i>	22
<i>Clasificación basada en la aplicación del colorante</i>	22
<i>Clasificación según su origen</i>	22
2.8 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	24
<i>Tipos de mordientes</i>	25
2.9 PROBLEMÁTICA EN EL USO DE COLORANTES NATURALES	26
2.10 CÓMO SE PUEDE SOLUCIONAR Y VENTAJAS DEL USO	28
III. COLORANTES NATURALES DE PLANTAS NATIVAS DE MÉXICO: UNA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO HOLÍSTICO.....	29
RESUMEN	29
3.1 INTRODUCCIÓN.....	29
3.2 ENFOQUE HOLÍSTICO DE LAS PLANTAS TINTÓREAS NATIVAS DE MÉXICO	30
3.3 PLANTAS NATIVAS DE MÉXICO CON FINES TINTÓREOS	31
3.3.1 <i>Biodiversidad</i>	33
3.3.2 <i>Perspectiva etnobotánica en México</i>	43
3.3.3 <i>Usos etnobotánicos</i>	43
3.3.4 <i>Importancia del conocimiento empírico de las comunidades indígenas</i>	57
3.4. COLORANTES NATURALES DE PLANTAS NATIVAS DE MÉXICO	57
3.4.1 <i>Clasificación basada en su composición química</i>	58
3.4.2 <i>Clasificación según su origen</i>	59
3.4.3 <i>Colores y tonalidades de plantas nativas mexicanas</i>	59
3.5 POTENCIAL DE PLANTAS TINTÓREAS Y COLORANTES NATURALES	61

3.6 REFERENCIAS	63
IV. EVALUACIÓN DE LOS PIGMENTOS EXTRAÍDOS DE LAS SEMILLAS DE <i>Bixa orellana</i> Y <i>Persea americana</i> EN EL TEÑIDO TEXTIL.	71
RESUMEN	71
INTRODUCCIÓN	71
OBJETIVOS	72
<i>Objetivo general</i>	72
<i>Objetivos particulares</i>	72
MATERIALES Y MÉTODOS	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	90
V. CONCLUSIONES GENERALES	88
VI. PERSPECTIVAS FINALES	89

Índice de figuras

- Figura 1.** Mural de Bonampak perteneciente al sitio arqueológico de Chiapas, México p. 8
- Figura 2.** Productos artesanales elaborados con fibra de palma de jipijapa p.9
- Figura 3.** Ropa tradicional mexicana teñida con el extracto de Palo de Campeche (*Haematoxylum campechianum*) p.10
- Figura 4.** Urna funeraria de las Altas tierras mayas, algunos colores fueron obtenidos de plantas, arcillas y minerales p.12
- Figura 5.** Metabolitos secundarios con compuestos tintóreos p.17
- Figura 6.** Principales órganos de los que se pueden extraer colorantes naturales p.18
- Figura 7.** Grana cochinilla (*Dactylopius coccus*) p.19
- Figura 8.** Enfoque holístico para la investigación de colorantes naturales a partir de plantas nativas mexicanas p.28
- Figura 9.** Diversidad de plantas tintóreas nativas de México por estado p.30
- Figura 10.** Metabolitos secundarios con compuestos tintóreos de plantas mexicanas p.56
- Figura 11.** Paleta de color y órganos de plantas de los que se pueden extraer colorantes naturales p.57
- Figura 12.** Proceso de extracción de pigmentos naturales y teñido de fibras de origen vegetal p.77
- Figura 13.** Extractos con pigmentos p.79
- Figura 14.** Tonalidades obtenidas en los pigmentos al modificar con respecto a su pH p.81
- Figura 15.** Telas teñidas con colorantes naturales en la primera repetición experimental p.82
- Figura 16.** Telas de algodón teñidas con los pigmentos obtenidos de la raíz de cúrcuma, semilla de achiote y aguacate p.83
- Figura 17.** Estambre de algodón teñido con los colorantes naturales extraídos de la raíz de cúrcuma, semilla de achiote y semilla de aguacate p.84
- Figura 15.** Paleta cromática y valores de RGB obtenidos de pigmentos naturales después de la tinción de fibras naturales p.85
- Figura 16.** Absorbancias obtenidas de *Bixa orellana*, *Persea americana* y *Curcuma longa* p.86
- Figura 17.** Valores de RGB de los colores obtenidos en el teñido p.90

Índice de cuadros

- Tabla 1.** Métodos de extracción de algunos colorantes registrados p.20
- Tabla 2.** Número de especies de plantas tintóreas por familia p.29
- Tabla 3.** Plantas nativas de México con valor tintóreo p. 31-38
- Tabla 4.** Plantas mexicanas con valor tintóreo, otros usos y fitoquímica p.42-53
- Tabla 5.** Tratamientos empleados para el cambio de pH para cada especie y colorante p.78
- Tabla 6.** Valores hexadecimales RGB de plantas tintóreas mexicanas p.88-89

Resumen

Los colorantes naturales extraídos de plantas tienen una larga historia de uso desde las civilizaciones prehispánicas. Su uso ha disminuido derivado de la producción de los colorantes sintéticos, su forma de obtención, costo y escasa información con respecto a colores y tonalidades obtenidas. Se necesitan estudios desde una visión sistémica que ayude a documentar diversos elementos que se relacionan en su entorno, como es la etnobotánica de las plantas tintóreas nativas de México, para su conservación y difusión. De manera que la información y la práctica de actividades tradicionales se difundan, y pueda favorecer su extracción y uso de los pigmentos obtenidos de diversas especies de plantas. En esta investigación se realizó una revisión bibliográfica sobre las plantas nativas de México con valor tintóreo, para conocer su uso, pigmentos extraídos, tonalidades y su distribución geográfica en el país. Se desarrolló un sistema para el estudio holístico que permitió analizar diferentes aspectos que se relacionan en torno a las plantas tintóreas y sus pigmentos naturales, tales como su importancia, usos y aspectos etnobotánicos. El potencial de plantas con fines tintóreos en México es amplio. Se identificaron al menos 35 materiales colorantes naturales disponibles a lo largo de México, donde se utilizan diversos órganos de las plantas para su extracción, como flores, cortezas, tallos, raíces y frutos para obtener una variedad de colores y tonalidades. Esta investigación incluyó una fase experimental donde se obtuvieron los pigmentos de las semillas de aguacate (*Persea americana* Mill.) y achiote (*Bixa orellana* L.), con un rendimiento de 15% de pigmento obtenido con respecto a la biomasa. Se logró una extracción adecuada de pigmentos que permitió la tinción de fibras de algodón. Por medio de cambios en el pH de los pigmentos se logró la variación en las tonalidades de la tinción. Mediante el análisis de color se obtuvo una paleta de color con valores de RGB (Por su siglas en inglés de rojo, verde y azul Red, Green, Blue).

Palabras clave: colorantes naturales, pigmentos, plantas nativas, México, textiles.

Prólogo

El presente trabajo, titulado *Colorantes naturales de plantas nativas de México* se desarrolló en los años 2021 y 2022. Debido a las condiciones derivadas por la pandemia causada por COVID-19, se planteó una investigación documental y bibliográfica.

Posterior surgió la oportunidad de colaborar con investigadores del laboratorio del Colegio de Postgraduados, y se pudo plantear una actividad experimental, debido a que se tuvo acceso al laboratorio de Fitoquímica de dicha institución.

Por tal motivo el documento de la tesis incluye dos tipos de investigaciones, una documental y otra experimental. Se plasmaron de forma independiente debido a los objetivos particulares de cada una. Los apartados de este documento son:

- Introducción general y marco teórico, en donde se engloba temas de importancia tales como la situación mundial de las plantas tintóreas, el panorama en México, el uso

tradicional de los colorantes naturales, la aplicación actual en las diferentes industrias, la importancia de sus uso, su clasificación y algunos métodos de extracción.

- El apartado que incluye la investigación documental bajo el título *Colorantes naturales de plantas nativas de México: una aproximación al estudio holístico*, en el cual se realizó un análisis de las plantas nativas del país con valor tintóreo y un sistema para su estudio holístico con la finalidad de contribuir al conocimiento, conservación y aprovechamiento de la flora nativa. Se plasmaron 35 especies vegetales nativas de México de las cuales se extraen una variedad de colorantes y tonalidades, y las cuales se emplean en teñido textil, entre otros usos.
- El apartado que incluye la fase experimental, con el título *Evaluación de los pigmentos extraídos de las semillas de Bixa orellana L. y Persea americana Mill. en el teñido textil*, donde se realizó la extracción del pigmento de dichas semillas para evaluar su rendimiento como colorante natural en el teñido textil. De igual forma, se evaluó su comportamiento con respecto al cambio de pH para poder analizar el rendimiento y pigmentación en el teñido de fibras naturales.
- Conclusiones generales y perspectivas a futuro.

I.Introducción general

Los pigmentos extraídos de plantas han sido utilizados por diferentes civilizaciones alrededor del mundo para el teñido de ropa, el uso en alimentos, para decorar, entre otros. Sus características que les confieren ser amigables con el ambiente, además de ser resistentes al lavado y la decoloración los hacen atractivas para su uso en diferentes actividades. Además, algunos tintes naturales son reconocidos adicionalmente por sus posibles beneficios para la salud debido a la presencia de diferentes metabolitos secundarios (Liu et al., 2014).

El uso de estos pigmentos ha disminuido a pequeños grupos en comunidades indígenas, artesanos locales y diseñadores, quienes los utilizan principalmente para teñir productos alimenticios, prendas de vestir, así como para otros usos culturales (Gulrajini, 2001). Los datos de (Liu et al., 2014), sobre colorantes naturales a partir de plantas, revelan que se han presentado 88 patentes para pigmentos naturales de plantas y que las comunidades indígenas de todo el mundo utilizan estos recursos por sus características colorantes, la mayoría de estos recursos a costos muy elevados. Los estudios publicados son escasos en cuanto al potencial de las plantas tintóreas. El uso de colorantes naturales está recibiendo mayor atención por parte de investigadores y fabricantes, interesados en conocer métodos alternativos al uso de colorantes artificiales para el campo del teñido textil y, en colorantes para alimentos y cosméticos (Chan-Bacab et al., 2014); llevando a cabo procesos de extracción para conocer el rendimiento, evaluaciones colorimétricas, propiedades antimicrobianas y así determinar los principales constituyentes químicos de los extractos naturales de los pigmentos para conocer su actividad biológica (Cervantes-Sánchez et al., 2017; Devia y Saldarriaga, 2005; Raddatz-Mota, D., León-sánchez et al., 2016).

La investigación etnobotánica es necesaria para compilar una base de datos con respecto a las plantas tintóreas, así como para registrar los conocimientos asociados y las prácticas culturales para la preservación de estos recursos. En este sentido, México tiene potencial de aprovechamiento de pigmentos naturales extraídos de especies nativas, varias de estas especies se utilizan para el teñido textil aportando un valor importante en diferentes comunidades. El conocimiento empírico sobre procesos de extracción y tinción ha sido divulgado; pero la información con respecto a la reproducibilidad de los procesos es escasa, limitando su aprovechamiento por cualquier persona interesada en el rescate y uso de estos recursos fitogenéticos. La disminución del uso de estos recursos se asocia a la dificultad de su obtención y, a la pérdida de información transmitida por generaciones entre los grupos indígenas.

Esta investigación tiene como objetivo documentar las plantas tintóreas nativas de México y el conocimiento tradicional asociado hacia la conservación cultural y ecológica, de manera que se pueda contribuir a la difusión del conocimiento de la extracción y uso de colorantes naturales.

Para la elaboración de esta tesis se realizó la extracción de los pigmentos a partir de la semilla de achiote y aguacate, plantas de valor comercial nativas de México, con la finalidad de probar su respuesta en el teñido de fibras de origen vegetal y, con respecto a los cambios de pH.

Justificación

El uso de colorantes naturales ha formado parte de la herencia cultural de muchos pueblos por años alrededor del mundo (Franco-Maass et al., 2019). Usados no solo para el teñido de textiles, sino también para la pigmentación de platillos culinarios y como cosméticos (Shahid et al., 2013). En la actualidad el uso intensificado de los colorantes sintéticos, como lo han hecho diferentes industrias ha tenido efectos perjudiciales tanto para el medio ambiente, como para la salud de las personas (Shahid et al., 2013). El uso de pigmentos naturales ha causado interés debido a que son amigables con el ambiente, no son tóxicos y son biodegradables (Adeel et al., 2018), también porque adicional a su capacidad tintórea, contienen sustancias con actividad antioxidante, antibacterial, protección UV, etc. México cuenta con una riqueza de plantas con potencial para obtener pigmentos naturales. A pesar de esto, existen diversos factores que limitan su aprovechamiento, entre ellos la escasa información acerca de las fuentes vegetales nativas y endémicas del país con valor tintóreo, varias de estas especies son poco reconocidas, al igual que los colores y la diversidad de tonalidades que se pueden obtener, los órganos vegetales que se utilizan para su extracción, los métodos más eficaces y los materiales aptos para su tinción, rendimiento de pigmento obtenido entre varios otros. Algunas plantas nativas o endémicas de México han sido utilizadas desde tiempos prehispánicos por diversas culturas para la extracción de sus pigmentos, transmitiendo el conocimiento entorno a ellas de generación en generación, como los procesos de obtención de los pigmentos vegetales y la gama de colores que se obtienen. Estas actividades se conservan principalmente por grupos indígenas como parte de sus costumbres y tradiciones tienen diferentes métodos, diseños y colores favoritos. Con la disminución del conocimiento empírico que estas comunidades aportan queda en riesgo la pérdida del uso de colorantes vegetales. Por lo que, al realizar un análisis de las plantas con

finos tintóreos, se contribuye a que dicha información no se pierda y visibilizar las culturas que todavía los usan. También se promueve el uso de estos colorantes e incrementar el conocimiento actual, para establecer en algún momento una cifra aproximada de flora nativa que tiene características tintóreas y su alcance, con la finalidad de reflejar la importancia de estas plantas tintóreas para contribuir a la conservación de la flora nativa, transmitir y recuperar las técnicas tradicionales de las regiones que las utilizan y sus usos etnobotánicos.

La información de los colorantes naturales en la cosmética es escasa, a través de esta investigación se proporciona información del porqué, el empleo de estos colorantes naturales que pueden utilizarse en distintas industrias, es importante hacer un uso sustentable de ellos.

Hipótesis

El presente documento abarca dos hipótesis diferentes, la primera enfocada a una investigación documental:

Las plantas tintóreas endémicas y nativas de México pueden ser una fuente de pigmentos orgánicos y se pueden aprovechar de una forma sustentable y sostenible si se consideran los elementos que integran un enfoque holístico y se explora el conocimiento existente desde diferentes rubros.

Y la segunda sección a una investigación experimental:

Los colorantes naturales de plantas nativas de México (*Bixa orellana* L. y *Persea americana* Mill.) pueden ser fuentes de pigmentos para teñir fibras naturales con diversidad de tonalidades.

Objetivos

Objetivos generales

- Brindar un análisis de las plantas nativas de México con fines tintóreos bajo un estudio holístico para acercar sus elementos y sus interacciones desde diferentes perspectivas.
- Explorar el uso de plantas mexicanas con potencial tintóreo (*Bixa orellana* y *Persea americana*), tiñendo fibras naturales.

Objetivos particulares

- Generar un análisis de las plantas nativas de México con fines tintóreos bajo un estudio holístico para acercar sus elementos y sus interacciones desde diferentes perspectivas.
- Recopilar y analizar la información de plantas nativas de México con valor tintóreo, sus usos etnobotánicos y propiedades medicinales, con el fin de promover el uso de colorantes naturales.
- Extraer el colorante natural de *B. orellana* y *P. americana*, para conocer y analizar su comportamiento químico, rendimiento y pigmentación (color) en fibras naturales.

II. Marco teórico

2.1 Situación mundial de las plantas tintóreas

Se ha identificado una gran cantidad de fuentes de animales, insectos, minerales y plantas para la extracción de tintes y pigmentos. De estas últimas, las flores, frutos, semillas, cortezas, tallos u hojas, son los principales órganos de los que se pueden extraer compuestos tintóreos (Krizova, 2015). Se conocen cerca de 2000 pigmentos sintetizados a partir de diferentes fuentes vegetales, de las cuales únicamente 150 han sido explotadas comercialmente (Siva, 2007).

Básicamente, se requieren tres colores primarios para obtener un tono determinado o una gama de colores más amplia: azul, rojo y amarillo. En cuanto a los pigmentos azules, el colorante más utilizado es el que se extrae de las hojas de *Indigofera suffruticosa* Mill. (Mansour, 2018). El “azul maya” o añil, ganó su nombre debido a que era ampliamente utilizado por los mayas desde tiempos prehispánicos para obtener su colorante, el cual era empleado en diversas actividades. El cultivo de este se extendió en todas las colonias desde el siglo XVI (Schikorr et al., 2019), y fue ampliamente exportado a Europa por las diferentes tonalidades que se podían obtener. Otros colores fueron obtenidos principalmente de plantas, utilizadas por diferentes culturas como los egipcios, que pudieron haber aprendido de los chinos hace más de 3000 años (Abel, 2012). Actualmente, los colores rojos pueden ser extraídos de una gran variedad de plantas, de las que se registran 32 colorantes de origen natural. Los principales provienen de las raíces de la planta manjistha (*Rubia tinctorum* L., *Rubia cordifolia*), el palo de Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), el palo de zapán (*Caesalpinia sappan* L.) y la mora de la india (*Morinda citrifolia* L.). Siendo las antraquinonas los colorantes más importantes (Gulrajini, 2001).

Por otro lado, los colores amarillos son los más comunes; se registran 28 colorantes obtenidos de fuentes naturales disponibles a partir de varios recursos vegetales, entre ellos, la cúrcuma extraída de la raíz de *Curcuma longa* L., el agracejo indio (*Berberis aristata* DC.) y las flores de *Butea monosperma* (Lam.) Taub., de los que se extrae taninos, el árbol de Kamala (*Mallotus philippensis* (Lam.) Müll. Arg.), el azafrán, que se obtiene de los estigmas secos de la planta (*Crocus sativus* L.) y otros, como *Reseda luteola* L., una planta de la cual se puede obtener un pigmento amarillo, con valor importante en Europa. Grupos de metabolitos secundarios, como los flavonoides por ejemplo la quercetina aislada del roble norteamericano (*Quercus velutina* Lam.) son conocidos como colorantes y el ruibarbo del Himalaya (*Rheum emodi* Wall.), el cual presenta en sus raíces un gran número de antraquinonas, fuente de tintes naturales (Gulrajini, 2001). Mientras que los colores verdes generalmente se obtienen mediante la combinación del colorante azul proveniente de *Indigofera suffruticosa* L. y otros pigmentos amarillos. Colores como el negro y el café se extraen diversas fuentes, principalmente de la madera de los árboles de *Acacia* (Mansour, 2018).

Las principales plantas en las que se descubrió podían extraerse tintes fueron importadas a Europa Occidental, principalmente del sur y centro de América, África e India, para ser cultivadas en granjas. Actualmente ninguna de estas ha sido cultivada o comercializada industrialmente en los últimos años (Hill, 1997). Ocasionalmente que el empleo de estos recursos haya disminuido en las últimas generaciones. Principalmente, porque la información acerca de plantas tintóreas y su uso es escasa, muchos de estos colorantes que antes eran

populares, actualmente son poco conocidos y difíciles de obtener (Siva, 2007). También se debe tomar en cuenta que sólo algunas de estas fuentes de las que se pueden extraer colorantes son comercialmente viables, debido a su fácil acceso en la naturaleza, el estado actual del organismo en cuestión y su basta información en cuanto a métodos de extracción y usos.

La disponibilidad de los recursos tintóreos pueden estar en riesgo a causa de la destrucción del hábitat o la sobreexplotación, que pueden disminuir las posibilidades de recuperación de las especies útiles (Trueba, 2009). Como se puede observar en los bosques de roble negro (*Quercus velutina*) del este de EUA, del cual se extrae quercitrón, un colorante amarillo (Hill, 1997), se han visto alterados. En gran parte por la extensión de la influencia antropogénica, y los efectos heredados del uso pasado de la tierra por actividades silvícolas, introducción de especies no nativas, y su consecuente aumento en la actividad de plagas o patógenos nativos e introducidos; así como los procesos naturales de perturbación forestal, como sucesiones ecológicas, climas extremos e incendios (Knapp y Pallardy, 2018).

Las plantas tintóreas a nivel mundial han sido investigadas y utilizadas para la extracción de colorantes naturales en pequeña escala. Principalmente por diseñadores, artesanos, organizaciones no gubernamentales (ONG's), museos, academias e institutos, laboratorios y diferentes industrias (Gulrajini, 2001). Se han obtenido nuevos tonos con un rendimiento de color aceptable (Samanta y Agarwal, 2009). Los datos sobre la información resaltan la escasez de materia prima, la sustitución de plantas tintóreas por colorantes químicos y en algunos casos la sobre explotación de las especies. La mayor parte de estos estudios han empleado un enfoque etnobotánico para rescatar el conocimiento y los usos tradicionales de los diferentes grupos étnicos alrededor del mundo. Con el fin de exponer la problemática actual relativa a la pérdida de conocimiento tradicional sobre el tema, debido a la falta de investigación e información acerca de las fuentes vegetales de las que se pueden extraer pigmentos, así como a la disminución en el uso de estas especies tintóreas (Trueba, 2009). Derivados en primer lugar, por la colonización que sufrieron diferentes pueblos causando la pérdida y modificación de la información en cuanto a especies vegetales con valor tintóreo y sus métodos de extracción. En segundo lugar, la creación de los colorantes sintéticos, su facilidad de empleo y el que fuera barata su producción reemplazó las fuentes naturales y en un tercer lugar, la disponibilidad de los recursos, como mencionan (Cunningham y Milton, 1987) el manejo inadecuado de las especies tintóreas puede resultar en la escasez de estos organismos y su rápida desaparición.

Entre los trabajos destacados, se encuentra el registro de 450 taxa con valor tintóreo en India (Siva, 2007), 116 especies utilizadas tradicionalmente en Chile, 73 especies utilizadas en África (Trueba, 2009) y 50 especies nativas de Argentina (González et al., 2020).

2.2 Panorama en México de las plantas tintóreas

En México, el uso de tintes naturales tiene su inicio en las culturas mesoamericanas (Guirola, 2010), a partir de los cuales elaboraron pinturas rupestres, murales, decoraban vasijas y figurillas, adornaban su cuerpo en diferentes rituales y, teñían textiles para su vestimenta. Una amplia variedad de representaciones textiles, elaboradas con dichos tintes, se pueden contemplar en los famosos murales de Bonampak (Figura 1) (Chiapas, México) uno de los pocos sitios arqueológicos mayas más antiguos que aún se conservan. Para crear dichos

murales, los mayas usaban tintes de origen biológico (principalmente de plantas) e inorgánicos. El más conocido al llegar los españoles fue el denominado “Azul Maya”, elaborado a partir de una arcilla atapulgita (también llamada yucatec sak tu'lum en maya) y el tinte azul producido por la planta índigo (Chan-Bacab et al., 2014; Chiari et al., 2003). Sin embargo, los colorantes naturales al ser de origen vegetal no son muy duraderos por lo que ha sido difícil para los arqueólogos encontrar evidencia del alcance de su empleo entre las diferentes civilizaciones (Chan-Bacab et al., 2014).



Figura 1. Mural de Bonampak perteneciente al sitio arqueológico de Chiapas, México. Se observa la paleta cromática usada en los textiles y otros artefactos creada por los mayas. Foto obtenida de: (Guirola, 2010).

Cuando los españoles llegaron al continente americano, quedaron asombrados ante la diversidad y riquezas que proveían los recursos naturales. Entre ellos, las plantas tintóreas, que se convirtieron en mercancías de lujo de muy alto precio, solo superadas por el oro y la plata (Guirola, 2010). Motivo por el cual, los tintes obtenidos de diferentes fuentes como el de cochinilla, añil y palo de Campeche fueron exportados en volúmenes significativos, lo que generó una fuente importante de divisas. Sin embargo, por diversas circunstancias fueron reemplazados por los tintes sintéticos, decayendo la producción, la exportación y la utilización de tales pigmentos.

México es uno de los principales reservorios de plantas utilizadas por indígenas (Franco-Maass et al., 2019). Muchas de las cuales presentan compuestos tintóreos y siguen siendo utilizadas por personas de comunidades rurales e indígenas, las cuales tienen un amplio conocimiento de sus propiedades colorantes, debido a que forma parte de sus tradiciones culturales e identidad y han sido transferidas de generación en generación (Guirola, 2010). A nivel nacional se han desarrollado diversas investigaciones etnobotánicas para el estudio de la flora útil, con lo que se ha podido catalogar a México entre los cinco países con mayor número de especies de plantas vasculares, con poco más de 25 mil especies descritas (Semarnat, 2014). A pesar de esto, la información sobre plantas tintóreas es escasa, por lo cual, esta investigación tiene como finalidad resaltar la importancia de trabajar con tintes naturales, los usos que se le dan y su alcance en la actualidad, aportando en cierta medida al reservorio de conocimiento existente sobre plantas nativas.

Actualmente los pigmentos obtenidos de plantas se utilizan en su mayoría para la elaboración de productos artesanales, sobre todo textiles. En la región de Campeche, algunos de los artesanos rurales usan colorantes sintéticos y de algunas fuentes vegetales que extraen

principalmente por ebullición y otros métodos, de los cuales se conoce poco dada la negativa de los indígenas para revelar sus técnicas, pero de las cuales se sabe, utilizan para teñir textiles y fibras vegetales para elaborar sombreros y artículos decorativos (Figura 2) (Chan-Bacab et al., 2014).



Figura 2. Productos artesanales elaborados con fibra de palma de jipijapa (*Carludovica palmata* Ruiz y Pav.), y teñidos con colorantes naturales **A.** Sombrero teñido parcialmente con colorante obtenido de *Phytolacca icosandra* **B.** Sombrero teñido con añil (*I. suffruticosa*) **C.** Pulseras, anillos y brazaletes teñidos parcialmente con colorantes naturales y artificiales. Fotografías modificadas de (Cetzal-Ix et al., 2018).

En el Estado de México, varias comunidades tienen una larga tradición de teñir lana para elaborar vestimentas tradicionales y, en algunas localidades, textiles artesanales (Franco-Maass et al., 2019). En la Península de Yucatán, las plantas tintóreas se usan para la tinción de artesanías o productos comestibles, sin embargo, las artesanías regionales producidas con tintes naturales están siendo desplazadas y sustituidas por fibras sintéticas y colorantes artificiales, que son una falsa reproducción de los materiales y color (Cetzal-Ix et al., 2018). Existen investigaciones con el propósito de utilizar ciertos pigmentos en alimentos y bebidas, ya que el color tiene una gran influencia en la percepción de la calidad de estos productos e incitan su consumo.



Figura 3. Ropa tradicional mexicana teñida con el extracto de Palo de Campeche (*Haematoxylum campechianum* L.) (Ortiz-Hidalgo y Pina-Oviedo, 2019).

Entre los diferentes estudios que se han realizado en México en diferentes comunidades indígenas, se ha logrado identificar y caracterizar diversas plantas de las que se extraen tintes, tanto nativas como introducidas. Entre las más utilizadas se encuentra *Ipomoea stans* Cav. y *Phytolacca icosandra* L., en Jalisco (Gamboa Ruiz, 1999). En Veracruz se reportan 17 especies de plantas utilizadas en la tinción de textiles de lana, las cuales se encuentran de manera silvestre, entre ellas *Justicia spicigera* Schltld., *Dahlia coccinea* Cav., *Tagetes erecta* L., *Usnea barbata* L. y *Usnea glabrata* (Ach.) Vainio (Trueba, 2009). En Yucatán se reportan alrededor de 40 especies tintóreas, de las que se obtienen una gran variedad de colores entre ellos el rojo, amarillo, café, azul, verde, púrpura y naranja que se emplean para diseñar diversos productos artesanales como sombreros, bolsas, carteras, aretes, pulseras, canastas, entre otros. Entre las especies más empleadas se encuentran *Hematoxylum campechianum* L. (Figura 3) e *Indigofera suffruticosa* Mill. (Cetzal-Ix et al., 2018). En el Estado de México, se identificaron 29 especies con potencial tintóreo, a pesar de esto las mujeres de la comunidad prefieren utilizar únicamente cinco de las especies registradas, estas son *Helianthus annuus* L., *Dahlia coccinea* Cav., *Tagetes erecta* L., *Cuscuta jalapensis* Schl. e *Indigofera tinctoria* L., que les permiten obtener los colores amarillo, naranja, verde y azul. La recolección de estas plantas silvestres ha disminuido con el tiempo, debido a los largos recorridos que se tienen que hacer para obtenerlas, siendo estas sustituidas por las especies cultivadas que pueden encontrarse en los mercados, de las 29 registradas 21 son cultivadas y 10 de ellas pueden encontrarse en mercados (Franco-Maass et al., 2019).

2.3 Los colorantes naturales

Uso tradicional de los colorantes naturales en México

Diferentes civilizaciones mesoamericanas como los Olmecas, Mayas y Aztecas utilizaban sustancias naturales para la producción del teñido (Guirola, 2010). Hasta el descubrimiento de los colorantes sintéticos en el siglo XIX, los colorantes naturales a partir de plantas, minerales y animales eran usados en diversas actividades. En México, las plantas locales eran utilizadas para el teñido de telas, códices y otros documentos, así como en pinturas murales, rituales y otros objetos (García-Bucio et al., 2019). La representación que se ve en los murales de Bonampak (Figura 1), por ejemplo, mostraban la división de las clases sociales, la cual se representaba a través del tipo de ropa que llevaban los personajes (Chiari et al., 2003).

El uso de estos colorantes fue registrado por los peninsulares en diversos códices y cartas enviados a España, o bien se mantuvieron en menor medida a través del conocimiento que fue pasado por generaciones en algunas comunidades indígenas del país. Sin embargo, tras la conquista del territorio mesoamericano por los españoles, algunos materiales y técnicas pictóricas se perdieron o modificaron. Por esta razón, existe una falta de información sobre los materiales y métodos utilizados en los períodos prehispánico y colonial (Casanova-González et al., 2012). Por lo que sus usos y el alcance de su empleo siguen siendo incierto. Algunos investigadores argumentan que la primera evidencia del uso de tintes de la zona se encontró entre grupos humanos que usaban los pigmentos como pinturas corporales, con fines rituales y de adaptación ambiental, probablemente usándolos como repelentes de insectos (Chan-Bacab et al., 2014).

La identificación y caracterización precisa de los pigmentos y tintes orgánicos presentes en el arte prehispánico y colonial es importante para conocer el contexto histórico del objeto y del periodo en el que se encontraba, de igual forma algunos materiales artísticos pueden operar como marcadores cronológicos y geográficos (García-Bucio et al., 2019).

El problema actual en la identificación de tintes orgánicos utilizados en la conformación del patrimonio cultural presenta muchos inconvenientes. En la actualidad se conocen los nombres indígenas de muchos tintes, pero no han sido identificados botánicamente; en otros casos existen informes antropológicos o históricos sobre el uso de colorantes, pero estos no han sido identificados ni relacionados con sus fuentes vegetales o animales (Casanova-González et al., 2012).



Figura 4. Urna funeraria de las Altas tierras mayas, algunos colores fueron obtenido de plantas, arcillas y minerales. Museo Popol Vuh, Guatemala. Fotografía de Nicholas Helmuth (Guirola, 2010).

Los materiales colorantes fueron muy variados. Muchas veces, mezclados o combinados con otros colorantes o elementos para la obtención de diversos tintes, que formaron parte de las diversas representaciones artísticas de grupos culturales de Mesoamérica. Los mayas, contaban con una paleta cromática de más de 30 colores diferentes que emplearon en la creación de diversos murales (Figura 4). Dentro de los colores más importantes estaban el azul y el verde, que extraían de la planta *Indigofera suffruticosa* L., y mezclaban con diferentes tintes orgánicos y arcillas para obtener tonalidades de azul, verde, negro y púrpura (Guirola, 2010).

Estado actual de los colorantes naturales

La investigación dedicada actualmente a los tintes naturales es muy poca, por lo que su uso ha decaído en los últimos 150 años (Gulrajini, 2001; Hill, 1997). Sin embargo, recientemente, los colorantes naturales han vuelto a despertar el interés como una alternativa ecológica y sostenible al uso de los colorantes sintéticos (Manian et al., 2016). Principalmente en el teñido de textiles, coloración de alimentos, cosméticos (Samanta y Agarwal, 2009), tinción medicinal e histológica y varias otras aplicaciones y disciplinas (Shahid et al., 2013), por laboratorios de investigación, museos, diseñadores y artesanos (Gulrajini, 2001).

A nivel mundial reemplazar los tintes artificiales por colorantes naturales se está volviendo cada vez más popular principalmente en alimentos y bebidas (Chatham et al., 2019). Esto debido a la evidencia de que los colorantes sintéticos en muchos países pueden desarrollar enfermedades (Cervantes-Sánchez et al., 2017) y su prohibición a gran escala en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, tal es el caso de la suspensión del rojo E-126 y del rojo No. 40 en países europeos (Garzón, 2008). Sin embargo, alrededor de 6 millones de libras de colorante rojo No. 40 fueron certificados para su uso en 2018 por la FDyC (Centro para la Seguridad Alimentaria y la Nutrición Aplicada), en los Estados Unidos. Lo que propicia la búsqueda de alternativas naturales (Chatham et al., 2019), por lo cual, los colorantes de origen vegetal tienen la oportunidad de insertarse en el mercado a nivel nacional, ya que presentan una amplia gama de colores de uso seguro (Cervantes-Sánchez et al., 2017).

De igual forma, diferentes Organizaciones no Gubernamentales (ONG's) han difundido su uso (Gulrajini, 2001), como un medio para preservar las tradiciones locales y el patrimonio cultural y, de mejorar los medios de vida en las regiones rurales (Manian et al., 2016), lo anterior al contribuir a la economía de las comunidades rurales, al mismo tiempo que se promueve la conservación de la flora nativa (Cetzal-Ix et al., 2018).

Estudios hechos por las ONGs anteriormente mencionadas, así como por diversos estudios etnobotánicos, ha permitido documentar de 5,000 a 7,000 especies de plantas con diversos usos en México (Farfán et al., 2007). El uso de tintes naturales ha continuado como parte de la cultura de diferentes comunidades indígenas. Los cuales tienen un amplio conocimiento de sus propiedades tintóreas, debido a que forma parte de sus tradiciones culturales e identidad y son transferidos de generación en generación, para la evaluación de su vestimenta, rituales y productos artesanales como parte de su economía (Guirola, 2010).

Grupos étnicos mexicanos como los chontales, mixtecos, huaves, nahuas y zapotecas continúan explotando el caracol de tinte púrpura (*Plicopurpura pansa*) (Cervantes-Hernández et al., 2016). De igual forma, numerosos estudios han identificado y caracterizado especies de tintes, particularmente de plantas, en diferentes comunidades indígenas de México (Franco-Maass et al., 2019). Como los zapotecas, originarios del Valle Central del estado de Oaxaca, que utilizan lana de oveja y tintes naturales derivados de las plantas e insectos de esta región para crear diseños en sus textiles (Gulrajini, 2001). Mientras que, en la Península de Yucatán, se han registrado 40 plantas tintóreas, clasificadas en 36 géneros y 22 familias, las cuales se usan principalmente para la tinción de artesanías o productos comestibles (Cetzal-Ix et al., 2018).

2.4 Tintes naturales en la cosmética

Cosmética prehispánica en la cultura Mexica y Maya

Mientras que en América, Hernán Cortés describió que los aztecas tenían un conocimiento avanzado de la medicina botánica, los romanos por su parte, tenían un sistema de baños muy organizado con aguas termales y acueductos. Los aztecas, tanto hombres como mujeres cuidaban de su cabello con preparaciones de semillas y aceites que extraían de diferentes plantas como tzopilotl tzontecomatl (*Swientenia mahagoni* (L.) Jacq.). Las canas las teñían con un pigmento preparativo de xihquilitl pitzahuac, con barro negro, y para aclararlas se utilizaron tlacehoili o mohuitle. Para suavizar la piel del cuerpo, preparaban lociones hirviendo las semillas de etzpanxihuitl. Las mujeres aztecas y mayas usaban el trautlahpalli, para pintar de rojo labios, mejillas, cuello, pecho y manos. De igual forma, preparaban perfumes a base de flores (cueponacayotl) como el lirio blanco (omixochitl), el lirio de cala (tzacuxochitl) o el jazmín (vilacpatli). Y utilizaban el ahuacatli o aguacate y la caña de azúcar como máscara facial (Blanco-Dávila, 2000; Cortés, 2010).

La principal fuente de representación de la cosmetología se observó en la cultura maya, en donde la expresión de la belleza formaba parte de un concepto mágico-religioso, la mayoría de las veces asociado con nociones de rango y función social. En otras palabras, el arte de la cosmetología tenía un propósito divino. Como el rojo representaba un color mágico, los colorantes rojos eran de gran importancia, posteriormente se emplearon combinaciones de colores; con los cuales pintaban símbolos como el del sol, sujetadores cosméticos y patrones

intricados tanto en la cara como en el vestido. De igual forma, el alquitrán extraído de la madera de ocote (*Pinus montezumae* Lamb.), se utilizaba mezclado con resina para colorear cejas, boca e incluso los dientes. Los tatuajes también eran utilizados, los Mayas tatuaban toda su cara como símbolo de belleza, los patrones eran abstractos y simbólicos (Obermayer, 1974).

También se han descrito ciertos minerales con función cosmética, colocados en el entierro para ser utilizados durante ritos funerarios o como ofrendas vinculadas a la profesión o actividades del difunto. Los pigmentos encontrados en tumbas de Teotihuacán, México, tales como la galena mezclada con carbón vegetal, sugiere que los antiguos teotihuacanos tenían algún conocimiento empírico sobre el efecto negativo de este mineral en la salud, por lo que la mezcla del mineral con un carbón vegetal puede interpretarse como un intento de reducir su toxicidad (Doménech-Carbó et al., 2012).

2.5 Aplicación de los colorantes naturales

Actualmente el uso de colorantes naturales se debe, principalmente al interés por el medio ambiente y la sostenibilidad de los productos utilizados por los consumidores, por lo que los tintes naturales están empezando a experimentar de nuevo un ligero aumento de popularidad (Samanta y Agarwal, 2009), en tres principales sectores: en las industrias textil, alimenticia y en un menor plano en la farmacéutica y cosmética.

Industria textil

El uso de tintes naturales se ha convertido en un tema de gran importancia debido a la mayor conciencia medioambiental para evitar algunos colorantes sintéticos peligrosos. Principalmente porque la enorme escorrentía de efluentes de tintes hacia los cuerpos de agua representa una amenaza para la vida humana y marina. Y, es considerado un potente contaminante para el tratamiento de aguas residuales (Kumar et al., 2012). Sin embargo, en todo el mundo, el uso de estos para la coloración de textiles se ha limitado principalmente a artesanos tintoreros e impresores a pequeña escala (Samanta y Agarwal, 2009). Se estima que solo el 1% del total de textiles del mundo se tiñe con colorantes naturales (Zerin et al., 2020). Principalmente debido a que producen tonos poco comunes y suaves, en comparación con los tintes sintéticos. Por lo que, se necesita investigación en los métodos de extracción y teñido para optimizar las combinaciones específicas de tinte- fibra-mordiente para un mejor rendimiento en cuanto a la calidad de colores y tonos reproducibles (Samanta y Agarwal, 2009).

En general, el bajo rendimiento de color de los materiales de origen vegetales restringe la disponibilidad de su uso a gran escala y, por lo tanto, se requieren más colorantes, así como mayor tiempo de teñido y mordiente (Saxena y Raja, 2014). Por otro lado, se requiere de la investigación de diferentes tipos de mordientes (agentes que permiten que los colorantes se adhieran a las telas), porque se sabe que estos químicos también podrían dañar al medio ambiente (Manian et al., 2016).

Industria alimenticia

El cambio en la legislación de productos alimenticios y las preferencias de los consumidores ha hecho necesario que los alimentos se formulen con ingredientes más naturales. Es por

esto, que fuentes vegetales como aditivo para los alimentos están recibiendo mayor interés, tanto de los fabricantes, como de los consumidores. Debido a que los productos naturales se asocian con la promoción de la calidad y la salud, mientras que los pigmentos sintéticos son evaluados críticamente (Mansour, 2018; Shahid et al., 2013).

Los colorantes se han utilizado en diferentes platillos a lo largo del tiempo debido a que dan un aspecto y una calidad distinguidos que los hacen atractivos para el consumo (Guirola, 2010). Una de las ventajas del uso de fuentes vegetales en la industria alimenticia son los innumerables beneficios y propiedades asociados. Por ejemplo, además de la propiedad colorante, los extractos ricos en antocianinas pueden actuar como marcadores de control de calidad para productos alimenticios; mejorar la calidad nutricional de los alimentos y bebidas; así como se ha reportado en estudios recientes el posible papel en la reducción de enfermedades coronarias, accidentes cerebrovasculares, los efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos; además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo (Garzón, 2008). Los carotenoides también se utilizan con fines nutricionales como fuente de vitaminas esenciales o como suplementos alimenticios (Chattopadhyay et al., 2008; Del Villar-Martínez et al., 2007; Mortensen, 2006). Muchos de los colorantes alimentarios naturales poseen excelentes propiedades antioxidantes. Los flavonoides y los taninos se reconocen como pigmentos con alto valor farmacológico (Chattopadhyay et al., 2008). Por lo tanto, además de su función principal de mejorar la calidad visual de los productos alimenticios, estos pigmentos de origen natural pueden mejorar el valor nutricional del alimento.

Lo anterior, junto con las regulaciones que se han formulado en la mayoría de los países con respecto al uso de aditivos alimentarios, deja un amplio mercado para el uso de pigmentos naturales. Ya que, el uso de colores sintéticos aprobados para consumo humano ha disminuido (Shahid et al., 2013).

Industria farmacéutica y cosmética

En el mundo de la cosmética, existe una demanda que ha estimulado el desarrollo de productos cosméticos naturales (Patil y Datar, 2016). En gran parte desarrollado por la necesidad de adoptar una forma de vida más natural. Por lo que, el uso de cosméticos a base de plantas ha incrementado su consumo, derivado del uso excesivo de productos sintéticos como químicos y colorantes, que han tenido efectos perjudiciales para la salud, conduciendo a diversas enfermedades, así como una considerable contaminación ambiental en los ecosistemas (Kapoor, 2005). Entre los beneficios que aportan los colorantes naturales es que muchos de ellos poseen actividad antioxidante, y han mostrado notables funciones antibacterianas, antiinflamatorias, anticancerígenas (Mansour, 2018), protección UV, antioxidantes, entre otros, en bases de maquillaje, labiales, tintes para cabello y otros cosméticos. Al ser de origen natural, no agregan ningún efecto nocivo al medio ambiente al ser desechados. Así mismo, no son tóxicos o han causado ninguna reacción alérgica, por lo que podrían usarse con confianza en productos cosméticos y farmacéuticos (Adeel et al., 2018). Es por esto por lo que una de las industrias con mayor uso potencial se encuentra en la farmacéutica y cosmética.

2.6 Importancia de los colorantes en productos cosméticos

El término colorante hace referencia a las sustancias que se utilizan para impartir color a otro material. El uso de estos se remonta a decenas de miles de años, y permitieron dar forma a culturas y lenguajes ya que consintieron a nuestros antepasados prehistóricos a crear imágenes y pintarse a sí mismos (Townes, 2019). En la actualidad, la importancia en el uso de colorantes en diferentes industrias ha aumentado, sobre todo porque es la característica principal que determina el atractivo para los consumidores, en cuanto a diseño, pigmentación y calidad.

En la industria cosmética el color juega un rol importante, productos tales como labiales, sombra de ojos, polvos para la cara, máscara de pestañas y en general el maquillaje no tienen valor sin el color. Otros productos que se ofrecen al consumidor cuyo objetivo principal no es únicamente el de cubrir o colorear, como el de jabones, enjuagues bucales, champú y otros productos de baño, requieren del color y que este armonice con las declaraciones del producto y su empaque, y con ello tenga éxito en el mercado (Otterstätter, 1999). La existencia de cosméticos y maquillaje son tan viejos como las civilizaciones antiguas, y estos son inconcebibles sin los colorantes.

2.7 Clasificación de los colorantes naturales

El término colorante natural hace referencia a los tintes extraídos de invertebrados, minerales o plantas. La mayor parte obtenidos de estas últimas, y otras fuentes orgánicas como los hongos y líquenes (Barber, 1991). Y pueden ser clasificados de varias maneras, principalmente por su estructura química, según su origen o las fuentes de donde se obtienen, por su forma de aplicación y basado en su color (Mansour, 2018).

El Colour Index (CI) índice del color internacional, es una base de datos de referencia de todos los colorantes tanto sintéticos como naturales. En esta base, los tintes naturales tienen una sección separada, donde se ordenan por tonos, su composición química y sus principales aplicaciones (Patel, 2011).

Clasificación según su color

Se requieren de los tres colores primarios (rojo, azul, amarillo) para obtener un determinado color o una gama de colores más amplia.

Rojos

El índice de color enumera 32 tintes rojos de origen naturales: algunos se extraen de las raíces o la corteza de las plantas, mientras que otros, como la cochinilla, se extraen de los cuerpos de los insectos de color gris opaco. Sin embargo, las fuentes de estos tintes son limitadas (Mansour, 2018; Patel, 2011; Vankar, 2000).

Azules

El índice de color enumera solo cuatro tintes naturales azules. Sin embargo, la única opción viable entre los tintes naturales azules es el índigo (Mansour, 2018; Patel, 2011). Lo que lo

hace muy importante, es conocido popularmente como el “rey de los tintes naturales”; las hojas de la planta *Indigofera suffruticosa* e *Indigofera tinctoria* son la fuente de este tinte. Se ha utilizado desde la antigüedad hasta ahora para producir el color azul, y hoy en día es el más popular para los tejidos de mezclilla (Saxena y Raja, 2014).

Amarillos

El amarillo es el tono más abundante en la naturaleza. El número de plantas que producen tintes amarillos es mucho mayor que el número que produce otros colores, y el índice de color enumera un total de 28 tintes naturales que brindan este color (Patel, 2011; Vankar, 2000). Las fuentes más populares de color amarillo natural incluyen la cúrcuma, caléndula, achiote, entre otros (Mansour, 2018).

Clasificación basada en su constitución química

Los tintes naturales tienen una constitución química diversa debido a la presencia de metabolitos secundarios. La obtención de pigmentos a partir de plantas puede deberse a la presencia de un compuesto o a la mezcla de compuestos químicos estrechamente relacionados (Saxena, y Raja, 2014). Se dividen principalmente en: índigoides, antraquinonas, naftoquinonas, benzoquinonas, flavonoides, carotenoides, antocianinas y taninos (Vankar, 2000).

Clasificación basada en la aplicación del colorante

Aplicación con mordientes

Requieren el uso de un mordiente debido a la falta de afinidad por la fibra. En general se utilizan tres tipos: mordientes de metal (sales metálicas de aluminio, cobre, estaño, etc.), mordiente tánico (ácido tánico) y mordientes oleosos (Mansour, 2018).

Tintes directos

Estos colorantes poseen afinidad por las fibras sin ningún pretratamiento para teñir. Muchos tintes naturales pertenecen a esta clase. Algunos ejemplos son la cúrcuma, la cáscara de la granada y el achiote (Mansour, 2018; Patel, 2011).

Tintes ácidos o básicos

Colorantes que poseen una estructura de grupos sulfónicos o carboxílicos son más fácil de aplicar en un medio ácido. Mientras que, los tintes básicos de ionización desarrollan cationes coloreados, estos se aplican de pH neutro a ligeramente ácido y muestran poca solidez a la luz (Mansour, 2018).

Clasificación según su origen

Existen principalmente tres fuentes de las que se pueden extraer colorantes naturales, estas son: plantas, animales o insectos y minerales.

Dentro de los minerales, se producen a partir de compuestos orgánicos naturales purificados. Algunos de los más importantes son el amarillo cromo, el ante de hierro, el amarillo nankin, el azul de Prusia y el marrón manganeso (Mansour, 2018).

Varias partes de las plantas (Figura 5) pueden ser utilizadas para la extracción de pigmentos, tales como las raíces, tallos, cortezas, hojas, frutos y semillas pueden contener materiales colorantes, algunas de ellas pueden tener más de un color, dependiendo de qué parte se utilice. El tono que se produce va a variar, según la época de recolección, como se cultivó, las condiciones del suelo, entre otras características (Vankar, 2000).



Figura 5. Principales órganos de los que se pueden extraer colorantes naturales **A.** Semillas de *Bixa orellana* L., **B.** Frutos de *Prunus serotina* Ehrhart, **C.** Hojas de *Indigofera suffruticosa* L., **D.** Corteza de *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth., **E.** Flores de *Tagetes erecta* L., **F.** Hojas y tallo de *Justicia spicigera* Schltdl. y **G.** Raíces de *Rubia tinctorum* L.

Los animales también son una fuente rica de tintes, normalmente se pueden extraer del cuerpo de alguno de ellos como del caracol de tinte púrpura *Plicopurpura pansa* (Cervantes-Hernández et al., 2016); o del cuerpo seco de insectos como la cochinilla (*Dactylopius coccus*) (Figura 6), el tinte se obtiene de los insectos hembra que viven en el cactus de la especie *Opuntia sp.*, su principal material colorante es el ácido carmínico (Saxena y Raja, 2014).



Figura 6. **A.** Grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), **B.** Modo de extracción del ácido carmínico.

2.8 Métodos de extracción

Los materiales vegetales contienen solo un pequeño porcentaje de colorante junto con una serie de otros constituyentes como fibras insolubles en agua, carbohidratos, proteínas, clorofila y taninos. Es por esto, que la extracción es un paso esencial no solo para preparar los tintes lo más puro que se pueda, también se debe evitar cualquier contaminación durante los procesos de extracción. De igual forma, es necesario determinar la naturaleza y las características de solubilidad de los materiales colorantes antes de emplear un proceso de extracción para llevar a cabo un proceso de estandarización con el fin de optimizar las variables de extracción para un tinte en particular con el objetivo de obtener los mejores resultados en cuanto al rendimiento de color y el costo del proceso y teñido (Aggarwal, 2021). Los diferentes métodos que se documentan para la extracción de materiales colorantes de plantas se registran en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos de extracción de algunos colorantes registrados por (Mansour, 2018; Samanta y Agarwal, 2009; Saxena y Raja, 2014).

Extracción acuosa

El material que contiene colorante se rompe primero en trozos pequeños o se pulveriza y se tamiza para mejorar la eficacia de extracción. Luego se empapa con agua en recipientes de barro, madera o metal (preferiblemente cobre o acero inoxidable) durante un tiempo prolongado, generalmente durante la noche para aflojar la estructura celular y luego se hierve para obtener la solución del tinte que se filtra para eliminar los restos de la planta no colorante. El proceso de hervir y filtrar se repite para eliminar la mayor cantidad de tinte posible.

Extracción alcalina o ácida

Como muchos colorantes están en forma de glucósidos, estos pueden extraerse en condiciones ácidas o alcalinas diluidas. La adición del ácido o álcali facilita la hidrólisis de glucósidos dando como resultado una mejor extracción y un mayor rendimiento de materiales colorantes. El agua acidificada también se usa para extraer algunos tintes de flavonas para prevenir la degradación oxidativa. La extracción alcalina es adecuada para tintes que tienen grupos fenólicos, ya que son solubles en álcali, lo que mejora el rendimiento del tinte. Los tintes se pueden precipitar posteriormente mediante el uso de ácidos.

Extracción por fermentación

Utiliza las enzimas producidas por los microorganismos presentes en la atmósfera o los presentes en los recursos naturales para ayudar al proceso de extracción. El método de fermentación es similar a la extracción acuosa

con la excepción de que este método no requiere altas temperaturas.

Los microorganismos desintegran las sustancias que se unen a la materia colorante de forma natural.

Los colorantes naturales, dependiendo de su naturaleza, también se pueden extraer mediante el uso de disolventes orgánicos como acetona, éter de petróleo, cloroformo, etanol, metanol o una mezcla de disolventes como una mezcla de etanol y metanol, una mezcla de agua con alcohol, entre otros. El método de extracción de agua / alcohol es capaz de extraer sustancias tanto solubles en agua como insolubles en agua de los recursos vegetales. Por tanto, el rendimiento de extracción es mayor en comparación con el método acuoso, ya que se puede extraer un mayor número de productos químicos y materiales colorantes.

Extracción por solvente

Tipos de mordientes

El uso de mordientes es el tratamiento que se le aplica a los tejidos con sales metálicas u otros agentes formadores de complejos que unen los tintes naturales a las fibras textiles. Se pueden aplicar diferentes tipos y mordientes selectivos o su combinación sobre los tejidos textiles para obtener diferentes colores, aumentar la absorción del tinte y mejorar el comportamiento de solidez del color de cualquier tinte natural (Samanta y Agarwal, 2009). No todos los colorantes necesitan de un mordiente, aquellos que no lo hacen se les denomina colorantes sustantivos, mientras que los que requieren de un mordiente son los colorantes adjetivos. Los más comunes son aluminio, hierro o cobre y estaño (Siva, 2007).

Los mordientes se pueden clasificar en tres categorías:

Mordientes metálicos

Se utilizan para garantizar la solidez del color a la luz solar y al lavado. Algunos de los mordientes metálicos importantes son: alumbre, dicromato de potasio, sulfato ferroso, sulfato de cobre, y cloruro de estaño (Samanta y Agarwal, 2009). También se utilizan las sales metálicas de aluminio, cromo, hierro, cobre y estaño (Vankar, 2000).

El problema con este tipo de mordientes es que los procesos de teñido natural suelen generar aguas residuales que contienen iones metálicos tóxicos, los cuales tienen un impacto negativo en el ambiente y en la salud pública (Shahid et al., 2013). El contenido de estos residuos está estrictamente prohibido más allá de un cierto límite específico. El alumbre y el sulfato ferroso se consideran los más seguros entre los mordientes de sales metálicas, y el estaño se puede usar hasta ciertos límites, mientras que el uso de cromo y cobre está casi desterrado debido a su naturaleza tóxica (Patel, 2011; Saxena y Raja, 2014).

Taninos

El ácido tánico o los taninos se utilizan como mordiente primario para el algodón y las fibras celulósicas, ya que no tienen mucha afinidad por los mordientes metálicos. Pueden estar en forma de ácido tánico o sustancias que contengan taninos vegetales, estos últimos son muy baratos y se pueden encontrar como excreciones de la corteza, hojas y frutos (Saxena y Raja, 2014). Estas sustancias se dividen en dos clases distintas, taninos hidrolizables y taninos condensados, según el tipo de núcleos fenólicos implicados y la forma en que se unen (Patel, 2011).

Mordientes de aceites

El objetivo del mordiente de aceite es formar un complejo con alumbre, que se utiliza como mordiente principal. El alumbre es soluble en agua y no tiene afinidad por el algodón, por lo que se elimina fácilmente de los tejidos tratados. Se ha encontrado que cuando se trata ácido sulfónico concentrado con aceites, se producen aceites sulfonados, que tienen mejor capacidad de unión a metales que los aceites naturales, produciendo una mejor solidez y tonos (Patel, 2011).

2.9 Problemática en el uso de colorantes naturales

A partir de la invención de los colorantes sintéticos en 1856 (Abel, 2012), se convirtieron en la primera opción, dejando a los colorantes naturales relegados a un número limitado de aplicaciones tradicionales debido a su disponibilidad limitada, dificultad de uso, inestabilidad y alto costo (Frick, 2003). Aquí se explican algunas de las problemáticas en el uso actual.

Las plantas, una de las principales fuentes de pigmentos naturales pueden variar, características tales como la temporada, la región de cultivo, tipo de suelo, agro clima, tipo de especie, provoca la variación en el color y reproducibilidad del tinte natural (Saxena y Raja, 2014). Otro factor se encuentra en los métodos de extracción y el bajo rendimiento de color de materiales de origen vegetal, los cuales necesitan de una estandarización para optimizar la obtención de colores en su máxima intensidad y que estos puedan ser reproducibles (Adeel et al., 2018; Samanta y Agarwal, 2009).

De igual forma, las plantas contienen estos tintes en pequeña cantidad. Por lo que, para satisfacer la demanda actual de colorantes, se requeriría una gran cantidad de este recurso natural, que no es sustentable proporcionar y, por lo tanto, se necesitaría de un cultivo artificial. También sería posible explorar nuevas fuentes naturales de extracción de sus propiedades tintóreas (Zerin et al., 2020). Ante esto, es importante señalar que antes de hacerlo se necesitaría hacer un estudio de los posibles problemas de sostenibilidad, ya que de lo contrario, su uso sería poco práctico y conduciría a la sobreexplotación de los recursos (Shahid et al., 2013).

Algunos de los problemas que se enfrentan para el uso de colorantes es que algunos de ellos se obtienen de la corteza, raíces y tallos de los árboles, los cuales no se pueden obtener sin dañar el árbol y, no existe una logística para ponerlos a disposición para la producción de tintes (Zerin et al., 2020). La tala indiscriminada de árboles para obtener estos materiales con fines de teñido seguramente dañará los árboles y conducirán a la deforestación. De igual forma, se necesitan varios años para que un árbol crezca, el uso de las flores tiene el peligro

de perturbar el ciclo natural de polinización y reproducción de las especies vegetales, y se debe tener cuidado de la recolección de frutos y semillas no afecte el consumo natural de animales y aves. Por lo que, si no se plantea el cultivo de estas plantas y árboles en mayor número antes de cosecharlos, la biodiversidad estaría en gran peligro. Esto puede evitarse si las personas están capacitadas en la recolección sostenible de plantas con valor tintóreo y dicha recolección sea monitoreada de cerca para prevenir la sobreexplotación (Saxena y Raja, 2014).

El problema de esto es que falta mucha investigación para poder usar los colorantes naturales de manera sustentable y sostenible. En México, existe una gran diversidad de plantas con valor tintóreo, pero poco se sabe acerca de qué colorantes se obtienen, los métodos de extracción que se utilizan y qué materiales tiñen. Por eso, uno de los objetivos de la presente investigación es evidenciar los faltantes de información, ya que mucha de ella se encuentra dispersa, con el fin de conjuntarla de manera sintetizada y poder integrar y mostrar el conocimiento empírico del país con respecto a las fuentes vegetales de extracción de tintes.

Los tintes naturales se obtienen principalmente de diferentes plantas, es decir, de recursos renovables. Muchos de ellos, se extraen de flores, frutos y semillas de árboles, estructuras que se renuevan anualmente. Las hojas de los árboles también son una fuente sostenible, siempre y cuando se cosechen de manera consciente en cuanto a la cantidad y frecuencia de hojas extraídas y no exceda su potencial de renovación (Saxena y Raja, 2014). Existe una gran variedad de colores que pueden ser extraídos de estas plantas, por lo que se puede producir una amplia gama de colores mediante su mezcla y combinación (Krizova, 2015).

Una de las formas para obtener tintes naturales podría plantearse a través de los productos de desecho de la industria alimenticia, ya que produce enormes cantidades de desechos biológicos como frutos, cáscaras, semillas y otros subproductos residuales que contienen gran cantidad de colorantes vegetales que pueden utilizarse (Krizova, 2015). Por otro lado, la extracción de tinte como subproducto de la industria maderera es sostenible. De igual forma, cultivar las plantas, realizar nuevas plantaciones de dichos materiales vegetales y usar solo una parte del árbol para la extracción de tinte sin destruir todo el árbol podría resolver parte del problema. Si se considerara la plantación y el cultivo de materiales vegetales, esto se vería como una ventaja a largo plazo, ya que conduciría a una mayor fijación de carbono en forma de biomasa sintetizada por estas plantas. Además, si la enorme cantidad de biomasa producida se compostea, ayudaría a mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola y, por lo tanto, aumentaría aún más la fijación de carbono (Aggarwal, 2021; Zerín et al., 2020). Así mismo, al ser productos biodegradables, el efluente producido durante su uso puede degradarse fácilmente por la acción microbiana, sin causar ninguna contaminación ambiental (Adeel et al., 2018).

Lo anterior, ligado a que su uso tiene un gran valor agregado por el creciente interés en los efectos farmacológicos y sus posibles beneficios para la salud (Patel, 2011), entre ellos propiedades medicinales para enfermedades de la piel, lo hace muy útil para la industria cosmética.

El estudio de estos colorantes permite proteger y preservar la tecnología de extracción y teñido tradicional que forma parte del patrimonio del país. Ya que, si no se registran adecuadamente, corren el riesgo de perderse y extinguirse como parte de la identidad étnica.

2.10 Ventajas del uso de tintes naturales

Una de las formas para obtener tintes naturales podría plantearse a través de los productos de desecho de la industria alimenticia, ya que produce enormes cantidades de desechos biológicos como frutos, cáscaras, semillas y otros subproductos residuales que contienen gran cantidad de colorantes vegetales que pueden utilizarse (Krizova, 2015). Por otro lado, la extracción de tinte como subproducto de la industria maderera es sostenible. De igual forma, cultivar las plantas, realizar nuevas plantaciones de dichos materiales vegetales y usar solo una parte del árbol para la extracción de tinte sin destruir todo el árbol podría resolver parte del problema. Si se considerara la plantación y el cultivo de materiales vegetales, esto se vería como una ventaja a largo plazo, ya que conduciría a una mayor fijación de carbono en forma de biomasa sintetizada por estas plantas. Además, si la enorme cantidad de biomasa producida se composta, ayudaría a mejorar la fertilidad del suelo y la producción agrícola y, por lo tanto, aumentaría aún más la fijación de carbono (Aggarwal, 2021; Zerín et al., 2020). Así mismo, al ser productos biodegradables, el efluente producido durante su uso puede degradarse fácilmente por la acción microbiana, sin causar ninguna contaminación ambiental (Adeel et al., 2018).

Lo anterior, ligado a que su uso tiene un gran valor agregado por el creciente interés en los efectos farmacológicos y sus posibles beneficios para la salud (Patel, 2011), entre ellos propiedades medicinales para enfermedades de la piel, lo hace muy útil para la industria cosmética.

El estudio de estos colorantes permite proteger y preservar la tecnología de extracción y teñido tradicional que forma parte del patrimonio del país. Ya que, si no se registran adecuadamente, corren el riesgo de perderse y extinguirse como parte de la identidad étnica.

III. Pigmentos naturales de plantas nativas de México: Un enfoque holístico

Resumen

El uso de colorantes sintéticos ha reemplazado a los colorantes naturales debido a que se pueden conseguir y emplear fácilmente. Sin embargo; el empleo intensificado como lo han hecho diferentes industrias ha tenido efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud del ser humano. Los colorantes naturales han generado interés debido a las ventajas que se pueden obtener de ellos; no obstante, la información acerca de las fuentes vegetales nativas de México con valor tintóreo es limitada, varias de ellas poco reconocidas y por ende su aprovechamiento ha sido limitado. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis de las plantas nativas del país con valor tintóreo proponiendo un sistema para su estudio holístico y así contribuir al conocimiento, conservación y aprovechamiento de la flora nativa. La revisión bibliográfica identificó al menos 35 materiales con colorantes naturales disponibles a lo largo de México, de las cuales se obtienen una variedad de colores y tonalidades, entre otros usos, 22 especies se reportan como plantas para el teñido textil, 9 especies para usos alimenticios y 6 especies para uso cosmético. El potencial de plantas nativas con fines tintóreos en México es amplio por la capacidad de compuestos de pigmentar telas, cosméticos y alimentos, así como de la diversidad de tonalidades que se pueden lograr.

Palabras clave: *plantas tintóreas, pigmentos, biodiversidad, sistema.*

3.1 Introducción

México es un país con amplia diversidad de plantas nativas con fines tintóreos donde la mayoría de su conocimiento se centra en comunidades indígenas (Franco-Maass et al., 2019; Guirola, 2010). A nivel nacional se han desarrollado diversas investigaciones etnobotánicas para el estudio de la flora útil, con lo que se ha podido catalogar a México entre los cinco países con mayor número de especies de plantas vasculares, con poco más de 25 mil especies descritas (Semarnat, 2014).

El uso de colorantes naturales en México tiene registros desde la cultura mesoamericana (Guirola, 2010), donde extraían sus pigmentos a partir de invertebrados, minerales o plantas. La mayor parte obtenidas de estas últimas, con las que realizaban una gran variedad de actividades (Barber, 1991) y cuya información y uso ha pasado de generación en generación por las diferentes comunidades indígenas del país (Guirola, 2010). Su uso ha disminuido drásticamente, sobresaliendo su uso artesanal. A pesar de esto, y gracias a diversas investigaciones, se sabe que los pigmentos naturales tienen un amplio potencial en diversos campos: en la industria textil para teñir las fibras naturales y sintéticas, en la industria alimentaria para la coloración de productos alimenticios, en productos farmacéuticos para hacer recubrimientos de tabletas y para colorear los productos cosméticos (Mansour, 2018). Las ventajas de los tintes sintéticos sobre los tintes naturales son: su disponibilidad en una forma que se puede aplicar fácilmente, la variedad de colores, tonos y buenas propiedades de solidez (Adeel et al., 2018). Sin embargo, la desventaja de su uso es importante, debido a que la aplicación de estos a gran escala como lo han estado haciendo las industrias ha tenido

efectos perjudiciales sobre el medio ambiente así como en la salud de las personas, ocasionando respuestas alérgicas, tóxicas y cancerígenas (Shahid et al., 2013). Ante esto, la conciencia pública sobre productos ecológicos ha aumentado, causando mayor interés en el uso de tintes naturales debido a que estos son fácilmente biodegradables y renovables, no tóxicos, ecológicos y proporcionan beneficios a la salud adicionales (Samanta y Agarwal, 2009; Siva, 2007).

Con la disminución del conocimiento empírico que las comunidades indígenas aportan y el desplazamiento de los colorantes naturales por los sintéticos, se corre el riesgo de pérdida del uso de colorantes vegetales.

El objetivo de la presente revisión es brindar un análisis de las plantas nativas de México con fines tintóreos bajo un estudio holístico para acercar sus elementos y sus interacciones desde diferentes perspectivas.

La búsqueda de información se realizó en motores bibliográficos como Web of Science®, Scopus®, ScienceDirect® y Google Scholar® y portales de herbarios como trópicos.org

3.2 Enfoque holístico de las plantas tintóreas nativas de México

Los sistemas, son el conjunto ordenado de componentes relacionados entre sí, que puede estudiarse de manera independiente del resto, pero en el cual sus componentes se hallan interconectados. Para comprender la biología a nivel de sistema, se debe examinar la estructura y dinámica de la función de sus partes interrelacionadas e interdependientes (subsistemas), en lugar de las características de partes aisladas de cada una (Kitano, 2002). Los sistemas y subsistemas podrían permitir el conocimiento sobre el aprovechamiento de estas plantas con valor tintóreo; para comprender diferentes elementos biológicos y sus interacciones con otros elementos como el ambiente o el impacto del ser humano. Un ejemplo son los análisis desde el enfoque de sistemas, que, aunque en su mayoría se han aplicado a la medicina tradicional, también se podría utilizar para explicar otro tipo de elementos biológicos y sus interacciones (Verpoorte et al., 2005). El estudio de las ciencias de la vida se ha transformado de un enfoque reduccionista a otro proporcionado por la biología de sistemas y los enfoques holísticos, donde se incluye los efectos biológicos y su interacción con el entorno, en lugar de centrarse en una sola parte de este (Patwardhan et al., 2008). Se utilizan estos principios de la biología y de sistemas, para en conjunto proponer un análisis holístico y abordar diferentes componentes que integran el sistema de las plantas tintóreas y su entorno (Figura 7). Conocer los subsistemas y la relación e interacción entre ellos, que permitan comprender aspectos particulares desde una visión general. Este enfoque puede proporcionar información conjunta, y nuevos prospectos del potencial del uso tintóreo de las plantas nativas de México. La información acerca de qué colorantes y pigmentos se pueden obtener, los órganos vegetales que se utilizan, los métodos más eficaces y qué materiales se puede teñir.

En México, el uso de tintes naturales a partir de fuentes vegetales tiene un inicio en las culturas Mesoamericanas (Guirola, 2010), a partir de los cuales elaboraron pinturas rupestres, murales, decoraban vasijas y figurillas, adornaban su cuerpo en diferentes rituales y, teñían textiles para su vestimenta (Chan-Bacab et al., 2014; Chiari et al., 2003). En la actualidad el uso de plantas tintóreas para la extracción de tintes ha disminuido, siendo utilizadas en su mayoría para la obtención de pigmentos que se utilizan en la elaboración de productos artesanales, sobre todo textiles y artículos decorativos (Chan-Bacab et al., 2014).

3.3 Plantas nativas de México con fines tintóreos

En el país, ninguna de las especies registradas como productoras de tintes, es cultivada actualmente con la única finalidad de hacer uso de las propiedades tintóreas y, en su mayoría desempeñan un papel importante en la vida cotidiana de la población local y étnica de cada estado, de las cuales se sabe presentan otros usos etnobotánicos como propiedades medicinales, formando parte de su alimentación y ritos ceremoniales. Por lo que es de gran importancia el estudio y registro de esta flora como parte de nuestra identidad socio-cultural, así como el reconocimiento del conocimiento empírico de estas culturas y grupos étnicos que utilizan estas plantas como parte de sus costumbres.

Respecto al estado de conservación de las plantas tintóreas de México se sabe que la gran mayoría es utilizada por los pueblos locales, los cuales las recolectan de su estado silvestre, otras especies tales como *T. erecta*, *D. coccinea* y *J. spicigera*, son cultivadas por las mismas comunidades debido a que las emplean para más de un uso (Trueba, 2009). Sin embargo, el uso de estas plantas ha disminuido principalmente por los colorantes artificiales que otorgan colores más vivos, así como lo mencionado por (Franco-Maass et al., 2019) acerca de la recolección de plantas silvestres, la cual se está perdiendo debido a los largos recorridos que deben hacer las comunidades para obtenerlas, siendo sustituidas por los recursos que pueden obtener más fácilmente, entre ellas especies cultivadas y colorantes artificiales.

En la presente revisión, se recopiló información de diferentes especies de plantas nativas de México registradas por su uso para extraer colorantes (Tabla 3), junto con una evaluación de los colores que se pueden obtener, el órgano vegetal del que se extraen y el uso que se les da a estos colorantes. México tiene una diversidad amplia de plantas con valor tintóreo y estas han formado parte de la historia del país, siendo parte importante de la vida cotidiana de las poblaciones locales y étnicas donde aún se hace uso de estas plantas con fines tintóreos.

De las 35 especies investigadas, se encontró que los principales colorantes se localizaron en la corteza de 31% de las especies, 26% en las hojas, 23% en el fruto, 17% en las flores o pétalos, 14% en el tallo, 9% en las semillas y 3% en las raíces.

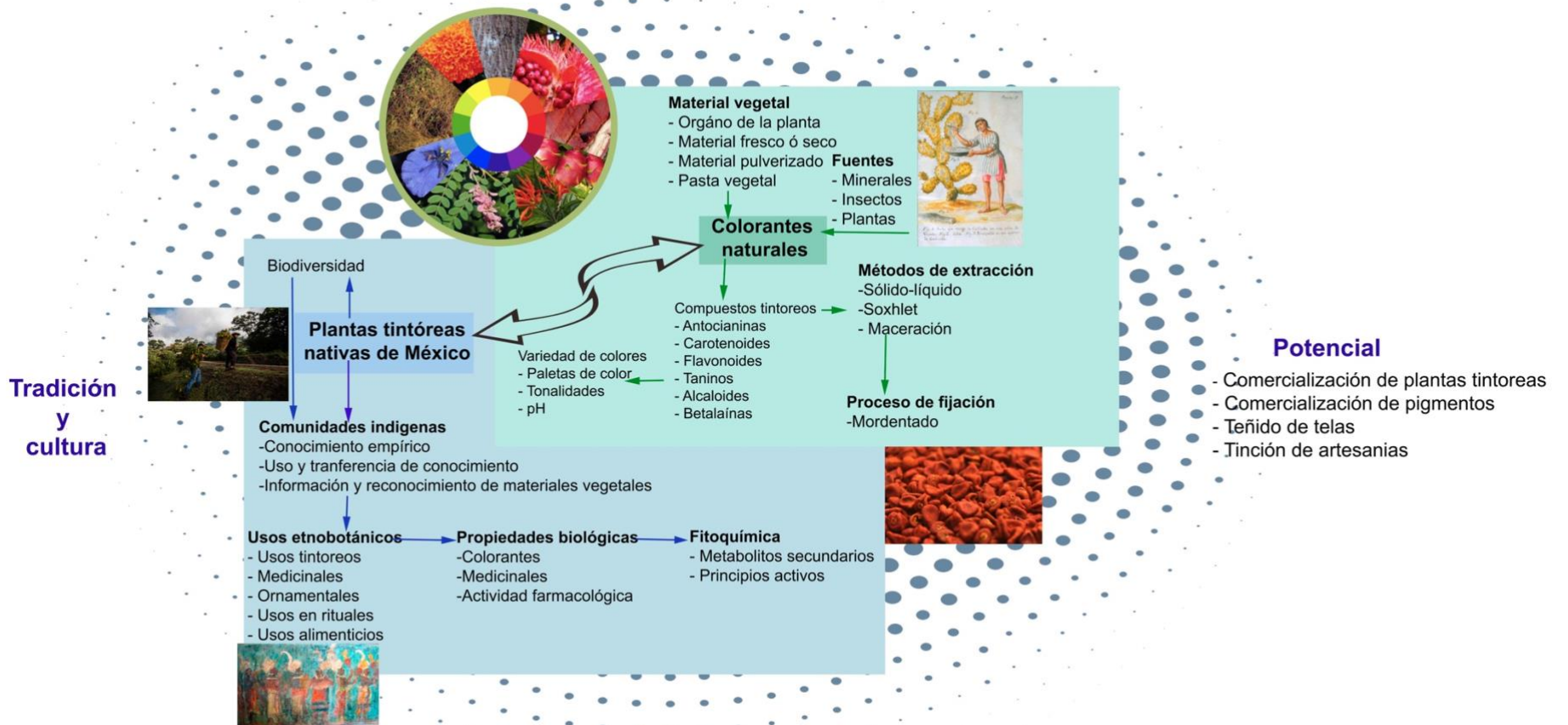


Figura 7. Enfoque holístico para el estudio de colorantes naturales a partir de plantas nativas mexicanas. (Elaboración propia)

3.3.1 Biodiversidad

México se encuentra entre los cinco países con mayor número de especies de plantas vasculares, en el que se registra 23,314 especies nativas, distribuidas en 2,854 géneros, 297 familias y 73 órdenes. La flora incluye 1,039 especies de helechos y licofitas, 149 gimnospermas y 22,126 angiospermas (Villaseñor, 2016), lo que equivale aproximadamente a 9.1% de las especies descritas en el mundo (alrededor de 272 mil) (Semarnat, 2014). Muchas de las cuales presentan compuestos tintóreos y siguen siendo utilizadas por personas de comunidades rurales e indígenas, las cuales tienen un amplio conocimiento de sus propiedades colorantes, debido a que forma parte de sus tradiciones culturales e identidad y han sido transferidas de generación en generación (Guirola, 2010).

La revisión bibliográfica elaborada para conocer la diversidad de plantas con valor tintéreo en México muestra que existen 35 especies nativas que se pueden encontrar a lo largo de la República Mexicana (Figura 8). De las que se sabe se distribuyen en 22 familias, de las cuales destacan por el número de especies las siguientes: Fabaceae (6), Asteraceae (4), Acanthaceae (3), Bixaceae (2), Rubiaceae (2) y Euphorbiaceae (2) (Tabla 2).

Tabla 2. Número de especies de plantas tintóreas por familia (Tropicos.org, 2021).

Familia	Número de especies	Familia	Número de especies
Acanthaceae	3	Fagaceae	1
Asparagaceae	1	Lauraceae	1
Asteraceae	4	Malpighiaceae	1
Betulaceae	1	Meliaceae	1
Bignoniaceae	1	Moraceae	1
Bixaceae	2	Poaceae	1
Cactaceae	1	Phytolaccaceae	1
Commelinaceae	1	Rosaceae	1
Convolvulaceae	1	Rubiaceae	2
Euphorbiaceae	2	Rhizophoraceae	1
Fabaceae	6	Solanaceae	1

Los estados con el mayor número de especies de plantas tintóreas son Chiapas, Oaxaca y Veracruz con 33 y Jalisco con 32 especies nativas que utilizan para extraer colorantes; de las cuales (Trueba, 2009) reporta 17 para Veracruz con uso artesanal para la tinción de textiles de lana. En Colima, Guerrero y Michoacán se registran 29 especies nativas de México, Campeche con 26, Sinaloa y Nayarit con 25, Tamaulipas con 24, San Luis Potosí, Puebla, Hidalgo y Yucatán presentan 23, con respecto a la Península de Yucatán, éstas coinciden con las reportadas por (Cetzal-Ix et al., 2018), quienes registran en total 40 especies nativas e introducidas, con uso tintéreo divididas en 36 géneros y 22 familias, siendo Fabaceae la mayor representante con 12 especies. En Tabasco se registran 22 especies, en Quintana Roo y Querétaro 21, Sonora, Morelos y Durango presentan 20, en Guanajuato, Chihuahua y Baja California Sur 18 especies, en Zacatecas y Aguascalientes 17, en Nuevo León y Coahuila 16, la CDMX con 15 especies, Baja California con 10 y finalmente, los estados con menor diversidad de plantas tintóreas son Tlaxcala con 8 especies diferentes y el Estado de México con 4. Este último coincide con lo reportado por (Franco-Maass et al., 2019), quienes mencionan únicamente a *D. coccinea*, *T. erecta*, *C. jalapensis* e *I. tinctoria*, entre las plantas

tintóreas nativas de la región más utilizadas por la comunidad de Mazahua, Edo. de México que les permiten obtener los colores amarillo, naranja, verde y azul.

De las 35 especies identificadas como plantas tintóreas, solo *Dahlia coccinea*, es considerada endémica del país, centro y norte de América (Halbwirth, Muster and Stich, 2008).

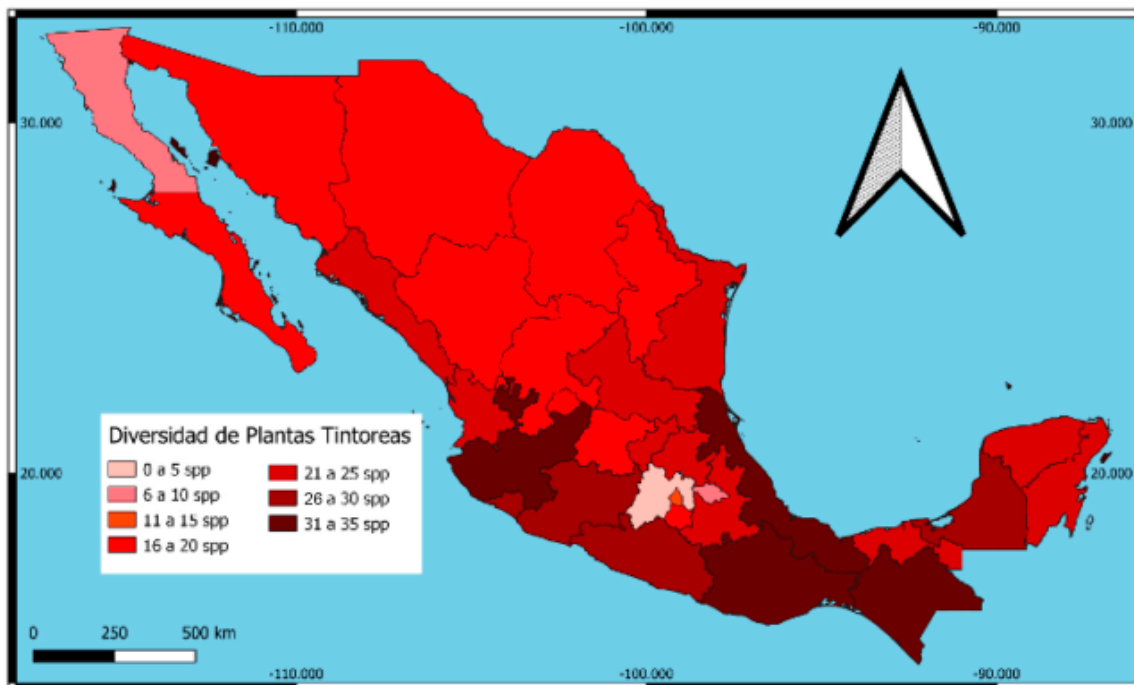


Figura 8. Diversidad de plantas tintóreas nativas de México por estado. De las 35 especies registradas (Tabla 3), los colores representan la presencia de diferentes individuos que se pueden encontrar, de menor a mayor diversidad. El color más claro representa la menor diversidad y el color más fuerte la mayor diversidad (32 especies) (Generado a partir de la base de datos de tropicos.com y Qgis).

Tabla 3. Plantas nativas de México con valor tintóreo.

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Bixa orellana</i> L.	Achiote	Rojo, anaranjado	Bixina, norbixina, isobixina (carotenoides)	Semillas	Derivados lácteos, cárnicos, grasas, helados, cosméticos, condimentos, cerámica, pintura, tintes, jabones, esmaltes, barnices, lacas. En un principio como pintura y tatuaje del cuerpo, para protegerse de insectos, así como para teñir telas de algodón	(Devia y Saldarriaga, 2003; Geck et al., 2020; Pacheco et al., 2019; Raddatz-Mota et al., 2017)
<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Aile	Amarillo, café y negro		Corteza del árbol, fruto y hojas	Curtir cuero y madera, teñido de textiles prehispánicos	(Franco-Maass et al., 2019; Niembro et al., 2010; Rzedowski, y Rzedowski, 2005)
<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	Rojo-naranja	Taninos, perseorangina	Semilla	Jabones, cosméticos, para teñir tejidos de lino y algodón	(Dabas et al., 2011; Hatzakis et al., 2019; Hennessey-Ramos et al., 2019; Niembro et al., 2010)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN).

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Agave americana</i> L.	Agave, maguey	Amarillo claro		Hoja	En Perú lo utilizan para teñir diferentes tipos de textiles.	(Mostacero et al., 2017; Rodríguez et al., 2017)
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Algodón Silvestre	Amarillo-naranja		Madera	Teñir fibras de algodón	(Niembro et al., 2010)
<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	Añil/ Jiquilite	Azul índigo	Indigoide	Hojas	Uso textil. Antiguamente para murales y pinturas.	(Agra et al., 2007; Franco-Maass et al., 2019; Rodríguez-Pérez et al., 2006; Sandoval-Salas et al., 2006; Schikorr et al., 2019)
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	Bigotillo o Ponciana enana	Rojo, amarillo	Antocianinas	Raíz	Para curtir cuero	(O’Gorman, 1963; Singh et al., 2011)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	Siena	Taninos condensados	Corteza	Para la tinción de textiles	(Falcón, 2014; Niembro et al., 2010)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN).

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Tagetes erecta</i> L.	Cempasúchil	Amarillo	Licopeno, β -caroteno, luteína (carotenoides) ácidos fenólicos y flavonoides	Flores	Aditivo en la elaboración de alimentos para aves, peces y crustáceos, y así mejorar el aspecto de éstos para el consumo humano. En la antigüedad para pintar indumentaria.	(Del Villar-Martínez et al., 2007; Franco-Maass et al., 2019; Geck et al., 2020; Siriamornpun et al., 2012; Vernon-Carter et al., 1996)
<i>Fridericia chica</i> (Bonpl.) L.G Lohmann	Carayurú, Chica	Rojo oscuro	3-deoxiantocianos (antocianina)	Hojas	Utilizado por los indígenas para pintar su cuerpo y utensilios.	(Frausin et al., 2015; Villaseñor, 2016)
<i>Prunus serotina</i> Ehrhart	Capulín	Rojo, tonos de café	Cyanidin-3-glucoside, cyanidin-3-rutinoside (antocianinas)	Fruto	Jabón y pinturas, lana	(Ordaz-Galindo et al., 1999; Telichowska et al., 2020; Villaseñor, 2016)
<i>Erythrina americana</i> Mill.	Colorín	Amarillo	Flavonoides	corteza	-	(Hussain et al., 2016; Niembro Rocas et al., 2010; O’Gorman, 1963; Rzedowski y Rzedowski, 2005)
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Chucum blanco, Guamúchil	Amarillo		Corteza	Teñir ropa de algodón Jabón	(Lira et al., 1991; Niembro et al., 2010; Villaseñor, 2016)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Dahlia	Naranja, amarillo, bronce, magenta	Ácidos benzoicos	Hojas y pétalos	Textil, alimentos, posible uso en cosméticos.	(Franco-Maass et al., 2019; Gaviria Mejía y Mejía Aguas, 2012; Halbwirth et al., 2008)
<i>Quercus</i> sp.	Encino	Oro, amarillo, café		Corteza interior	Textiles (lana, algodón y seda)	(Franco-Maass et al., 2019; Rzedowski, y Rzedowski, 2005; Villaseñor, 2016)
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Huizache	Café, negro		Fruta, Tallo y corteza	Teñir telas de seda y papel tapiz, también se puede producir pigmento para utilizarlo como tinta.	(Alonso-Castro et al., 2015; Cetzal-Ix et al., 2018; Chan-Bacab et al., 2014; Rzedowski, y Rzedowski, 2005)
<i>Genipa americana</i> L.	Jagua	Negro, azul	Iridoides (genipin)	Fruta	Indígenas guaraníes la utilizan para pintar sus cuerpos, utensilios y telas. Colorante para alimentos.	(de Carvalho et al., 2020; Prado et al., 2018; Ribeiro et al., 2017; Villaseñor, 2016)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	Jaboncillo	Rojo, naranja, púrpura	Antocianinas	Fruto	Teñir telas, fibras de palma	(Cetzal-Ix et al., 2018; Chan-Bacab et al., 2014; Rodríguez-Vázquez et al., 2016)
<i>Rhizophora mangle</i> L.	Mangle rojo	Azul, amarillo a rojos	Taninos	Corteza	Para teñir algodón, posible uso en cosmética	(Chan-Bacab et al., 2014; Cruz et al., 2015; Niembro et al., 2010)
<i>Avicennia germinans</i> L.	Mangle blanco, Prieto	Amarillo		Tallo y corteza		(Cetzal-Ix et al., 2018; Cornejo et al., 2005)
<i>Zea mays</i> L.	Maíz	Rojo, naranja, morado, azul	Carotenoides y flavonoides	Grano del maíz	Colorante para alimentos	(Chatham et al., 2019; Rzedowski y Rzedowski, 2005)
<i>Commelina coelestis</i> Willd.	Matlalli, Cielo azul, hierba de pollo	Azul	Antocianinas	Pétalos		(Falcón, 2014; Villaseñor, 2016)
<i>Jacobinia umbrosa</i> (Benth.) S.F. Blake	Micle, hierba azul, hierba añil, mohuitle	Azul oscuro		Hojas	Tiene el mismo uso que el Añil (<i>Indigofera suffruticosa</i>)	(O’Gorman, 1963)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Justicia spicigera</i> Schlttdl.	Muicle	Azul, violeta, verde		Hoja y tallo	Uso textil, y para pintar tortillas. Se usa en rituales de sanación.	(Casanova-González et al., 2012; Cetzal-Ix et al., 2018; Chan-Bacab et al., 2014; Franco-Maass et al., 2019; Geck et al., 2020)
<i>Byrsonimia crassifolia</i> (L.) Kunth.	Nanche	café		Cáscara del fruto	Teñir tejidos de algodón	(Geck et al., 2020; Niembro et al., 2010; Villaseñor, 2016)
<i>Euphorbia pulcherrima</i> Willd. ex Klotzsch	Nochebuena	Rojo escarlata	Antocianinas Flavonoides	Brácteas de la planta		(Nitarska et al., 2018; O’Gorman, 1963)
<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Pericón	Amarillo		Flor	Usada por los productores avícolas como parte de la alimentación de las gallinas, con el fin de intensificar el color amarillo de la carne y la yema de huevo.	(Franco-Maass et al., 2019; Geck et al., 2020; Rzedowski y Rzedowski, 2005; Villaseñor, 2016)
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	Palo Campeche	Rojo, negro, café, sepia	Hematoxilina	Corteza	Los mayas lo utilizaban para teñir sus mantas de lana o su vestimenta, las mujeres para pintar sus listones. Para tinciones histopatológicas.	(Chan-Bacab et al., 2014; Ortiz-Hidalgo y Pina-Oviedo, 2019)

(Continua)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	Palo mora	Amarillo brillante	Morin y kaempferol (flavonoides)	Corteza	Para teñir tejidos, se mezcla con otros colorantes para producir diferentes colores	(Alonso-Castro et al., 2015; Chan-Bacab et al., 2014; García-Bucio et al., 2019; Ribeiro et al., 2017; Villaseñor, 2016)
<i>Capsicum annum</i> L.	Pimiento, ají, morrón	Rojo, naranja, amarillo	Carotenoides	Fruto	Como colorante para alimentos y fármacos.	(Baenas et al., 2018; Cardona et al., 2006; Lira et al., 1991)
<i>Hylocereus undatus</i> (Haw.) Britton y Rose	Pitaya	Rojo, púrpura, azul	Antocianinas y betalainas	Cáscara de la fruta	Alimentos, fármacos y cosméticos	(Cervantes-Sánchez et al., 2017; Chan-Bacab et al., 2014; Villaseñor, 2016)
<i>Hamelia erecta</i> Jacq. Otros nombres para el basiónimo <i>Hamelia patens</i> Jacq.	Pie de pájaro, Arbusto escarlata			Hojas y tallos		(O’Gorman, 1963)

(Continúa)

Tabla 3. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Nombre común	Colorante	Compuesto tintóreo	Órgano vegetal	Material que tiñe	Referencias
<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Piñón negro, Tatúa, Sibidigua o Frailecillo de Cuba	Café		Hojas y tallos jóvenes	Telas de algodón	(P. Kumar et al., 2012)
<i>Cosmos sulphureus</i>	Xochipalli	Amarillo (rojo y anaranjado)	Apigenin (Flavonoide)	Flores	Madera	(Falcón, 2014; García-Bucio et al., 2019; Villaseñor, 2016)
Cav. <i>Cuscuta tinctoria</i> Mart. ex Engelm. <i>Cuscuta jalapensis</i> Schtdl.	Zacatlaxcall, hilo del diablo, mata palo, fideo, barbas de viejo, zacapala y coacoxtle.	Amarillo (rojizo)	Quercetina (flavonoide)	Toda la planta, sin la flor	Tela, madera	(Falcón, 2014; García-Bucio et al., 2019; Rzedowski y Rzedowski, 2005)

3.3.2 Perspectiva etnobotánica en México

El uso de plantas productoras de colorantes ha formado parte de la herencia cultural de muchos pueblos de todo el mundo durante miles de años. Recientemente, ha habido un interés creciente en el rescate del conocimiento tradicional de las plantas tintóreas como un medio para preservar las tradiciones locales (Franco-Maass et al., 2019).

Los pigmentos de origen vegetal se utilizan en su mayoría para la elaboración de productos artesanales, sobre todo en textiles. En la región de Campeche, algunos de los artesanos rurales usan colorantes sintéticos y de algunas fuentes vegetales que extraen principalmente por ebullición y otros métodos, de los cuales se conoce poco dada la negativa de los indígenas para revelar sus técnicas, pero de las cuales se sabe, utilizan para teñir textiles y fibras vegetales para elaborar y artículos decorativos (Chan-Bacab et al., 2014). En el Estado de México, varias comunidades tienen una larga tradición de teñir lana para elaborar vestimentas tradicionales y, en algunas localidades, textiles artesanales (Franco-Maass et al., 2019). En la Península de Yucatán, las plantas tintóreas se usan para la tinción de artesanías o productos comestibles, sin embargo, las artesanías regionales producidas con tintes naturales están siendo desplazadas y sustituidas por fibras sintéticas y colorantes artificiales, que son una falsa reproducción de los materiales y color (Cetzal-Ix et al., 2018).

A partir de los estudios etnobotánicos que se han realizado en el país, se ha recabado el conocimiento que tienen las diferentes comunidades en torno a las principales fuentes vegetales que utilizan por presentar propiedades tintóreas (Gamboa Ruiz, 1999), con lo que se ha calculado, que en México más de 25% de las plantas superiores tiene algún uso, de las cuales 536 especies vegetales tiene un uso artesanal (para la elaboración de canastas, sombreros, hamacas, etc.) y 90 son utilizadas como colorantes (Contreras Jaimes, 2015).

3.3.3 Usos etnobotánicos

En México, los primeros grupos indígenas mexicanos dejaron registros escritos de su conocimiento en cuanto a su relación con las plantas y la importancia de estos recursos vegetales en su vida (Barber, 1991). Entre los recursos vegetales que se registran, se encuentran las plantas utilizadas para la extracción de pigmentos. Las fuentes históricas y los estudios científicos coinciden en que los colores usados en los códices eran de origen orgánico, los cuales podían ser colorantes que se extraían, se depuraban, se mezclaban con algún aglutinante y, se utilizaban para pintar (Dupey, 2015).

Los artistas mayas del clásico contaban con una paleta cromática de más de 30 colores diferentes que emplearon en la creación de diversos murales, especialmente durante los períodos clásico y postclásico (Guirola, 2010). En los murales también se puede apreciar una gama de representaciones textiles que los indígenas mexicanos teñían con diversos pigmentos. En el mundo mesoamericano, como en otras culturas, el color tenía un significado mítico o religioso, de rango y origen, es decir, había colores específicos que determinaban el estatus social (Arroyo-Ortíz, 1996). Los tintes vegetales también se emplearon para la

decoración de algunas vasijas policromas de las tierras bajas mayas y como especies para darle color a la comida y condimentar (Guirola, 2010).

Muchas de las plantas productoras de tintes siguen siendo utilizadas para algo más que extraer colorantes, pues la mayoría reporta usos medicinales. En México, en muchas comunidades indígenas, el conocimiento y uso de las plantas representan el principal, si no el único, recurso terapéutico para el mantenimiento de la salud y/o el tratamiento de enfermedades (Ribeiro et al., 2017).

Entre las plantas más utilizadas para la salud reproductiva por mujeres Nahuas en el norte de Veracruz, México, están *Persea americana* Mill., para usos menstruales, *Tagetes erecta* L. y *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton y Rose utilizadas en el post parto (Smith-Oka, 2008). Las tres especies, de igual forma presentan compuestos tintóreos y clasifican en México como nativas.

Las plantas tintóreas siguen siendo utilizadas para la extracción de pigmentos que son utilizados para la tinción de textiles y diversas artesanías representando una innovación para diversificar y mejorar la presentación de sus productos (Cetzal-Ix et al., 2018), así como para la elaboración de su indumentaria tradicional (Franco-Maass et al., 2019).

Entre las especies tintóreas más utilizadas para la elaboración de artesanías en el municipio de Atzompa, Veracruz, se encuentran *Justicia spicigera*, *Dahlia coccinea*, *Tagetes erecta*, *Alnus acuminata*, *Cuscuta* sp., y *Phytolacca icosandra* (Trueba, 2009). En el norte de Campeche, México, algunas comunidades mayas siguen usando plantas tintóreas para teñir artesanías, entre los más conocidos los sombreros de palma Jipijapa (*Carludovica palmata* Ruiz y Pav.), entre las especies nativas que emplean se encuentran *Acacia farnesiana*, *Haematoxylum campechianum*, *Indigofera suffruticosa*, *Byrsonimia crassifolia*, *Swietenia macrophylla*, *Maclura tinctoria*, *Phytolacca icosandra* y *Zea mays* (Cetzal-Ix et al., 2018). Mientras que en el Estado de México, en el pueblo de Santa Rosa de Lima se han identificado 29 especies con potencial tintóreo en la región (Franco-Maass et al., 2019), entre las especies nativas de México se encuentran: *Alnus acuminata*, *Indigofera tinctoria*, *Prunus capulí*, *Dahlia* sp., *Quercus* sp., *Tagetes erecta*, *Zea mays*, *Justicia spicigera*, *Tagetes lucida* y *Cuscuta jalapensis*. A pesar de la existencia de diversas especies tintóreas en la región las mujeres de la comunidad prefieren utilizar únicamente cinco de las especies registradas, estas son *Helianthus annuus* L., *D. coccinea*, *T. erecta*, *Cuscuta jalapensis* e *I. tinctoria*, que les permiten obtener los colores amarillo, naranja, verde y azul.

A partir de estudios etnobotánicos de la población local que habita en la zona Maya de la Península de Yucatán, se llevó a cabo un inventario para relacionar las diferentes especies de plantas y su aprovechamiento. La información obtenida mostró que Yucatán alberga 23 plantas que muestran propiedades tintóreas (Chan-Bacab et al., 2014); entre las especies nativas de México se encuentran *Justicia spicigera*, *Bixa orellana*, *Hylocereus undatus*,

Acacia farnesiana, Hematoxylum campechianum, Indigofera suffruticosa, Brysonima crassifolia, Maclura tinctoria, Phytolacca icosandra, Rhizophora mangle y Hamelia patens.

Por otra parte, las plantas también han formado parte de la alimentación de los pueblos mexicanos desde sus inicios, entre ellas los colores de los platillos ha sido representativos por darles un aspecto y calidad distinguidos que los hacen atractivos para su consumo (Lira et al., 1991). Por lo que muchas de ellas, se han empleado como especias para condimentar dándole color a la comida. Un ejemplo muy conocido es el achiote (*Bixa orellana*), la cual produce un color rojizo en los alimentos y, en la actualidad se utiliza en las industrias de los derivados lácteos, cárnicos, grasas, helados, cosméticos, condimentos, cerámica, pintura, tintes, jabones, esmaltes, barnices, lacas, teñido de sedas y telas de algodón y en la medicina e industria farmacéutica tanto por sus características colorantes como medicinales (Devia y Saldarriaga, 2003).

Tabla 4. Plantas mexicanas con valor tintóreo, usos y su fitoquímica.

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Bixa orellana</i> L.	Las hojas y semillas se aplican tópicamente para tratar infecciones de la piel y bajar la fiebre.	La semilla, es ampliamente usada como condimento culinario.	Bixina (material colorante rojo), norbixina y orellina (material colorante amarilla), y carotenoides como: tocotrienoles, tocoferoles, terpenos y flavonoides.	Posee vitamina E que se encuentra como tocotrienoles (T3), siendo reconocidos por sus efectos antioxidantes, al proteger la membrana lipídica de la semilla del daño oxidativo. Así como efecto anticancerígeno y neuroprotector.	(Devia y Saldarriaga, 2003; Geck et al., 2020; Raddatz-Mota, León-Sánchez et al., 2016)
<i>Alnus acuminata</i> Kunth.	Las hojas se utilizan como cataplasma para disminuir el dolor muscular y reumático. En té, para desinflamar la próstata. La corteza, para la reducción de cálculos renales y evitar su formación.	Madera es empleada como leña, para construcción. Las hojas son parte de la dieta del ganado.	Flavonoides, taninos, esteroides, fenoles, triterpenoides, lactonas sesquiterpénicas, diarilheptanoides y glicósidos cardiotónicos.	Flavonoides y fenoles otorgan actividad antioxidante; los triterpenoides otorgan actividad antitumoral y efectos antivirales y hepatoprotectoras.	(Niembro et al., 2010; Ordóñez et al., 2006; Pacheco et al., 2019; Ren et al., 2017)
<i>Persea americana</i> Mill.	Las hojas contienen sustancias anticancerígenas. La cáscara del fruto y las semillas tienen propiedades antihelmínticas y su extracto acuoso es antibacteriano, usado en infecciones del estómago.	El fruto comestible es el producto más valioso. Por su alto índice de vitaminas y ácido linoléico es ampliamente usado en la industria cosmética y farmacéutica. La madera se utiliza como leña y elaboración de herramientas.	Alcaloides, triterpenoides, taninos, flavonoides, saponinas y polifenoles.	El extracto etanólico de la semilla muestra actividad antioxidante, antibacteriana y citotóxica sobre las células de cáncer de mama debido a los triterpenoides encontrados en la semilla.	(Abubakar et al., 2017; Niembro et al., 2010)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Agave americana</i> L.	Es una planta que se utiliza por su actividad larvicida, la savia de las hojas se usa para tratar quemaduras en la piel, cortes y lesiones.	Se utiliza principalmente para la extracción de aguamiel, elaboración del pulque y mezcal. Se cultiva para la extracción y uso de la fibra como textil y también tiene uso ornamental.	Flavonoides, alcaloides y azúcares.	Alcaloides presentan actividades biológicas como efectos antiinflamatorios, antipalúdicos, antimicrobianos, citotóxicos.	(Reynoso-Santos et al., 2012; Singh et al., 2018)
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	La corteza, hojas y flores es usada en medicina tradicional para el tratamiento de la hipertensión, diabetes, hepatitis, ictericia y diversas afecciones del pecho. Presenta propiedades bioactivas para tratar síndromes metabólicos y hepáticos.	La madera es usada como leña, y las hojas sirven como forraje para el ganado bovino. La masa algodonosa del fruto se utiliza en la fabricación de cordeles, para bordar tapetes. Y como planta ornamental.	Esteroles, flavonoides, carotenoides, apocarotenoides y lignanos.	Efectos hipoglucémicos y antidiabéticos en ratas normo glucémicas.	(Aguilar-Guadarrama y Rios, 2018; Niembro et al., 2010)
<i>Indigofera suffruticosa</i> Mill.	Las hojas se preparan en infusión para el dolor estomacal, bajar la fiebre, antiparasitario e insecticida. Se le atribuye propiedades antiespasmódicas, diuréticas, purgantes, sedantes, abortivas y analgésicas para tratar problemas urinarios, ictericia, y úlceras.	No se conocen otros usos	Flavonoides, alcaloides, cumarinas, triterpenos y carbohidratos.	El extracto de etanol de <i>I. suffruticosa</i> mostró un potente agente citotóxico teniendo respuestas celulares al inducir apoptosis.	(Agra et al., 2007; Campos et al., 2018; Rodríguez-Pérez et al., 2006)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Caesalpinia pulcherrima</i> (L.) Sw.	Se hace un cocimiento para las afecciones del hígado, y para lavar las úlceras de la boca y garganta. Las flores tienen propiedades purgativas, para bajar la fiebre y estimular el flujo sanguíneo. Las flores pulverizadas se emplean como insecticida.	Las semillas son comestibles, también se extrae caucho de ellas para fabricar pelotas.	Polifenoles, flavonoides y antocianinas. También se reporta el aislamiento de diterpenoides.	Propiedades antitumorales y propiedades antimicrobianas.	(Reynoso-Santos et al., 2012; Singh et al., 2018)
<i>Swietenia macrophylla</i> King	El extracto acuoso de la corteza tiene propiedades astringentes, se recomienda para dolores de pecho y diarreas.	La madera de la caoba presenta un alto valor comercial para la producción de muebles finos, pisos y cubiertas de embarcaciones, e instrumentos musicales.	Catequina sustituida con fenilpropanoide y una epicatequina.	Limonoides y sus derivados son los principales compuestos en los frutos y semillas, exhibiendo un amplio espectro de actividades biológicas.	(Moghadamtousi et al., 2013; Niembro et al., 2010)
<i>Tagetes erecta</i> L.	Las partes aéreas se utilizan en infusiones principalmente para dolores gastrointestinales e infecciones respiratorias, las maceraciones se aplican tópicamente para diversas afecciones de la piel.	Uso ornamental, las flores son importantes en los rituales de curación. Y en la celebración del Día de Muertos.	Taninos, flavonoides, alcaloides, quinonas, terpenoides, triterpenoides y cumarinas.	Potencial nematocida. Extractos de la raíz demostraron actividad antimicrobiana. El extracto de la flor presenta actividad analgésica.	(Devika y Koilpillai, 2012; Geck et al., 2020)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Fridericia chica</i> (Bonpl.) L.G Lohmann	Amplio uso etnobotánico se emplea para curar heridas, fiebre, tratar enfermedades de los riñones, hígado, piel, inflamación, úlceras gástricas, anemia y herpes.	No se conocen otros usos	Monoterpenoides y sesquiterpenoide, entre ellos limoneno y R-carvona.	Actividad antifúngica antiinflamatoria, cicatrizante y fotoprotectora.	(Devia y Saldarriaga, 2003)
<i>Prunus serotina</i> Ehrhart	El fruto presenta propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias.	El fruto comestible, se fermenta para la producción de alcohol. Se utiliza como árbol ornamental y barrera rompevientos. La madera tiene uso comercial.	Antocianinas, terpenos y carotenoides, principalmente β -carotenoides.	Para la prevención de enfermedades cardiovasculares, estrés oxidativo y diabetes.	(Guzmán et al., 2020; Telichowska et al., 2020)
<i>Erythrina americana</i> Mill.	Las diferentes partes de la planta son utilizadas como remedio en casos de infecciones urinarias, respiratorias y oftálmicas, reumatismo, heridas, afecciones de la piel, trastornos menstruales y procesos inflamatorios.	La madera se utiliza en artesanías y máscaras para las festividades religiosas de Michoacán y Oaxaca. Las flores son consideradas un complemento alimenticio debido a sus propiedades nutritivas, generalmente se comen hervidas o fritas. Se utiliza como árbol ornamental.	Alcaloides, seguido de cumarinas, esteroides, flavonoides, lípidos, proteínas y triterpenos.	La corteza, y semillas, son tóxicas debido a la presencia de más de 30 alcaloides, de los cuales la erytroidina y la eritrina son los más tóxicos de todos por sus propiedades hipnóticas y un poderoso efecto depresor del sistema nervioso central.	(de Araújo-Júnior et al., 2012; García-Mateos et al., 2001; Niembro et al., 2010)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Pithecellobium dulce</i> (Roxb.) Benth.	Presenta propiedades anticancerígenas, y se usa como astringente. El extracto de las hojas es empleado para tratar disentería, dispepsia, convulsiones, dolores de oídos y cabeza, úlceras pépticas y bucales y enfermedades venéreas	La madera es empleada para leña, herramientas agrícolas, muebles rústicos y construcciones rurales. Del árbol se obtiene una goma, empleada como pegamento.	Alcaloides, antraquinonas, flavonoides, taninos y terpenoides.	La corteza de la planta, que contiene un 37% de taninos de tipo catecol, se utiliza como febrífuga, dermatitis e inflamación ocular.	(Kabir et al., 2013; Nehra et al., 2013; Niembro et al., 2010)
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Los tubérculos de la planta se consumen como comida y medicina, reducen y controlan niveles de glucosa en sangre, la dependencia de insulina, colesterol y triglicéridos.	Es usada como planta ornamental y se le considera la flor nacional de México.	Antocianinas, chalconas y flavonoides, que ayudan a la copigmentación de las flores.	Propiedades antibióticas y anti aterogénicas y actúan como depresores del sistema nervioso central.	(Halbwirth et al., 2008; Lim, 2014)
<i>Quercus</i> sp.	En medicina tradicional se aplica como antiséptico o en trastornos gastrointestinales.	Las bellotas (fruto), se utilizan como alimento. La madera se usa en la maduración del vino en barricas de roble, y en la industria maderera por el color y durabilidad.	Ácidos fenólicos (ácido cafeico, ácido elágico, ácido gálico y ácido protocatecuico), taninos (elagitaninos, roburinas) y flavonoides.	Actividad antioxidante, antimicrobiana contra <i>S.aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , entre otras bacterias.	(Burlacu et al., 2020)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	La corteza es usada para tratar problemas digestivos, diabetes y la obesidad.	La goma que produce el tronco se usa como sustituto de la goma arábica. La madera se utiliza en construcciones, artesanías y como combustible.	Alcaloides simples, diterpenos, triterpenos, fitoesteroles, saponinas, flavonoides y taninos hidrolizables y condensados.	Estudios reportan que los diterpenos y flavonoides presentes mostraron citotoxicidad para líneas de cáncer humano y actividad antiinflamatoria.	(Alonso-Castro et al., 2015; Deshmukh et al., 2018; Seigler, 2003)
<i>Genipa americana</i> L.	Todos los órganos vegetales de esta especie se utilizan en medicina popular. Para la diabetes, enfermedades hepáticas, nutricionales, anemia metabólica, dermatitis.	Los frutos son comestibles, la madera se utiliza como leña, para elaborar herramientas y en la construcción rural.	Ácido geniposide, así como iridoides como constituyentes principales, pertenecientes a la clase de terpenos y algunos flavonoides.	Efecto antidiabético por inhibición de la enzima α -glucosidasa.	(Alves et al., 2017; de Carvalho et al., 2020)
<i>Phytolacca icosandra</i> L.	La raíz se utiliza como un diurético, para tratar la caspa, donde la fruta u hojas se remojan en agua tibia y el agua se usa para masajear el cuero cabelludo	Planta comestible, se utiliza como sustituto del jabón y la lejía porque produce espuma. Posee propiedades insecticidas.	Presenta antocianinas, triterpenos y saponinas.	Actividad antihelmíntica derivada de la presencia de flavonoides, esteroides, cumarinas y/o saponinas.	(Hernández-Villegas et al., 2011; Rodríguez-Vázquez et al., 2016)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Rhizophora mangle</i> L.	La corteza y hojas se utilizan para tratar la diabetes, anginas, furúnculos, contusiones leves, infecciones fúngicas, diarrea, disentería, fiebre, malaria, lepra, tuberculosis y antiséptico.	Su madera se usa para producir construcciones marinas, herramientas agrícolas, muebles. Los manglares son de enorme importancia ecológica en las zonas costeras, estabilizan la línea de costa y la protegen de la acción erosiva de los vientos y la marea.	Alcaloides, flavonoides, fenoles, saponinas y taninos.	Efecto antihiper glucémico.	(Andrade-Cetto et al., 2017; Cruz et al., 2015; Iwuala y Alam, 2017; Niembro Rocas et al., 2010)
<i>Avicennia germinans</i> L.	De las hojas se hace un té para tratar enfermedades gástricas.	La corteza como leña y para construcción.	Alcaloides, terpenoides, esteroides, fenoles, saponinas, flavonoides y tanino.	Actividad antimicrobiana, antidiarreico, analgésico, antiulceroso, antiinflamatorio, entre otros.	(Cornejo et al., 2005; Thatoi et al., 2016)
<i>Zea mays</i> L.	Las infusiones de maíz se utilizan en varios países de América como diurético. Los granos en diversas preparaciones como antidiarreicos y, las brácteas y granos, particularmente de variedades rojas en la curación ritual.	El maíz ocupa un lugar destacado entre las plantas comestibles mexicanas, formando parte de las comidas diarias como alimento básico, y es el cultivo más importante del país desde la perspectiva alimentaria, económica, política y social.	Carotenoides y flavonoides (flabofenos y antocianinas) principalmente.	No se registran signos de toxicidad.	(Chatham et al., 2019; Geck et al., 2020; Lira et al., 1991)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Commelina coelestis</i> Willd.	Para inducir el parto y combatir las hemorragias post-parto y como antidiarreico.	No se conocen otros usos.	-	Presenta actividad microbiana contra <i>C. albicans</i> .	(Zavala et al., 1997)
<i>Jacobinia umbrosa</i> (Benth.) S.F. Blake	-	-	Estudios demuestran la presencia de alcaloides en los extractos de hojas y tallos.	-	(Sáenz y Nassar, 1965)S
<i>Justicia spicigera</i> Schltld.	Como antidepresivo e inmunoestimulador. También se usa como estimulante, para los cólicos, la inflamación, la sarna y trastornos gastrointestinales.	Las partes aéreas se utilizan en rituales de curación.	Antocianinas, cumarinas, taninos, lignanos, flavonoides, saponinas y esteroides o triterpenos.	Actividades antimicrobianas, antiinflamatorias, reguladores de macrófagos y para reducir el nivel de la glucosa en sangre.	(Awad et al., 2018; Geck et al., 2020; Kitadi et al., 2019)
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	La corteza tiene propiedades medicinales, servido en té en casos de asma, bronquitis, resfriados, diarrea, dolores de cabeza e infecciones de la piel	La madera se utiliza para producir muebles. Los frutos frescos (ricos en vitamina C) son comestibles y empleados para preparar conservas, licores, helados y bebidas.	Compuestos fenólicos, taninos, flavonoides, antraquinonas, triterpenos, cardiotónicos glucósidos y azúcares reductores	No se registran signos de toxicidad aguda.	(Andrade et al., 2018; Geck et al., 2020; Niembro et al., 2010)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Euphorbia pulcherrima</i> Willd. ex Klotzsch	Se utiliza para tratar problemas de la piel, problemas respiratorios, para el embarazo, para el dolor, inflamación, envenenamiento, entre otros.	Planta de ornato de mayor importancia, representa un símbolo de la navidad a nivel internacional.	Alcaloides, esteroles, terpenoides, flavonoides, saponinas y glucósidos.	Efecto antiproliferativos, antimicrobianos, vasoactivos, inmunomoduladores, antiinflamatorios, neuroprotectores y proinflamatorios.	(Ernst et al., 2015; Rauf y Muhammad, 2013)
<i>Tagetes lucida</i> Cav.	Las infusiones de las partes aéreas perfumadas con anís se beben contra los dolores gastrointestinales, infecciones respiratorias y se utilizan como lavados después del parto y en la curación ritual.	Es una importante planta ritual, se cree que protege de las malas influencias. Se usa para producir humo, para limpiar ritualmente las casas de los espíritus malignos.	Los análisis muestran la presencia de cumarinas y flavonoides.	El extracto acuoso de etanol mostró una toxicidad aguda muy baja.	(Geck et al., 2020; Pérez-Ortega et al., 2016)
<i>Haematoxylum campechianum</i> L.	Se utiliza para tratar la anemia, diarrea, disentería, tuberculosis, trastornos menstruales y tópicamente como desinfectante para heridas y úlceras cutáneas.	La madera es usada principalmente para la elaboración de violines y otros artículos.	Se registra una gran variedad de metabolitos secundarios, principalmente galotaninos y flavonoides.	Los resultados de la evaluación de la actividad biológica de los metabolitos secundarios presentes en la corteza validan el uso tradicional de esta planta.	(Ortiz-Hidalgo y Pina-Oviedo, 2019; Sobeh et al., 2020)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	Utilizado como diurético y laxante para tratar parásitos estomacales, así como calmar el dolor de espalda, muelas, hemorroides, reumatismo y cicatrizar heridas.	Su madera tiene uso comercial.	Polifenoles, principalmente ácidos fenólicos, flavonoides, dihidroflavonol y flavonas.	Actividad antibacteriana frente a patógenos en piscicultura.	(Alonso-Castro et al., 2015; Pires et al., 2021; Ribeiro et al., 2017)
<i>Capsicum annum</i> L.	Las frutas frescas y secas de esta especie, se utilizan para una gran variedad de trastornos, particularmente en la curación ritual.	El fruto seco o fresco es gran parte de diferentes platillos mexicanos.	Capsaicina, luteolina, quercetina, α -carotenos y β - carotenoides.	Es reconocido por que su uso suele ser seguro, pero algunas irritaciones fuertes pueden ocurrir.	(Baenas et al., 2018; Geck et al., 2020; Lira et al., 1991)
<i>Hylocereus undatus</i> (Haw.) Britton y Rose	El fruto se utiliza como antibacteriana, ya que contiene ácido gálico. La pulpa se usa en trastornos intestinales como el estreñimiento y los aceites esenciales como laxantes.	El fruto es comestible, su principal uso es en mermeladas, frutos frescos, helados y bebidas. Amplio uso en el mercado cosmético.	Betalaínas (betacianinas y betaxantinas).	Efectos citotóxicos, cardiotónicos y estimulantes para el sistema nervioso.	(Chino, 2020)
<i>Hamelia patens</i> Jacq.	Se usa con fines digestivos, en la menstruación y dermatológicos y; junto con <i>Bombax ellipticum</i> para lograr la esterilidad.	-	Contiene alcaloides de oxindol, glucósidos junto con narirutina y ácidos rosmáticos.	Acción analgésica, diuréticas e hipotérmicas. Actividad inflamatoria, antibacteriana y antifúngica.	(Ahmad et al., 2012; Smith-Oka, 2008)

Tabla 4. (CONTINUACIÓN)

Nombre científico	Propiedades medicinales	Otros usos	Fitoquímica	Actividad biológica	Referencia
<i>Jatropha gossypifolia</i> L.	Se describen varios usos humanos y veterinarios por sus actividades antihipertensivas, antiinflamatorias, analgésicas, antipiréticas, antimicrobianas, cicatrizantes, antianémicas, antidiabéticas y antihemorrágicas.	Se cultiva como cerca para la protección de cultivos agrícolas. Otros usos son la producción de pesticidas, insecticidas e incluso su uso en rituales religiosos.	Alcaloides, cumarinas, flavonoides, lignoides, fenoles, saponinas, esteroides, taninos y terpenoides en diferentes extractos para esta planta.	Presenta baja toxicidad. Sin embargo, el extracto etanólico de las hojas en uso crónico podría ser tóxico.	(Félix-Silva et al., 2014; A. Kumar y Singh, 2012)
<i>Cosmos sulphureus</i> Cav.	Se utiliza para elevar el flujo sanguíneo a través del cuerpo, disminuir el calor corporal, fortalecer la médula ósea, actuar como agente antienvjecimiento, antioxidante y para tratar la enfermedad causada por microorganismos patógenos.	Cultivada ampliamente como planta ornamental.	Alcaloides, fenoles, ácido fenólico, cumarinas, flavonoides, estilbenos, ligninas, lignanos y taninos condensados.	El extracto de las flores presenta propiedades antioxidantes y antihelmínticas.	(Raj et al., 2021)
<i>Cuscuta tinctoria</i> Mart. ex Engelm.	El género <i>Cuscuta</i> se ha utilizado en la medicina tradicional porque presenta actividad antimicrobiana, fúngica, antiinflamatorios, antihelmínticos y hormonales.	Planta parásita de las partes aéreas de otras plantas, incluyendo especies cultivables y matorrales.	3-O- arabinopiranososa de la quercetina, también se confirma la presencia de flavonoides y alcaloides.	-	(García-Bucio et al., 2019; Soto, 2015)
<i>Cuscuta jalapensis</i> Schltld.					

3.3.4 Importancia del conocimiento empírico de las comunidades indígenas

El uso de plantas tintóreas y colorantes naturales es utilizado por comunidades indígenas del país, las cuales en su mayoría elaboran productos artesanales y decorativos (Chan-Bacab et al., 2014), formando parte importante de su economía, a veces siendo su único ingreso. El conocimiento acerca de plantas tintóreas, técnicas de extracción y teñido han pasado de generación en generación (Guirola, 2010) durante muchos años, formando parte de la diversidad que hace a México tan característico por poseer diversas culturas, lenguas y tradiciones.

La difusión del conocimiento de las plantas tintóreas y las técnicas asociadas a la extracción de pigmentos pueden contribuir de diversas maneras a las comunidades rurales, entre ellas, a la conservación de la flora nativa, recuperar las técnicas tradicionales de las regiones y promover un ingreso económico, asegurando el reconocimiento de su actividad artesanal (Cetzal-Ix et al., 2018). Es importante rescatar algunas técnicas de teñido que fortalecen la identidad cultural de los diferentes pueblos y provienen de recursos naturales que son renovables, siempre y cuando sean utilizados de manera sustentable (Hurtado y Arroyo, 2016).

El conocimiento tradicional es el resultado de la observación y la experimentación a lo largo de los años, que ha sido registrado y transmitido a través de generaciones, a través de los códices y las enseñanzas verbales. Las culturas mexicanas no solo han conservado estos conocimientos, sino que los han ampliado. Encontraron el modo de cultivar, seleccionar y mejorar las plantas útiles para hacer uso de ellas (Contreras, 2015). Por lo que es de vital importancia hacer el reconocimiento que tienen estas comunidades por su aporte al conocimiento científico, que muchas veces ha sido ignorado o excluido. Pues gracias a la presencia y conocimiento de estos pueblos, que muchos de los ecosistemas y los recursos que se pueden obtener de ellos se mantienen, pues son estas mismas personas las encargadas de cuidar, preservar y restaurar sus entornos naturales.

3.4. Colorantes naturales de plantas nativas de México

La historia de los colorantes o tintes naturales se remonta a muchos cientos de años (Zerin et al., 2020). Se utilizaban como aditivo en los alimentos, para teñir cuero y fibras textiles como el algodón, la lana y la seda (Samanta y Agarwal, 2009) y, para la elaboración de murales, vasijas y figurillas (Guirola, 2010). El índigo se conoce desde hace más de 5,000 años (Zerin et al., 2020). En la Península de Yucatán se inició el cultivo extensivo de añil a mediados del siglo XVI y jugó una gran importancia socioeconómica por más de 300 años (Schikorr et al., 2019).

Gracias a esto se ha retomado el uso de colorantes naturales los cuales pueden derivarse de plantas, insectos/animales o minerales, y ser usados sin afectaciones para la salud humana (Patel, 2011). De las 35 especies nativas del país que se reportan como tintóreas se pueden

obtener una variedad de colores (Tabla 3), entre ellos los colores rojo, anaranjado, amarillo, café, negro, azul, morado y verde principalmente. Los cuales se emplean para una variedad de actividades entre ellas la textil, como aditivos para los alimentos y en menor medida en la industria cosmética.

Entre los colorantes naturales más utilizados, se encuentra el que se extrae de la semilla de achiote de la cual se pueden obtener tonos que van del rojo al naranja. El añil, que se obtiene de las hojas y se consiguen tonalidades de azul. El cempasúchil, que se obtiene colores amarillos de las flores y la Dalia de la que se pueden obtener colores naranja, amarillo y morado.

El término colorante natural hace referencia a los tintes extraídos de invertebrados, minerales o plantas. La mayor parte obtenidos de estas últimas, y otras fuentes orgánicas como los hongos y líquenes (Barber, 1991). Y pueden ser clasificados de varias maneras, principalmente por su estructura química, según su origen o las fuentes de donde se obtienen (Mansour, 2018).

3.4.1 Clasificación basada en su composición química

Los tintes naturales tienen una constitución química compleja. A diferencia de los tintes sintéticos, por lo general no son una sola entidad, sino una mezcla de compuestos químicos estrechamente relacionados (Saxena y Raja, 2014). Hay grupos de metabolitos con características tintóreas de los cuales no se ha investigados y poco se sabe acerca de su clasificación, pero se dividen principalmente en: índigoides, antraquinonas, naftoquinonas, benzoquinonas, flavonoides, carotenoides, antocianinas y taninos (Vankar, 2000). Algunos de sus principales compuestos tintóreos se pueden observar en la Figura 9.

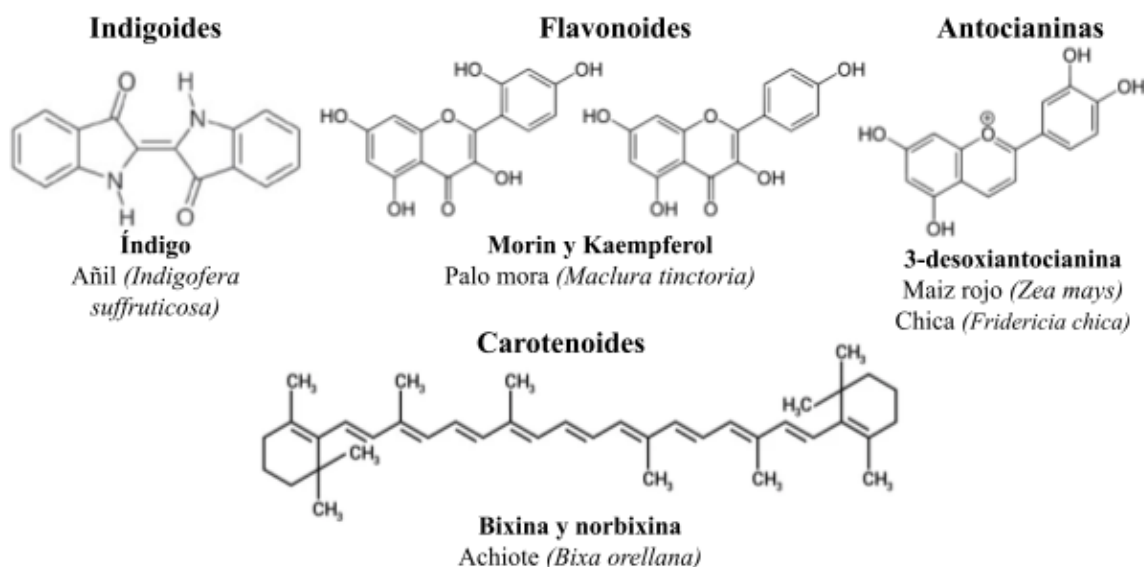


Figura 9. Compuestos tintóreos de plantas mexicanas (Elaborado a partir de Saxena y Raja, 2014; Vankar, 2000).

3.4.2 Clasificación según su origen

Existen principalmente tres fuentes de las que se pueden extraer colorantes naturales, estas son: plantas, animales (moluscos, insectos, etc) y minerales.

Muchas plantas han sido identificadas como potencialmente ricas en contenido de tintes naturales, y algunas de ellas se han utilizado para teñir de forma natural durante bastante tiempo. Diferentes órganos vegetales pueden ser utilizados con este fin, tales como las raíces, tallos, cortezas, hojas, frutos y semillas (Figura 10) pueden contener materiales colorantes, algunas de ellas pueden tener más de un color, dependiendo de qué parte se utilice. El tono que se produce va a variar, según la época de recolección, como se cultivó, las condiciones del suelo, entre otras características (Vankar, 2000).

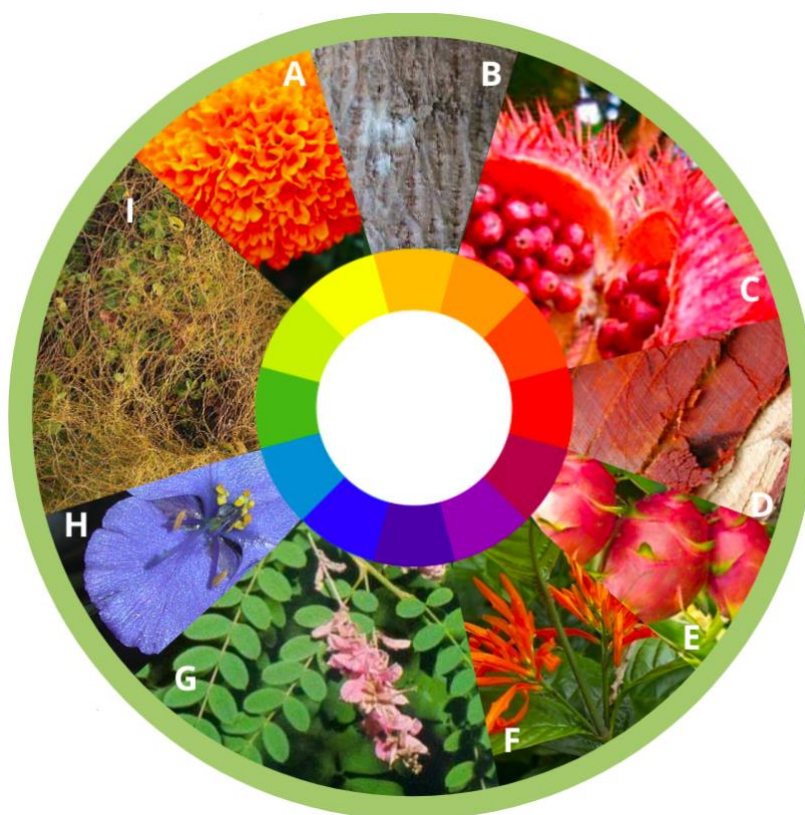


Figura 10. Paleta de color y órganos de plantas de los que se pueden extraer colorantes naturales A. Flores de *Tagetes erecta* L., **B.** Corteza de *Cochlospermum vitifolium* (Willd.) Spreng., **C.** Semillas de *Bixa orellana* L., **D.** Corteza de *Haematoxylum campechianum* L., **E.** Cáscara de *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton y Rose, **F.** Hoja y tallo de *Justicia spicigera* Schltdl., **G.** Hojas de *Indigofera suffruticosa* L. y, **H.** Pétalos de *Commelina coelestis* Willd., **I.** Toda la planta (sin la flor) de *Cuscuta tinctoria* Mart. ex Engelm.

3.4.3 Colores y tonalidades de plantas nativas mexicanas

Las plantas tintóreas brindan una diversidad de colores, los cuales están ampliamente ligados a diversos metabolitos secundarios considerados como pigmentos (alcoholes fenólicos,

antocianinas, antraquinonas, taninos, flavonoides, etc.), encargado en producir la pigmentación. En el caso de las flavonas y los flavonoles, estos son los principales cromóforos en la mayoría de los colorantes amarillos naturales, muchos de los cuales se encuentran en las plantas como derivados del azúcar (glicósidos). Plantas que presentan estos metabolitos (ejemplo, *Cuscuta* sp.), se pueden combinar con tintes rojos para producir diferentes tonos de naranja y con índigo (*Indigofera suffruticosa*), para producir tonos verdes (Manhita et al., 2011). El cempasúchil (*Tagetes erecta*) tiene un potencial similar al de *Cuscuta* sp. para producir tonos amarillos, y lo utilizan mayoritariamente en procesos de doble tinción con índigo para obtener tonos verdes (Franco-Maass et al., 2019).

Estos compuestos, encargados de la pigmentación se encuentran en las diferentes partes de la planta en diversas concentraciones en, las raíces, tallos, hojas, flores, frutos y semillas, obteniendo una variedad de colores, entre ellos: naranja, amarillo, azul, púrpura, rojo, violeta y verde (Cetzal-Ix et al., 2018). Los colorantes de origen vegetal se pueden clasificar de varias maneras, por ejemplo, según su origen, química y las principales tonalidades que producen.

La bixina, es el compuesto tintóreo del achiote (*Bixa orellana*), se encuentra en la cubierta exterior del fruto, y representa más de 80% de los pigmentos presentes, lo cual facilita su extracción; sus componentes principales son: resina, materia colorante amarilla denominada orellina, aceite volátil, aceite graso, y en un 80% la materia colorante roja conocida como bixina. El cual, es un ácido carotenóico de color rojo oscuro (Devia y Saldarriaga, 2003). La quercetina, es el principal cromóforo del colorante amarillo extraído de la planta Zacatlascalli o mata palo (*Cuscuta tinctoria*). La buteina, la quercetina, la luteolina y la sulfuretina también son cromóforos colorantes anaranjados a amarillos dependiendo de los materiales adicionales con los que se mezclen; y se encuentran en las flores de la planta conocida como xochipalli o mirasol amarillo (García-Bucio et al., 2019). La hematoxilina, es un compuesto extraído del duramen del árbol conocido como palo de Campeche y es un colorante natural del cual se obtienen colores como rojo, negro, café, morado y azul (Chan-Bacab et al., 2014; Ortiz-Hidalgo y Pina-Oviedo, 2019).

Un factor a considerar en cuanto a la tonalidad de los colores, es el demostrado por (Hurtado Aramburo y Arroyo Figueroa, 2016), quienes evalúan la medición del color con ayuda del colorímetro y la escala CIElab, demostrando que mientras más concentrado se encuentra el agua de tinción, el tono resulta más fuerte. De igual forma, los tintes naturales de origen vegetal, más comúnmente del grupo de los flavonoides, tienen buena solubilidad en medios ácidos, ya que los glucósidos son resistentes a la hidrólisis ácida, lo que resulta en una mejor extracción de pigmentos. Los medios alcalinos se utilizan en la extracción de compuestos que contienen grupos fenólicos (Kovačević et al., 2021), y presentan mayor afinidad a tintes naturales que a pH ácido. En consecuencia, la baja intensidad de color se debe a la mala unión del metal con el sustrato de celulosa y el tinte natural (Vankar, 2000).

La eficacia de los tintes sobre materiales textiles depende de la estabilidad del complejo tintes-fibras. Las fibras de celulosa muestran poca afinidad frente a los colorantes naturales, lo que provoca dificultades en el proceso de teñido. Las fibras proteicas, por el contrario, muestran una mejor afinidad con los tintes naturales ya que tienen grupos iónicos en su estructura y se unen más fuerte con los tintes naturales que poseen grupos iónicos en la estructura del tinte (Kovačević et al., 2021), obteniendo así colores más intensos y de mayor duración. El mordentado es necesario en las fibras naturales, porque de él depende que éstas no pierdan el color por acción del sol o del agua.

3.5 Potencial de plantas tintóreas y colorantes naturales

En México, existe una amplia diversidad de plantas tintóreas (Cetzal-Ix et al., 2018). Recientemente, ha habido un interés creciente en el rescate del conocimiento tradicional de estas como un medio para preservar las tradiciones locales (Manian et al., 2016) y por razones ambientales. Numerosos estudios han identificado y caracterizado especies colorantes, particularmente de plantas, en diferentes comunidades indígenas las cuales utilizan para la elaboración de su vestimenta tradicional y, en algunas localidades, textiles artesanales, elaborados a partir de fibras de origen vegetal o animal que se elaboran a mano en telar de cintura (zozopaxtle u otate) o en telar colonial y se tiñen con tintes naturales. Dichos textiles pueden tener diversos usos utilitarios o decorativos (Franco-Maass et al., 2019).

Algunas plantas, adicional a su uso tintóreo también pueden aprovecharse por sus propiedades antiinflamatorias, anticonceptivas y analgésicas (Adeel et al., 2018). Por ejemplo, la bixina es el principal apocarotenoide natural extraído de las semillas de *Bixa orellana*, utilizado como colorante cosmético, alimenticio y textil. Los esteroides, carotenoides, flavonoides y otros compuestos extraídos de la corteza de *Cochlospermum vitifolium*, demostraron una disminución de la vasoconstricción, efectos hipoglucémicos y antidiabéticos (Aguilar-Guadarrama y Rios, 2018). Mientras que, el cempasúchil (*Tagetes erecta*) presenta actividad analgésica, y efecto nematocida. Extractos de la raíz demostraron actividad antimicrobiana y antifúngica (Devika y Koilpillai, 2012; Geck et al., 2020).

La revisión bibliográfica identificó al menos 35 materiales colorantes naturales disponibles a lo largo de la república mexicana (Tabla 3). De estas, únicamente 22 especies reportan usos para el teñido textil, de las cuales se pueden obtener una variedad de colores. Sin embargo, son pocas las plantas tintóreas las que se pueden obtener fácilmente. Hay reportes sobre la poca e insuficiente información sobre las plantas tintóreas y su empleo (Siva, 2007), además de la disminución de su uso en las últimas generaciones, posiblemente debido a la dificultad de adquirir estas especies en la localidad y su relativa falta de investigación.

Franco-Maass et al. (2019), reporta que las mujeres de la comunidad de Mazahua, en el Estado de México dependen de proveedores establecidos para la adquisición de colorantes naturales, quienes normalmente venden los tintes a precios elevados. Aunque en la región se puede encontrar de manera silvestre y en cultivo especies tintóreas como la dahlia, zacatlascalli y cempasúchil; la recolección de estas especies para la obtención de colorantes naturales se está perdiendo debido a que toma mucho tiempo su recolección y largos recorridos.

La divulgación del conocimiento de las plantas tintóreas de México y sus técnicas asociadas pueden contribuir al cultivo de estas especies por parte de las comunidades, potenciar su economía con la venta de plantas tintóreas y colorantes naturales y a su vez a la conservación de la flora nativa. Recuperando las técnicas tradicionales de la región y promoviendo el reconocimiento de su actividad artesanal. Las principales especies de las que se extraen colorantes son colectadas de forma silvestre, por lo que también existe una necesidad de la investigación de su cultivo con enfoque a la extracción de colorantes naturales, para una producción sustentable e intensiva que potencie la conservación de las plantas nativas y su aprovechamiento.

3.6 Referencias

- Abubakar, A. N. F., Achmadi, S. S., & Suparto, I. H. (2017). Triterpenoid of avocado (*Persea americana*) seed and its cytotoxic activity toward breast MCF-7 and liver HepG2 cancer cells. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 7(5), 397–400. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.01.010>
- Adeel, S., Abrar, S., Kiran, S., Farooq, T., Gulzar, T., & Jamal, M. (2018). Sustainable application of natural dyes in cosmetic industry. In M. Yusuf (Ed.), *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing* (1st ed., pp. 189–211). Scrivener Publishing LLC. <https://doi.org/10.1002/9781119407850.ch10>
- Agra, M. F., Baracho, G. S., Nurit, K., Basílio, I. J. L. D., & Coelho, V. P. M. (2007). Medicinal and poisonous diversity of the flora of “Cariri Paraibano”, Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(2), 383–395. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.12.007>
- Aguilar-Guadarrama, A. B., & Rios, M. Y. (2018). Flavonoids, sterols and lignans from *Cochlospermum vitifolium* and their relationship with its liver activity. *Molecules*, 23(8). <https://doi.org/10.3390/molecules23081952>
- Ahmad, A., Pandurangan, A., Singh, N., & Ananad, P. (2012). A mini review on chemistry and biology of *Hamelia Patens* (Rubiaceae). *Pharmacognosy Journal*, 4(29), 1–4. <https://doi.org/10.5530/pj.2012.29.1>
- Alonso-Castro, A. J., Domínguez, F., Zapata-Morales, J. R., & Carranza-Álvarez, C. (2015). Plants used in the traditional medicine of Mesoamerica (Mexico and Central America) and the Caribbean for the treatment of obesity. *Journal of Ethnopharmacology*, 175, 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.09.029>
- Alves, J. S. F., de Medeiros, L. A., Fernandes-Pedrosa, M. de F., Araújo, R. M., & Zucolotto, S. M. (2017). Iridoids from leaf extract of *Genipa americana*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(5), 641–644. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.03.006>
- Andrade-Cetto, A., Escandón-Rivera, S. M., Torres-Valle, G. M., & Quijano, L. (2017). Phytochemical composition and chronic hypoglycemic effect of *Rhizophora mangle* cortex on STZ-NA-induced diabetic rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 27(6), 744–750. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2017.09.007>
- Andrade, B. S., Matias, R., Corrêa, B. O., Oliveira, A. K. M., Guidolin, D. G. F., & Roel, A. R. (2018). Fitoquímica, potencial antioxidante e antifúngico de *Byrsonima crassifolia* no controle de fitopatógenos de solo. *Brazilian Journal of Biology*, 78(1), 140–146. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.166532>
- Arroyo-Ortíz, L. (1996). *Tintes naturales mexicanos en la producción de tapiz artístico* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ppt1997/0238352/0238352.pdf>
- Awad, N. E., Abdelkawy, M. A., Abdelrahman, E. H., Hamed, M. A., & Ramadan, N. S. (2018). Phytochemical and in vitro screening of *Justicia spicigera* ethanol extract for antioxidant activity and in vivo assessment against *Schistosoma mansoni* infection in mice. *Anti-Infective Agents*, 16. <https://doi.org/10.2174/2211352516666180126161247>
- Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2018). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.047>
- Barber, E. J. . (1991). *Prehistoric textiles: the development of cloth in the Neolithic and Bronze Ages with special reference to the Aegean*. (1st ed.). Princeton University Press. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HnSlynSfeEIC&oi=fnd&pg=PR9&dq=>

- Prehistoric+Textiles&ots=GDVmLSYTSL&sig=hbl3XpGZ_HG4cYVCw1vLOsc6BmM#v=onepage&q=Prehistoric Textiles&f=false
- Burlacu, E., Nisca, A., & Tanase, C. (2020). A comprehensive review of phytochemistry and biological activities of *Quercus* species. In *Forests* (Vol. 11, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/F11090904>
- Campos, J. K. L., Araújo, T. F. D. S., Brito, T. G. D. S., Da Silva, A. P. S., Da Cunha, R. X., Martins, M. B., Da Silva, N. H., Dos Santos, B. S., Da Silva, C. A., & Lima, V. L. D. M. (2018). *Indigofera suffruticosa* Mill. (Anil): Plant Profile, Phytochemistry, and Pharmacology Review. *Advances in Pharmacological Sciences*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8168526>
- Cardona, J. A., Lopera, G. L., Montoya R., A. M., Montoya V., A. M., Peña A., J. D., Gil M., M., Benavides, J. F., Caicedo R., M. R., Ríos, L. A., & Restrepo V., G. M. (2006). Obtención de oleorresina de pimentón (*Capsicum annum* L.). *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmacéutica*, 13(1), 5–9.
- Casanova-González, E., García-Bucio, A., Ruvalcaba-Sil, J. L., Santos-Vasquez, V., Esquivel, B., Falcón, T., Arroyo, E., Zetina, S., Roldán, M. L., & Domingo, C. (2012). Surface-enhanced Raman spectroscopy spectra of Mexican dyestuffs. *Journal of Raman Spectroscopy*, 43(11), 1551–1559. <https://doi.org/10.1002/jrs.4086>
- Cervantes-Sánchez, M. E., Huicab-Martínez, J. L., García-Vela, J. A., & Vanoye-Eligio, M. (2017). Obtaining a natural dye from the pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth, britton and rose) from the southern region of the state of Campeche. *Mexican Journal of Biotechnology*, 2(2), 65–73. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2017.2.2.65>
- Cetzal-Ix, W., Noguera-Savelli, E., & Zúñiga-Díaz, D. (2018). Plantas tintóreas y su uso en las artesanías de palma jipijapa (*Carludovica palmata* Ruiz & Pav.) en el norte de Campeche, México. *Desde El Herbario CICY*, 10, 17–24.
- Chan-Bacab, M. J., Sanmartín, P., Camacho-Chab, J. C., Palomo-Ascanio, K. B., Huitz-Quimé, H. E., & Ortega-Morales, B. O. (2014). Characterization and dyeing potential of colorant-bearing plants of the Mayan area in Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 91, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.004>
- Chatham, L. A., Paulsmeyer, M., & Juvik, J. A. (2019). Prospects for economical natural colorants: insights from maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(11), 2927–2946. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03414-0>
- Chino Huillca, Y. (2020). *Composición química y efecto terapéutico de Pitahaya (Hylocereus undatus)*. Universidad Privada Autónoma del Sur.
- Contreras Jaimes, B. (2015). *Reconocimiento del Valor Biocultural de la Producción Artesanal a Través Del Intercambio De Saberes* [Universidad Veracruzana]. https://www.uv.mx/met/files/2013/11/ContrerasJaimesBelinda_Junio2015a.pdf
- Cornejo, R. H., Koedam, N., Luna, A. R., Troell, M., & Dahdouh-Guebas, F. (2005). Remote sensing and ethnobotanical assessment of the mangrove forest changes in the Navachiste-San Ignacio-Macapule Lagoon Complex, Sinaloa, Mexico. *Ecology and Society*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.5751/es-01286-100116>
- Cruz, S. M., Marroquín, N., Alvarez, L. E., Chang, D. E., & Cáceres, A. (2015). Evaluation of Mangrove (*Rhizophora mangle* L.) products as coloring, antimicrobial and antioxidant agents. *International Journal of Phytocosmetics and Natural Ingredients*, 2(1), 12. <https://doi.org/10.15171/ijpni.2015.12>
- de Araújo-Júnior, J. X., de Oliveira, M. S. ., Aquino, P. G., Alexandre-Moreira, M. S., & Sant’Ana, A. E. (2012). *Phytochemicals a global perspective of their role in nutrition*

- and health (R. Venketeshwer (ed.)). InTech. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Ti-aDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA327&dq=Erythrina+americana+phytochemistry&ots=WL4KKa0sXB&sig=4kBuF0EhbXL_dU9CqQ2u3AnyRYs#v=onepage&q&f=false
- de Carvalho, A. T., Paes, M. M., Cunha, M. S., Brandão, G. C., Mapeli, A. M., Rescia, V. C., Oesterreich, S. A., & Villas-Boas, G. R. (2020). Ethnopharmacology of Fruit Plants: A Literature Review on the Toxicological, Phytochemical, Cultural Aspects, and a Mechanistic Approach to the Pharmacological Effects of Four Widely Used Species. *Molecules*, 25(17). <https://doi.org/10.3390/molecules25173879>
- Deshmukh, S. ., Shrivastava, B., & Bhajipale, N. . (2018). A Review on Acacia species of therapeutics importance. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Science Archive*, 6(4), 24–34. www.ijpba.in
- Devia Pineda, J. E., & Saldarriaga Calderón, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8–22.
- Devika, R., & Koilpillai, J. (2012). Phytochemical screening studies of bioactive compounds of *Tagetes erecta*. *International Journal of Pharmaceutical and Biological Science Archive*, 3(4), 596–602. www.ijpbs.net
- Dupey García, É. (2015). El color en los códigos prehispánicos del México Central: Identificación material, cualidad plástica y valor estético. *Revista Española de Antropología Americana*, 45(1), 149–166. https://doi.org/10.5209/rev_REAA.2015.v45.n1.52359
- Ernst, M., Grace, O. M., Saslis-Lagoudakis, C. H., Nilsson, N., Simonsen, H. T., & Rønsted, N. (2015). Global medicinal uses of *Euphorbia* L. (Euphorbiaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 176, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.10.025>
- Falcón Álvarez, T. (2014). *Tintes de otoño: experimentación con plantas tintóreas para la reinterpretación de los saberes, tradiciones y usos del color en manuscritos indígenas* [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/UDCC476R3LPSP2DI4PK8RMMFN5D2MASXMXHSXI62187LA98Y31-21045?func=find-b&local_base=TES01&request=plantas+tintóreas&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=
- Félix-Silva, J., Giordani, R. B., Silva-Jr, A. A. Da, Zucolotto, S. M., & Fernandes-Pedrosa, M. D. F. (2014). *Jatropha gossypifolia* L. (Euphorbiaceae): A review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of this medicinal plant. In *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2014/369204>
- Franco-Maass, S., Arredondo-Ayala, G. M., Cruz-Balderas, Y., & Endara-Agramont, A. (2019). The Use of Dye Plants in a Mazahua Community in Central Mexico. *Economic Botany*, 73(1), 13–27. <https://doi.org/10.1007/s12231-018-9431-5>
- Frausin, G., Hidalgo, A. D. F., Braga, R., Lima, S., Kinupp, V. F., Chau, L., Pohlit, A. M., & Milliken, W. (2015). An ethnobotanical study of anti-malarial plants among indigenous people on the upper Negro River in the Brazilian Amazon. *Journal of Ethnopharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2015.07.033>
- Gamboa Ruiz, A. (1999). *Uso tradicional de la Flora en Tres Comunidades de Cuquío, Jalisco y Propiedades Colorantes de algunas especies*. Universidad de Guadalajara.
- García-Bucio, M. A., Maynez-Rojas, M. Á., Casanova-González, E., Cárcamo-Vega, J. J., Ruvalcaba-Sil, J. L., & Mitrani, A. (2019). Raman and surface-enhanced Raman

- spectroscopy for the analysis of Mexican yellow dyestuff. *Journal of Raman Spectroscopy*, 50(10), 1546–1554. <https://doi.org/10.1002/jrs.5729>
- García-Mateos, R., Soto-Hermindez, M., & Vibrans, H. (2001). *Erythrina americana miller* ("Colorin"; fabaceae), a versatile resource from Mexico. *Economic Botany*, 55(3), 391–400. www.mobot.org/MOBOT/
- Gaviria Mejía, M. A., & Mejía Aguas, M. C. (2012). Evaluación de la extracción de colorantes de lasemilla de aguacate como negocio para la región Antioqueña. In *Escuela de Ingenieria Antioquia* (Vol. 5, Issue 1). Escuela de Ingenieria Antioquia.
- Geck, M. S., Cristians, S., Berger-González, M., Casu, L., Heinrich, M., & Leonti, M. (2020). Traditional Herbal Medicine in Mesoamerica: Toward Its Evidence Base for Improving Universal Health Coverage. *Frontiers in Pharmacology*, 11(July). <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.01160>
- Guirola, C. (2010). Tintes naturales, su uso en Mesoamérica desde la época prehispánica. In *Asociacion Flaar Mesoamericana*.
- Guzmán, F. A., Segura-Ledesma, S. D., & Almaguer-Vargas, G. (2020). Black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.): A multipurpose tree with forestry potential in Mexico. *Madera y Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611866>
- Halbwirth, H., Muster, G., & Stich, K. (2008). Unraveling the Biochemical Base of Dahlia Flower Coloration. *Natural Product Communications*, 3(8), 1259–1266.
- Hernández-Villegas, M. M., Borges-Argáez, R., Rodríguez-Vivas, R. I., Torres-Acosta, J. F. J., Méndez-Gonzalez, M., & Cáceres-Farfan, M. (2011). Ovicidal and larvicidal activity of the crude extracts from *Phytolacca icosandra* against *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*, 179(1–3), 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.02.019>
- Hurtado Aramburo, E. A., & Arroyo Figueroa, G. (2016). Teñido De Fibras Naturales Con Colorantes Naturales. *Jovenes En La Ciencia*, 2(1), 1976–1980.
- Hussain, M. M., Tuhin, M. T. H., Akter, F., & Rashid, M. A. (2016). Constituents of *Erythrina* - a Potential Source of Secondary Metabolites: A Review. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 19(2), 237–253. <https://doi.org/10.3329/bpj.v19i2.29287>
- Iwuala, E., & Alam, A. (2017). Effects of Simulated Drought Stress on Secondary Metabolite Production in Red Mangrove (*Rhizophora mangle* L.; Rhizophoraceae). *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 15(1), 1–6. <https://doi.org/10.9734/jabb/2017/36300>
- Kabir Khanzada, S., Khanzada, A. K., Shaikh, W., Syed, A., & Ali, A. (2013). Phytochemical studies on *Pithecellobium dulce* Benth. A medicinal plant of Sindh, Pakistan. In *Pak. J. Bot* (Vol. 45, Issue 2).
- Kitadi, J. M., Lengbiye, E. M., Gbolo, B., Inkoto, C., Muanyishay, C. L., Lufuluabo, G. L., & Mpiana, P. T. (2019). *Justicia secunda* Vahl species : Phytochemistry, Pharmacology and Future Directions : a mini-review. *Discovery Phytomedicine*, 6(4). <https://doi.org/10.15562/phytomedicine.2019.93>
- Kovačević, Z., Sutlović, A., Matin, A., & Bischof, S. (2021). Natural dyeing of cellulose and protein fibers with the flower extract of *Spartium junceum* L. *Plant. Materials*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/ma14154091>
- Kumar, A., & Singh, N. (2012). *Jatropha gossypifolia* L.: A potential genetic resource for herbal dye. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(5), 949–954. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9815-9>
- Kumar, P., Agnihotri, R., Wasewar, K. L., Uslu, H., & Yoo, C. K. (2012). Status of adsorptive

- removal of dye from textile industry effluent. *Desalination and Water Treatment*, 50(1–3), 226–244. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.719472>
- Lim, T. K. (2014). *Dahlia coccinea*. In *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants* (pp. 329–332). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7395-0_21
- Lira, R., Casas, A., & Blancas, J. (1991). *Ethnobotany of México Interactions of People and Plants in Mesoamerica* (R. Voeks & J. R. Stepp (eds.); Springer, Vol. 45). Springer.
- Manhita, A., Ferreira, T., Candeias, A., & Dias, C. B. (2011). *Extracting natural dyes from wool — an evaluation of extraction methods*. 1501–1514. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-4858-x>
- Manian, A. P., Paul, R., & Bechtold, T. (2016). Metal mordanting in dyeing with natural colourants. *Coloration Technology*, 132(2), 107–113. <https://doi.org/10.1111/cote.12199>
- Mansour, R. (2018). Natural dyes and pigments: Extraction and applications. *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing*, 75–102. <https://doi.org/10.1002/9781119407850.ch5>
- Moghadamtousi, S. Z., Goh, B. H., Chan, C. K., Shabab, T., & Kadir, H. A. (2013). Biological activities and phytochemicals of *Swietenia macrophylla* king. *Molecules*, 18(9), 10465–10483. <https://doi.org/10.3390/molecules180910465>
- Nehra, K., Singh Duhan Chaudhary Devi, J., Kumar, M., & Duhan, J. (2013). Phytochemical analysis and antimicrobial efficacy of leaf extracts of *Pithecellobium dulce* Augmentation of phenolics and antioxidant activity of *Oryza sativa* and *Lablab purpureus* by solid state fermentation with *Aspergillus* spp. View project Development of efficient polyhydroxybutyrate producing bacteria for their potential application in the production of biodegradable polyesters View project Phytochemical analysis and antimicrobial efficacy of leaf extracts of *Pithecellobium dulce*. In *Article in Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. <https://www.researchgate.net/publication/260613163>
- Niembro Rocas, A., Vázquez Torres, M., & Sánchez Sánchez, O. (2010). *Árboles de Veracruz : 100 especies para la reforestación estratégica* (Primera Ed). Secretaria de Educación-Gobierno de Estado de Veracruz. https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/ArbolesVeracruz100especies.pdf
- Nitaraska, D., Stefanini, C., Haselmair-Gosch, C., Miosic, S., Walliser, B., Mikulic-Petkovsek, M., Regos, I., Slatnar, A., Debener, T., Terefe-Ayana, D., Vilperte, V., Hadersdorfer, J., Stich, K., & Halbwirth, H. (2018). The rare orange-red colored *Euphorbia pulcherrima* cultivar “Harvest Orange” shows a nonsense mutation in a flavonoid 3'-hydroxylase allele expressed in the bracts. *BMC Plant Biology*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1424-0>
- O’Gorman, H. (1963). *Plantas y flores de México* (1° edición). Universidad Nacional Autónoma de México, Dirección General de Publicaciones.
- Ordaz-Galindo, A., Wesche-Ebeling, P., Wrolstad, R. E., Rodriguez-Saona, L., & Argaiiz-Jamet, A. (1999). Purification and identification of Capulin (*Prunus serotina* Ehrh) anthocyanins. *Food Chemistry*, 65(2), 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00196-4)
- Ordóñez Vivanco, P., Vega Esperanza, M., & Malagón Avilés, O. (2006). Phytochemical study of native plant species used in tradicional medicine in Loja province. *Lyonia Journal*, 10(2), 65–71. <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.402.1>

- Ortiz-Hidalgo, C., & Pina-Oviedo, S. (2019). Hematoxylin: Mesoamerica's Gift to Histopathology. Palo de Campeche (Logwood Tree), Pirates' Most Desired Treasure, and Irreplaceable Tissue Stain. *International Journal of Surgical Pathology*, 27(1), 4–14. <https://doi.org/10.1177/1066896918787652>
- Pacheco, S. D. G., Gasparin, A. T., Jesus, C. H. A., Sotomaior, B. B., Ventura, A. C. S. S. B., Redivo, D. D. B., Cabrini, D. D. A., Gaspari Dias, J. D. F., Miguel, M. D., Miguel, O. G., & Da Cunha, J. M. (2019). Antinociceptive and Anti-Inflammatory Effects of Bixin, a Carotenoid Extracted from the Seeds of *Bixa orellana*. *Planta Medica*, 85(16), 1216–1224. <https://doi.org/10.1055/a-1008-1238>
- Patel, B. H. (2011). Natural dyes. In *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes* (Vol. 1). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857093974.2.395>
- Pérez-Ortega, G., González-Trujano, M. E., Ángeles-López, G. E., Brindis, F., Vibrans, H., & Reyes-Chilpa, R. (2016). *Tagetes lucida* Cav.: Ethnobotany, phytochemistry and pharmacology of its tranquilizing properties. *Journal of Ethnopharmacology*, 181, 221–228. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.01.040>
- Pires, L. da C., Rodrigues, P., Garlet, Q. I., Barbosa, L. B., da Silveira, B. P., Junior, G. B., Silva, L. de L., Gindri, A., Coldebella, R., Pedrazzi, C., de Vargas, A. P. C., Baldisserotto, B., & Heinzmann, B. M. (2021). *Maclura tinctoria* extracts: In vitro antibacterial activity against aeromonas hydrophila and sedative effect in Ehamdia Quelen. *Fishes*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/fishes6030025>
- Prado, J. M., Veggi, P. C., Náthia-Neves, G., & Meireles, M. A. A. (2018). Extraction Methods for Obtaining Natural Blue Colorants. *Current Analytical Chemistry*, 16(5), 504–532. <https://doi.org/10.2174/1573411014666181115125740>
- Raddatz-Mota, D., León-sánchez, D. De, De, D. E. L. R., & Whitaker, S. (2016). *Chemical characterization and Quantification of the Pigment of Bixa orellana*. 52(55).
- Raj, A. K., Bisht, L. K., Visaga, D., & Chandy, V. (2021). Pharmacological Activity of *Cosmos sulphureus*. *International Research Journal of Pharmaceutical and Biosciences*, 5(7). <http://www.irjpbs.com-issn>
- Rauf, A., & Muhammad, N. (2013). Phytochemical and pharmacological evaluation of aerial parts of *Euphorbia pulcherrima* L. In *Wudpecker Journal of Pharmacy and Pharmacology* (Vol. 2, Issue 2).
- Ren, X., He, T., Chang, Y., Zhao, Y., Chen, X., Bai, S., Wang, L., Shen, M., & She, G. (2017). The genus *Alnus*, a comprehensive outline of its chemical constituents and biological activities. In *Molecules* (Vol. 22, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/molecules22081383>
- Reynoso-Santos, R., García-Mendoza, A. J., López-Báez, W., López-Luna, A., Cadena Iñiguez, P., Pérez-Farrera, M. A., & Domínguez Gutiérrez, M. H. (2012). Identificación taxonómica de agaves (*Agave* spp.) utilizados para la elaboración del licor Comiteco en Chiapas, México. *AGRO Productividad*, 9–17. www.tegrafik.com
- Ribeiro, R. V., Bieski, I. G. C., Balogun, S. O., & Martins, D. T. de O. (2017). Ethnobotanical study of medicinal plants used by Ribeirinhos in the North Araguaia microregion, Mato Grosso, Brazil. *Journal of Ethnopharmacology*, 205(May), 69–102. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.04.023>
- Rodríguez-Pérez, M., Martínez, J. M., Rivero, L. R., Álvarez, H. M. H., Valdez, A. F. C., Rodríguez, D. A., Lizama, R. S., & Payrol, J. A. (2006). Evaluación de la actividad antimalárica de algunas plantas utilizadas en la medicina tradicional cubana. *Revista de*

- Ciencias Farmaceuticas Basica e Aplicada*, 27(3), 197–205.
- Rodríguez-Vázquez, R., Sánchez, S., Mena-Espino, X., & Amezcua-Allieri, M. A. (2016). Identification of the medicinal plant species with the potential for remediation of hydrocarbons contaminated soils. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(1). <https://doi.org/10.1007/s11738-015-2036-z>
- Rzedowski, G. C. & J. Rzedowski, et al. (2005). Flora Fanerogámica del Valle de México. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (2a. ed. 1a, Issue 9). Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sáenz, J. A., & Nassar, M. (1965, June 5). Phytochemical Screening of Costa Rican Plants: Alkaloid analysis. *Rev. Biol. Trop.*, 13(2), 207–212.
- Samanta, A. K., & Agarwal, P. (2009). Application of natural dyes on textiles. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34(4), 384–399.
- Saxena, S. & Raja, S. . (2014). *Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues*. Textile Science and Clothing Technology. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-065-0>
- Schikorr, F., de Stefano, R. D., & Cetzal-Ix, W. (2019). The genus Indigofera (Fabaceae) in the Yucatán Peninsula, Mexico: Plants of dye value. *Acta Botanica Mexicana*, 126. <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1366>
- Seigler, D. S. (2003). Phytochemistry of Acacia - Sensu lato. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31(8), 845–873. [https://doi.org/10.1016/S0305-1978\(03\)00082-6](https://doi.org/10.1016/S0305-1978(03)00082-6)
- Singh, P., Tanwar, N., Saha, T., Gupta, A., & Verma, S. (2018). Phytochemical Screening and Analysis of Carica papaya, Agave americana and Piper nigrum. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(2), 1786–1794. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.216>
- Siva, R. (2007). Status of natural dyes and dye-yielding plants in India. *Current Science*, 92(7), 916–925.
- Smith-Oka, V. (2008). Plants Used for Reproductive Health by Nahua Women in Northern Veracruz, Mexico. *Economic Botany*, 62(4), 604–614.
- Sobeh, M., Mahmoud, M. F., Rezaq, S., Abdelfattah, M. A. O., Mostafa, I., Alsemeh, A. E., El-Shazly, A. M., Yasri, A., & Wink, M. (2020). Haematoxylon campechianum extract ameliorates neuropathic pain via inhibition of NF-κB/TNF-α/NOX/iNOS signalling pathway in a rat model of chronic constriction injury. *Biomolecules*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/biom10030386>
- Soto Ruiz, T. C. (2015). *Aislamiento y caracterización del colorante derivado del Zacatluxcalli (Cuscuta tinctoria Martius)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Telichowska, A., Kobus-cisowska, J., & Szulc, P. (2020). Phytopharmacological possibilities of bird cherry prunus padus l. And prunus serotina l. species and their bioactive phytochemicals. *Nutrients*, 12(7), 1–21. <https://doi.org/10.3390/nu12071966>
- Thatoi, H., Samantaray, D., & Das, S. K. (2016). The genus Avicennia, a pioneer group of dominant mangrove plant species with potential medicinal values: a review. *Frontiers in Life Science*, 9(4), 267–291. <https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1235619>
- Trueba Sánchez, S. (2009). Plantas tintóreas utilizadas en artesanías textiles de lana de Soledad Atzompa, Veracruz. *Reporte de Investigación Etnobotánica Realizada Para El Consejo Veracruzano de Arte Popular. VEJAR, August*, 1–37.
- Vankar, P. S. (2000). Chemistry of natural dyes. *Resonance*, 5(10), 73–80. <https://doi.org/10.1007/bf02836844>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista Mexicana*

- de Biodiversidad*, 87(3), 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Zavala, M. A., Pérez, S., & Pérez, R. M. (1997). Antimicrobial Screening of Some Medicinal Plants. In *Phytother. Res* (Vol. 11).
- Zerin, I., Farzana, N., Sayem, A. S. M., Anang, D. M., & Haider, J. (2020). Potentials of Natural Dyes for Textile Applications. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 2, 873–883. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11668-6>

IV. Evaluación de los pigmentos extraídos de las semillas de *Bixa orellana* L. y *Persea americana* Mill. en el teñido textil.

Resumen

El aguacate es una fruta comestible que presenta una semilla voluminosa considerada desperdicio orgánico y de la que se puede extraer un colorante que sirve para teñir tejidos naturales y alimentos. El achiote también es una semilla ampliamente conocida en diferentes industrias y de la cual se puede extraer uno de los colorantes más conocidos y de mayor aplicación. Se extrajo el pigmento de las semillas de *Bixa orellana* L., *Persea americana* Mill., y *Curcuma longa* (como control) para evaluar su comportamiento con respecto al cambio de pH y analizar el rendimiento y pigmentación en el teñido de fibras naturales. Se obtuvo un rendimiento del 15% del pigmento de cada especie, con lo que se logró llevar a cabo el proceso de teñido, habiendo una diferencia en la tonalidad del color al cambio de pH. El uso de los colorantes naturales de estas especies es una opción viable y económica, sin embargo, se requiere de mayor estudio para mejorar el rendimiento en la extracción y pigmentación.

Introducción

Los colorantes han sido utilizados a través del tiempo para la tinción de alimentos, bebidas y fibras. Antes del desarrollo de la industria de colorantes sintéticos, el teñido de fibras se hacía con extractos de colorantes naturales, llamadas especies tintóreas (Hurtado y Arroyo, 2016). Poco a poco el uso de plantas para obtener pigmentos ha sido reemplazado por los colorantes sintéticos (Adeel et al., 2018). La contaminación generada por las industrias textiles a los cuerpos de agua ha ocasionado efectos perjudiciales para la vida acuática y humana (Kumar et al., 2012). Por lo que, se ha investigado el uso de colorantes naturales con la finalidad de proporcionar alternativas para teñir biodegradablemente, no tóxicas y renovables porque causan un menor impacto al medio ambiente (Samanta y Agarwal, 2009; Siva, 2007).

México tiene una extensa historia en el uso de colorantes naturales para la tinción de textiles artesanales y diversas artesanías, en la que figuran el uso de 90 especies vegetales tanto nativas como introducidas que se utilizan para la extracción de colorantes (Contreras, 2015). Entre las especies más reportadas para el uso textil se encuentran *Indigofera suffruticosa* Mill., *Cuscuta tinctoria* Mart. ex Engelm y *Haematoxylum campechianum* L. (Chan-Bacab et al., 2014; Franco-Maass et al., 2019; García-Bucio et al., 2019). Sin embargo, la obtención de estas especies y de sus pigmentos es limitada, abriendo oportunidad a especies tintóreas mexicanas potenciales para el pigmento de textiles.

Lo que hace importante el estudio y divulgación de las técnicas de teñido, así como de las especies vegetales nativas de las que se pueden extraer pigmentos; para fortalecer la identidad cultural de los diferentes pueblos, apoyar a su conservación, reconocer su actividad artesanal al mismo tiempo que se promueve el uso sustentable de las especies vegetales nativas de México.

Considerando los reportes sobre dos especies de interés el aguacate (*P. americana*) y el achiote (*B. orellana*), en los que se registran como fuentes de pigmentos naturales, y su uso en textiles. En el caso del aguacate el órgano vegetal del que se extrae el colorante son las

semillas, las cuales son consideradas desechos y se pueden utilizar para la extracción de pigmento. El objetivo de esta investigación fue evaluar el pigmento de las semillas de achiote (*Bixa orellana*) y aguacate (*Persea americana*) y analizar su tinción en el teñido de fibras naturales de origen vegetal.

Achiote (*B. orellana*) Clasificación clásica (*Cronquist, 1981*)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Malvales

Familia: Bixaceae

Género: *Bixa*

Especie: *Bixa orellana* L.

El achiote es un árbol perenne que puede alcanzar los nueve metros de altura con flores blancas o rosadas y frutos en forma de cápsulas ovoides globosas. Cada cápsula puede contener de 30 a 45 semillas ovoides o cónicas cubiertas por una fina capa rojo-anaranjada Raddatz-mota, et al., 2017.

Aguacate (*P. americana*) Clasificación clásica (*Cronquist, 1981*)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Laurales

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Especies: *Persea americana* Mill.

En estado silvestre, el árbol puede alcanzar alturas de alrededor de 20 m, más comúnmente entre 8 y 12 m, y un diámetro a la altura del pecho de 30-60 cm, con tronco erecto o torcido. El tronco posee una corteza gris-verdosa con fisuras longitudinales. Las hojas, alternas con pecíolo de 2 a 5 cm. El fruto es una baya oval o piriforme, según la variedad, de tamaño muy variado (7 a 33 cm de largo y hasta 15 cm de ancho), cáscara de color verde a púrpura oscuro, pudiendo ser delgada, gruesa, lisa o ligeramente rugosa. Contiene una semilla grande (5 a 6.4 cm), dura y pesada, redonda o puntuda, de color marfil.

Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el pigmento de las semillas de achiote (*Bixa orellana*) y aguacate (*Persea americana*) y analizar su tinción en el teñido de fibras naturales de origen vegetal.

Objetivos particulares

- Extraer el colorante natural de *Bixa orellana* L., y *Persea americana* Mill por medio de una extracción sólido-líquido.

- Evaluar la extracción del pigmento y su comportamiento como tinte con respecto al pH.
- Conocer y analizar el comportamiento y pigmentación (color) en fibras naturales
- Realizar un análisis del color sobre la tinción de fibras naturales.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Se utilizó el material seco de tres especies vegetales. Dos nativas de México y cúrcuma que es una especie introducida, utilizada como control, debido a sus pigmentos característico y a su uso en la tinción de fibras naturales.



Achiote

Nombre científico: *Bixa orellana* L.

Órgano usado: semillas

Lugar procedencia: Francisco J. Mújica, Comitán de Domínguez, Chiapas



Aguacate

Nombre científico: *Persea americana* Mill.

Órgano usado: semilla

Lugar procedencia: Michoacán, México.



Curcuma

Nombre científico: *Curcuma longa* L.

Órgano usado: raíz pulverizada

Lugar de procedencia: Pontino ®

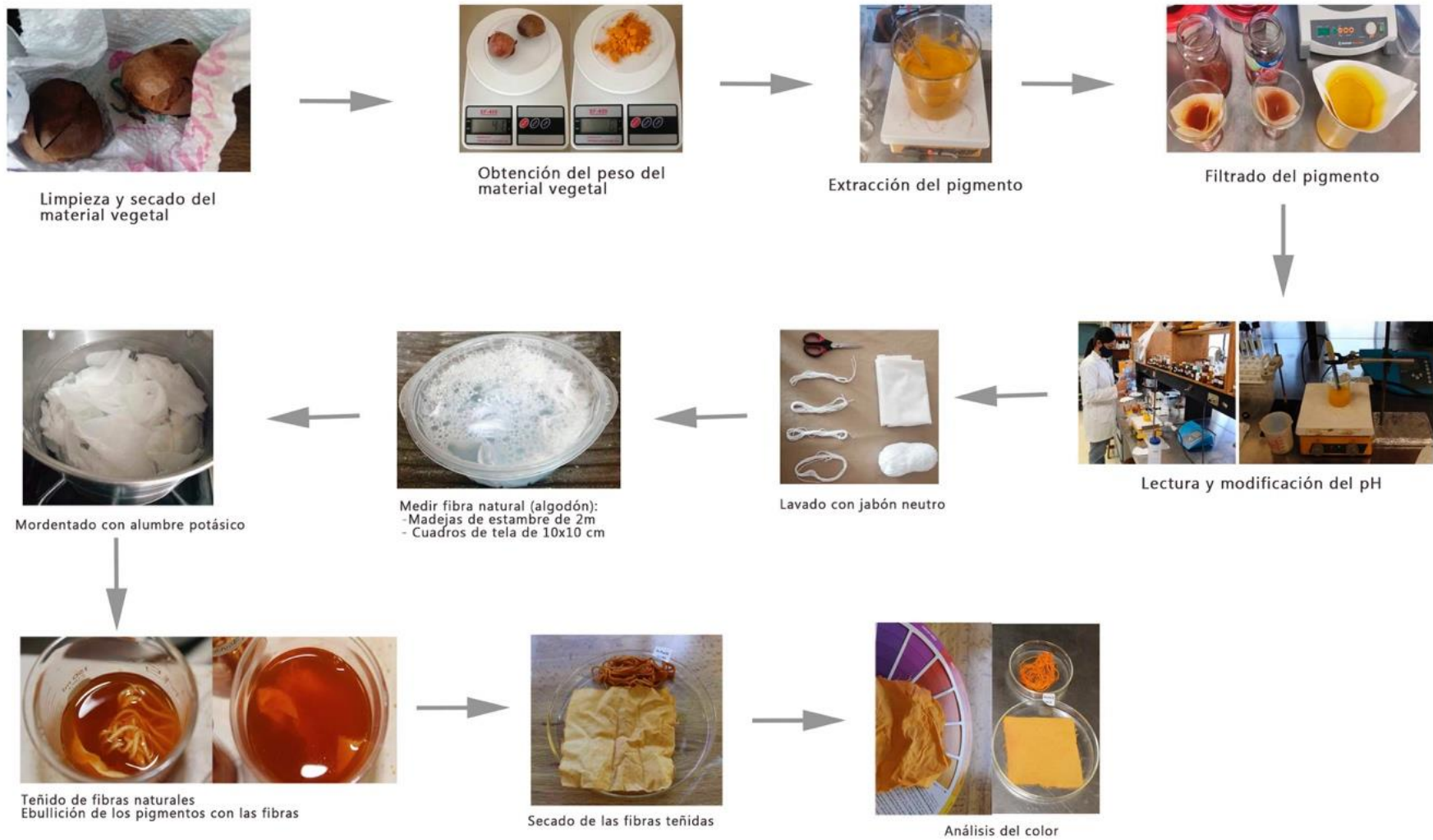


Figura 11. Proceso de extracción de pigmentos naturales y teñido de fibras de origen vegetal (Elaboración propia a partir del método modificado de (Hurtado y Arroyo, 2016; Kovačević et al., 2021).

Extractos

Se obtuvieron extractos a partir de 12 g de material vegetal seco en 500mL de agua destilada. Para la extracción del pigmento, se maceraron los extractos durante 24 horas , se llevó a punto de ebullición por 30 minutos y se filtraron.

Evaluación de color en los extractos

La comparación de coloración de los extractos se realizó para cada muestra vegetal; se tomaron fotografías digitales para comparar el color obtenido de acuerdo al tratamiento al que se sometió cada tela (tabla 5).

Tinción

La tinción de las telas se llevó a cabo con las fibras vegetales previamente mordentadas con alúmbre potásico durante 30 minutos (Figura 11), posteriormente se colocaron en 75 mL del colorante hasta alcanzar su punto de ebullición por 30 min.

Análisis del color

El análisis del color obtenido en las fibras naturales se realizó mediante fotos digitales a las telas y estambres teñidos con los pigmentos naturales. Las fotografías se tomaron con una caja de luz y una cámara tipo réflex de la marca Canon. A cada imagen con las telas teñidas se tomó cuatro puntos diferentes y mediante el software Photoshop, se obtuvo el valor promedio de RGB. Con el mismo software se buscó el código de tono digital de cada colorante, a partir de los cuales se creó una paleta de color.

El tono del color adquirido se comparó con la escala de color ATOMUS para identificar los pigmentos extraídos.

El rendimiento de la pigmentación de cada colorante se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{w_i - w_f}{w_i} * 100 \text{ (1)}$$

Donde %R hace referencia al porcentaje de rendimiento, w_i es el peso inicial y w_f es la cantidad final en ml después de obtener el extracto.

Posteriormente, se analizaron los espectros de absorción de los colorantes obtenidos a los diferentes tratamientos a los que fueron sometidos con un espectrofotómetro Spectronic Instruments Inc.® Modelo Genesys 5 tomando las lecturas a una absorbancia entre los 400 a los 700 nm.

Tratamientos y análisis estadístico

Los tratamientos hacen referencia a diferentes valores de pH siguiendo la tabla 5, tipo de fibra (estambre y tela 100% algodón) y la variación entre especies (cúrcuma, achiote y aguacate).

Tabla 5. Tratamientos empleados para el cambio de pH para cada especie y colorante.

Muestra	Órgano vegetal	Pigmento	Tratamiento
0 (CONTROL)	Raíz en polvo	Cúrcuma	Cúrcuma + H ₂ O Cúrcuma + H ₂ O + ácido acético Cúrcuma +H ₂ O + bicarbonato de sodio
1	Semilla	Aguacate	Aguacate + H ₂ O Aguacate + H ₂ O + ácido acético Aguacate +H ₂ O + bicarbonato de sodio
2	Semilla	Achiote	Achiote + H ₂ O Achiote + H ₂ O + ácido acético Achiote +H ₂ O + bicarbonato de sodio

Los valores de RGB de cada tonalidad se convirtieron a valores hexadecimales para realizar un análisis de varianza con un diseño experimental completamente al azar y comparaciones de medias de Tukey ($\alpha= 0.05$). Las variables de clasificación fueron los tratamientos con respecto al pH y la variable respuesta los valores de RGB.

Resultados y discusión

Se obtuvieron satisfactoriamente los pigmentos de las especies mexicanas (aguacate y achiote) y de la cúrcuma utilizada como muestra control. Y se pudo obtener color en la tinción de fibras naturales.

El rendimiento del pigmento fue del 15% aproximadamente para cada especie vegetal, lo que coincide con lo reportado por (Hurtado y Arroyo, 2016), con respecto al peso de la fibra, con lo que se logró obtener el colorante suficiente para el proceso de teñido.

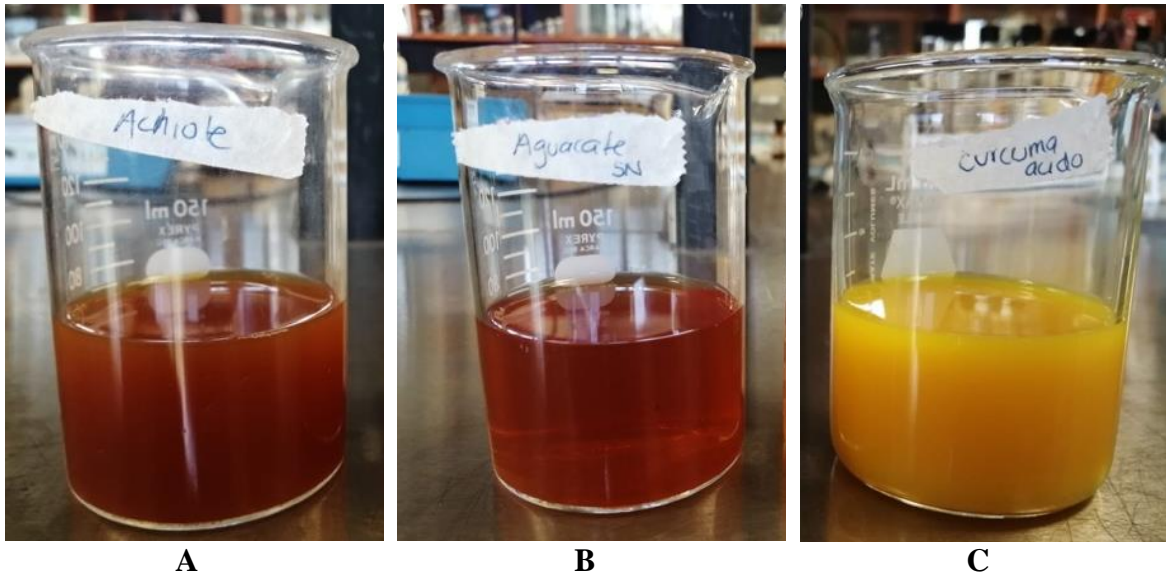


Figura 12. Extractos de pigmentos: A) achiote B) aguacate y C) cúrcuma.

Comportamiento del pigmento

Los pigmentos obtenidos mostraron diversidad de colores y tonalidades. De la cúrcuma el color obtenido fue amarillo, coincidiendo con lo reportado por (Ríos et al., 2009), de la semilla de achiote, se obtuvo un color rojo mencionado por (Devia y Saldarriaga, 2003) y, de la semilla de aguacate fue de color naranja, similar a lo descrito por (Almanza et al., 2019; Devia y Saldarriaga, 2003; Gaviria y Mejía, 2012).

Hubo diferencias entre especies, principalmente en los colores observados esta diversidad puede deberse a los diversos metabolitos secundarios que presentan. El pigmento obtenido de la cúrcuma y el achiote fue más concentrado que el de la semilla de aguacate. La respuesta del color también se vio reflejada con respecto a las tonalidades obtenidas en cada especie, como se observa en la Figura 13 esta respuesta se atribuye a la modificación del pH.

El pH obtenido de las especies fue: de la cúrcuma 7.06, achiote 7.5 y aguacate 5.6. Las primeras dos fueron las especies que mostraron un comportamiento similar, ya que al cambio de pH a ácido los tonos aclararon su color, mientras que las bases aumentaron en tonalidad. En cambio, con el aguacate, la modificación de su pH a ácido aumentó la fijación del color mientras que con la base el tono adquirido fue menor, casi parecido al tono obtenido sin modificar el pH.

En la cúrcuma se obtuvieron resultados similares (Figura 13), ya que a en medio ácido pH 3.56, se obtuvo un color amarillo. Sin embargo, hubo una diferencia en cuanto al cambio de pH a básico 7.98, pues si bien cambió el color de amarillo a naranja, no llegó al tono reportado por Ríos et al., (2009), con lo que se observa se podría requerir un pH más básico para hacer el cambio de color a rojo. Los pigmentos obtenidos coinciden con lo descrito por otros autores con respecto a la obtención de color y tonalidad Ríos et al. (2009), quienes mencionan que de la raíz de la cúrcuma se puede obtener un colorante amarillo en medio ácido (pH 2,5 y 7) y que existe una variación al cambio de pH básico (>7), obteniendo colores rojos.

Los resultados obtenidos del colorante extraído de la semilla de aguacate fueron, con bicarbonato de sodio a pH básico de 7.99, siendo el color más oscuro obtenido, un tono naranja ladrillo, con ácido acético a pH de 3.51 se obtuvo un color durazno claro. Hennessey-Ramos et al., (2019), quien examinó el color obtenido mediante el análisis de las coordenadas CIELab de los extractos, mencionan que la extracción más eficiente fue con hidróxido de sodio (pH 13) obteniendo un color negro, seguida de la extracción con alcohol (pH de 5.8) donde se obtuvo un color durazno, similar al color obtenido; y la de menor rendimiento se reportó con agua destilada (pH 5.1) con un color beige.

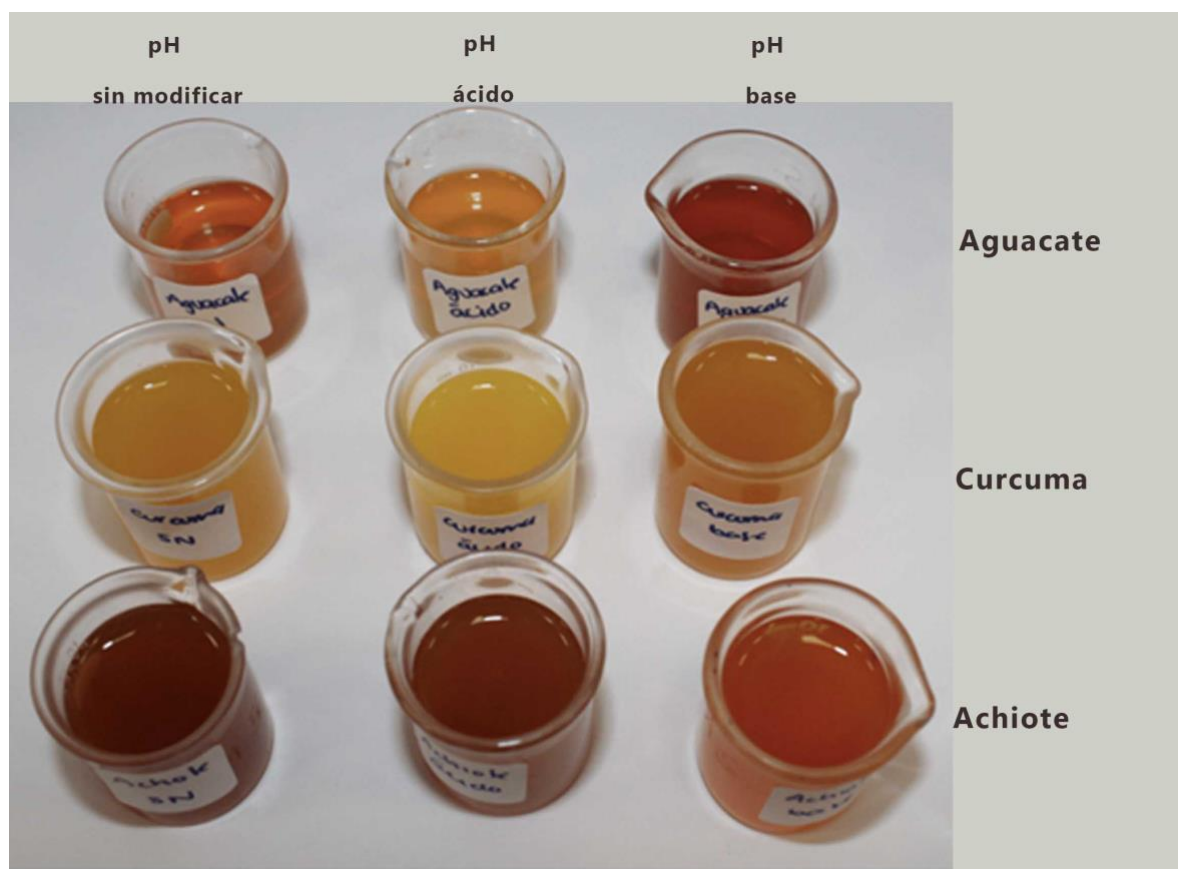
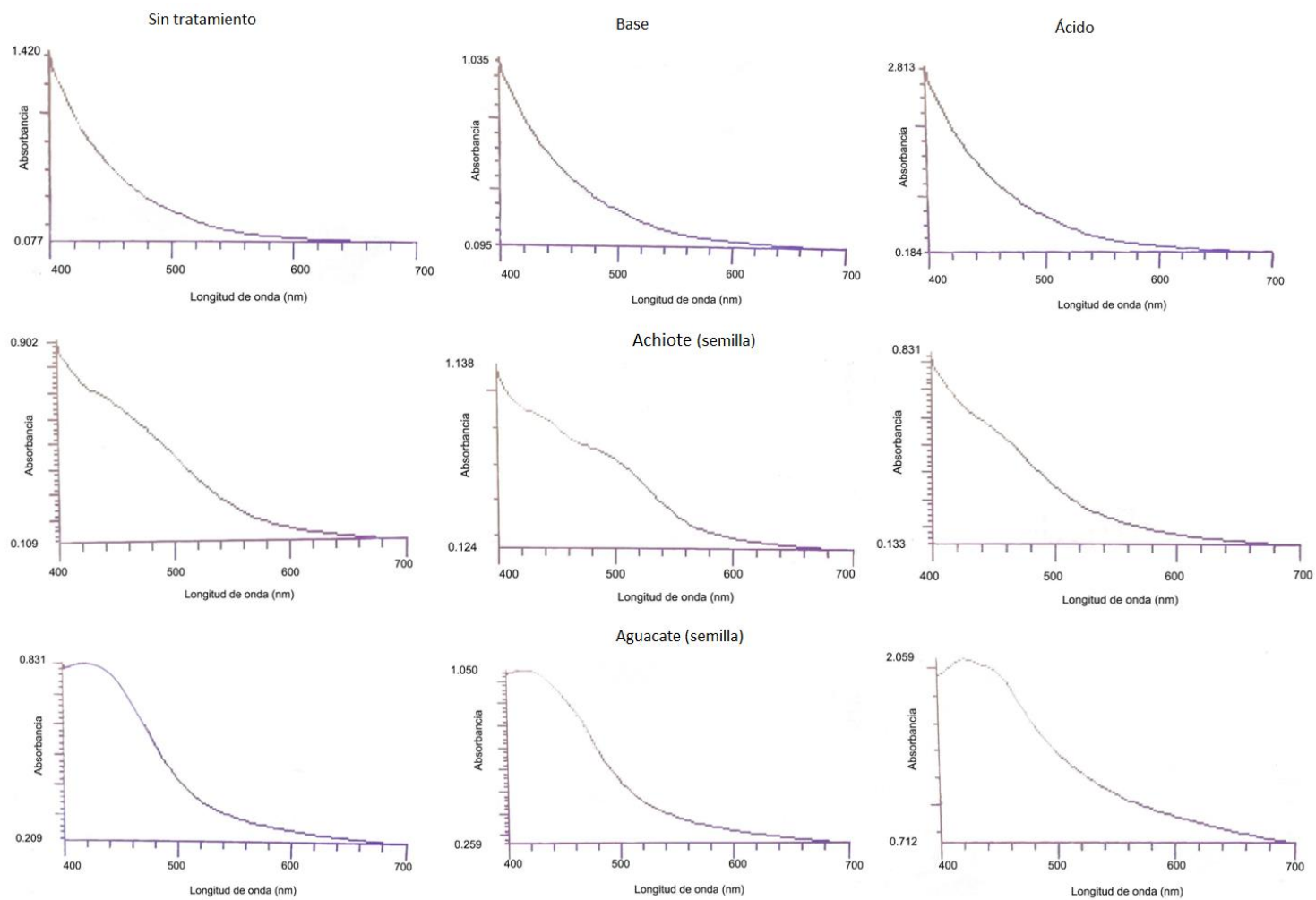


Figura 13. Tonalidades obtenidas en los pigmentos con respecto a su pH.



Cúrcuma (raíz en polvo)

Figura 14. Absorbancias de los colorantes naturales obtenidas de *Bixa orellana*, *Persea americana* y *Curcuma longa*.

Espectrofotometría

El espectro visible es la única parte del espectro electromagnético que puede ver el ojo humano. Incluye la radiación electromagnética cuya longitud de onda está aproximadamente entre 400 nm y 700 nm (Reece et al., 2011). Las longitudes de onda obtenidas de los colorantes coinciden con las absorbancias de los distintos tipos de pigmentos, entre ellos los flavonoides y carotenoides.

Devia y Saldarriaga, (2003) realizaron un barrido de las absorbancias del colorante natural extraído de la semilla de *Bixa orellana*, entre los 300 y 600 nm. Reportando que la máxima absorbancia se encuentra en un intervalo de 450 a 500 nm de longitud de onda. Siendo corroborado que a 480 nm se presenta la mayor absorbancia para el colorante del achiote. El intervalo utilizado para este experimento fue de 400 a 700 nm, lo que podría coincidir con los 480 nm reportados por esos autores para la bixina.

Para los espectros obtenidos de la absorbancia del colorante extraído de la semilla de aguacate (Devia y Saldarriaga, 2005), reportan bandas de absorción en la región visible en 507 nm, y en la región ultravioleta en 267 nm, lo cual coincide con las absorbancias encontradas. (Giusti y Wrolstad, 2001), mencionan que las antocianinas sufren cambios estructurales reversibles a medida que se cambia el pH de la solución, lo cual se manifiesta por los cambios de color, tal como ocurre con el producto obtenido de la semilla del aguacate. Por otro lado, es característico de estos compuestos mostrar dos bandas de absorción, una en la región UV (260 – 280 nm) y otra en la región visible (490 a 550 nm).

En cuanto al espectro de absorción de uv-vis para la curcumina (colorante principal de *Curcuma longa*) (García et al., 2017), indicaron máximos de absorción de 419 nm usando cloroformo y de 426 nm con etanol.

Tinción de fibras naturales.

El proceso de teñido empleado fue similar al usado por las comunidades indígenas que reportan el teñido de fibras con colorantes naturales. Los tonos obtenidos en el teñido textil fueron un color rosa pastel, dentro de la gama de “rosas”, de la semilla de aguacate y un color amarillo mostaza de la raíz de cúrcuma, este último coincidiendo con lo reportado por (Ríos et al., 2009), en cuanto al pigmento obtenido de la cúrcuma. Sin embargo, diferentes autores entre ellos (Almanza et al., 2019; Devia y Saldarriaga, 2003; Gaviria y Mejía, 2012), mencionan que el colorante que se obtiene de la semilla de aguacate es de color naranja a través del método Soxhlet y de color negro a partir de la semilla en polvo. Estos colorantes extraídos de las semillas de aguacate (naranja y negro) se han utilizado para la industria cosmética y alimenticia.



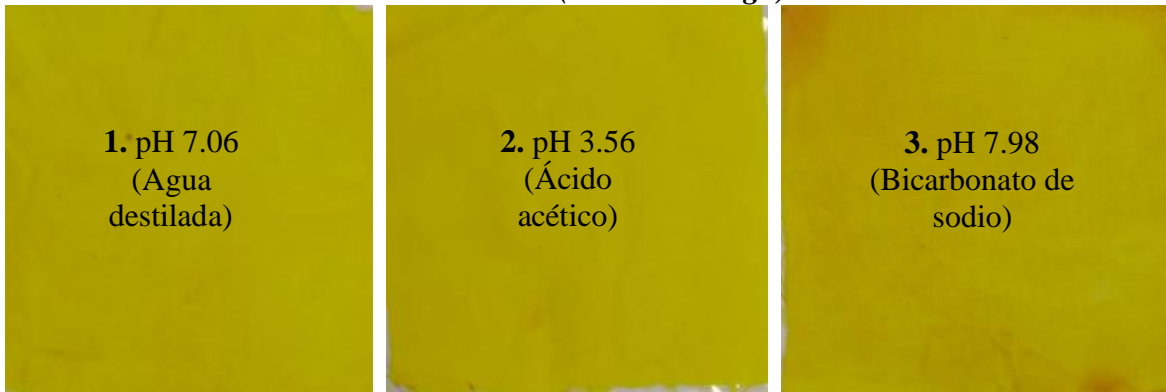
Figura 15. Telas teñidas con colorantes naturales en la primera repetición experimental (sin modificar pH). **A.** Pigmento obtenido de la semilla de aguacate (*Persea americana*) y **B.** Pigmento obtenido de la cúrcuma en polvo (*Curcuma longa*).

En la Figura 16 y 17 se observan las muestras de tela de algodón y en la los estambres teñidos con cúrcuma, achiote y aguacate. En el achiote y la cúrcuma se puede apreciar que el cambio de color debido a la variación de pH se mantuvo de acuerdo a los diferentes tratamientos descritos en el aparatado anterior. Sin embargo, la tinción con aguacate fue la que menos adherencia tuvo en cuanto al pigmento obtenido.

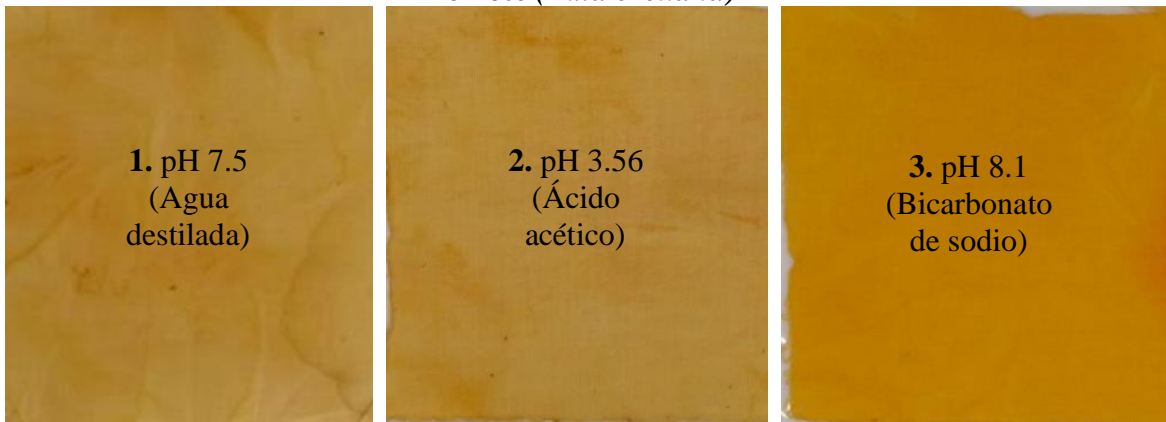
En cuanto al rendimiento de las fibras, el estambre llegó a tener una mayor adherencia a los colorantes, esto puede deberse al proceso en como son elaborados la tela y el estambre de algodón, ya que son tejidos con gramajes diferentes. De las tinciones obtenidas, se puede observar baja homogeneización del colorante como diferentes autores lo reportan, entre ellos (Serranao, 2022). Esto debido probablemente a que el lugar donde se llevó a cabo el proceso de tinción era muy pequeño y la tela no flotaba libremente, con lo que no se logró un adhesión al color de manera uniforme.

Otro resultado a destacar es la poca adherencia que se tuvo en esta ocasión en cuanto a la semilla de aguacate, pues en las pruebas preliminares que se realizaron al desarrollo de la metodología, el teñido de la tela fue de un tono rosa claro (Figura 15), que en esta ocasión no se obtuvo. Probablemente, debido a los tratamientos a los que fue sometido el colorante obtenido y principalmente, a que la primera vez, el teñido de la tela se llevó a la par de la extracción del colorante.

Cúrcuma (*Curcuma longa*)



Achiote (*Bixa orellana*)



Aguacate (*Persea americana*)

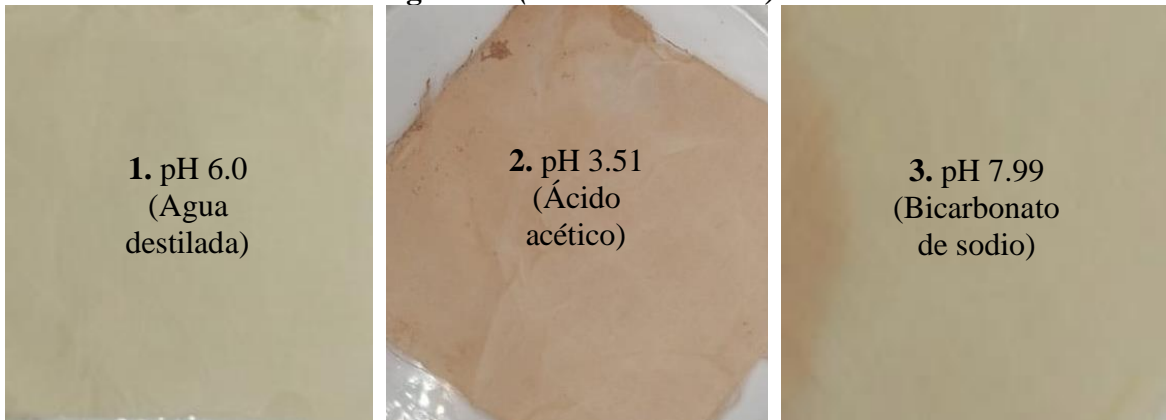


Figura 16. Telas de algodón teñidas con los pigmentos obtenidos de la raíz de cúrcuma, semilla de achiote y aguacate.

Cúrcuma (*Curcuma longa*)



Achiote (*Bixa orellana*)



Aguacate (*Persea americana*)



Figura 17. Estambre de algodón teñido con los colorantes naturales extraídos de la raíz de cúrcuma, semillas de achiote y de aguacate.

Análisis del color

Valores de RGB

El color es un parámetro para evaluar el comportamiento de pigmentos naturales. Mediante un análisis de imágenes RGB se pueden rastrear cambios en las tonalidades obtenidas. En la Figura 18, se analizaron los valores de RGB obtenidos al pigmentar una fibra natural. Después de la tinción hubo variaciones en el color con respecto a los pigmentos obtenidos en cada especie y también en las tonalidades con respecto a los tratamientos (cambios en el pH). Los valores de RGB son similares entre los tratamientos, pero hay una clara variación que se puede observar en la tonalidad del color obtenido de cada especie.

Con los valores de RGB se obtuvo una paleta de color para cada material vegetal en diferentes condiciones de pH.

Paleta de color		
Neutro	Ácido	Base
R 175 G 157 B 31	R 174 G 157 B 18	R 171 G 151 B 30
<i>Curcuma longa</i>		
R 172 G 112 B 28	R 129 G 77 B 15	R 140 G 64 B 0
<i>Bixa orellana</i>		
R 178 G 171 B 147	R 182 G 160 B 126	R 175 G 141 B 103
<i>Persea americana</i>		

Figura 18. Paleta cromática y valores de RGB obtenidos de pigmentos naturales después de la tinción de fibras naturales.

Después de la tinción con pigmentos de cúrcuma, achiote y aguacate se lograron obtener tres diferentes colores cromáticos en las fibras naturales. Los colores fueron amarillo para la cúrcuma, naranja para el achiote y beige obtenido del aguacate (Figura 12).

De los 9 tratamientos (Tabla 6), se muestran las diferencias en los tres valores de RGB, independientemente del pH y entre las especies. Estas diferencias posiblemente se refieran al cambio de pH que se manejaron en cada extracto, así como a los distintos compuestos que le otorgan el pigmento a la planta. En textiles teñidos con raíz de cúrcuma Ríos et al., (2009) menciona que se pueden obtener tonalidades amarillas. Devia y Saldarriaga, (2005), mencionan que los extractos obtenidos de la semilla de aguacate tienden a ser naranjas, mientras que Cadavid y Gómez, (2013; Guerrero, (2011) plantean los diferentes factores a considerar al teñir textiles con semilla de aguacate, ya que el usar la semilla fresca, seca o seca y triturada otorga diferentes tonalidades que van desde el color naranja hasta tonos café oscuro a café rojizo respectivamente. Para los extractos obtenidos de la semilla de achiote (Bunfueang et al., 2019), mencionan que los tonos obtenidos varían en la escala del rojo-naranja dependiendo del mordentado y los tratamientos dados a los textiles.

De acuerdo con el cambio de pH los tratamientos (Tabla 6, Figura 18) mostraron diferencias significativas en las tonalidades del color. Los demás tratamientos, si bien se observa un cambio en los valores de RGB es mínimo para ser significativo, y las tonalidades obtenidas son muy parecida al color original.

El análisis del color se puede hacer mediante un estudio de los valores de RGB. El RGB es la composición del color en términos de la intensidad de los colores primarios rojo, verde y azul (por sus siglas en ingles) que se puede observar en imágenes digitales (Zhou et al., 2021). El análisis de color realizado a las telas teñidas mostró que en las variables RGB hubo diferencias significativas con respecto a los valores obtenidos en los diferentes tratamientos de cada especie, así como entre la misma especie, obteniendo 3 colores diferentes y algunos subtonos.

Como se puede observar en la tabla 6, en las telas teñidas con cúrcuma para los tres diferentes tratamientos solo hubo diferencias en B, en achiote se nota una diferencia tanto en R, G y B y por último en el aguacate solo se observa una diferencia entre G y B.

Tabla 6. Valores hexadecimales RGB de plantas tintóreas mexicanas

Especie/tratamiento	Valores hexadecimales		
	R	G	B
Cúrcuma			
T1	175.00 a	157.25 a	31.25 a
T2	174.75 a	157.00 a	17.75 a
T3	171.50 a	151.25 a	30.25 b
p-valor	0.0925	0.1258	0.0077
Achiote			
T4	172.50 a	112.50 a	28.50 a
T5	129.25 b	77.00 b	15.50 a
T6	140.00 b	64.50 b	0.00 b
p-valor	<0.0001	<0.0001	0.0009
Aguacate			
T7	178.25 a	171.50 a	147.25 a
T8	182.25 a	160.75 a	126.25 a
T9	175.50 a	141.25 b	103.50 b
p-valor	0.3286	0.0056	0.0013
DMS	11.76308	18.15413	19.49477
R²	0.94	0.97	0.98
p-valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001

DMS es la diferencia mínima significativa. Las letras A y B indican diferencias significativas entre medias de Tukey ($\alpha = 0.05$). T1 = Extracto de cúrcuma sin modificar el pH, T2 = extracto de cúrcuma pH ácido, T3 = extracto de cúrcuma pH básico. T4 = extracto de achiote sin modificar el pH, T5 = extracto de achiote pH ácido, T6 = extracto de achiote pH básico. T7 = extracto de aguacate sin modificar el pH, T8 = extracto de aguacate pH ácido, T9 = extracto de aguacate pH básico.

En otros trabajos, como el que describen (Yi y Cho, 2008) también se encuentran diferencias con respecto al análisis del color en las tonalidades obtenidas. Como mencionan en su trabajo los colorantes naturales son difíciles de reproducir ya que tienden a cambiar dependiendo del tratamiento previo que se le dé a los textiles, del tipo de teñido que se emplee y cualquier tratamiento posterior al teñido va a modificar el tono y el color que se puedan obtener. De aquí, la importancia del uso de paletas cromáticas como la que se obtuvo en la Figura 18, debido a que con ellas se pueden reproducir los colores más similares a los obtenidos en esta parte experimental, de forma que se amplíe el conocimiento de los colorantes naturales y se puedan mejorar los procesos de producción artesanales facilitándole su uso a las personas que tienen interés en el uso de fuentes naturales y a las que ya los utilizan.

De acuerdo al color y tonalidades obtenidas en las telas teñidas, las variaciones con respecto al RGB se pueden observar en la Figura 19. De cúrcuma los tratamientos T1 al T4 y del T7 al T9 presentan una variación en la gama de los valores en R, mientras que los tratamientos T5 y T6 presentan valores en RB. La especie 2 (aguacate) de igual forma presenta valores en R (T1-T3, T7) con ciertas tonalidades en B (T4-T6). En cambio, la especie 3 (aguacate) se observa que tiende más a los valores de G, teniendo una mezcla entre R y B en los tratamientos T7-T9.

Las diferencias que se observan en los valores de RGB podrían deberse a los diferentes compuestos químicos y metabolitos secundarios que presentan los pigmentos naturales, así como a la concentración del pigmento, el cambio de pH y el tipo de fibra utilizado.

Como mencionan algunos autores (Bunfueang et al., 2019; Devia y Saldarriaga, 2003; Raddatz-Mota et al., 2017), la bixina es un carotenoide de color rojo-naranja-amarillo presente en las semillas de achiote que les otorga su característico color rojo. Por lo que, los valores de RGB que se observan predominantemente en R, podrían deberse a la presencia de este pigmento rojo.

Cabe destacar que las variaciones del pH van a influir en la tonalidad de los colores o que este permanezca igual. Como se puede observar, cambiar el pH de los pigmentos a ácido o básico se logró obtener una diferencia de tonalidad, mientras que el cambiar el pH entre ácido o básico no modificó de manera significativa las tonalidades en el color.

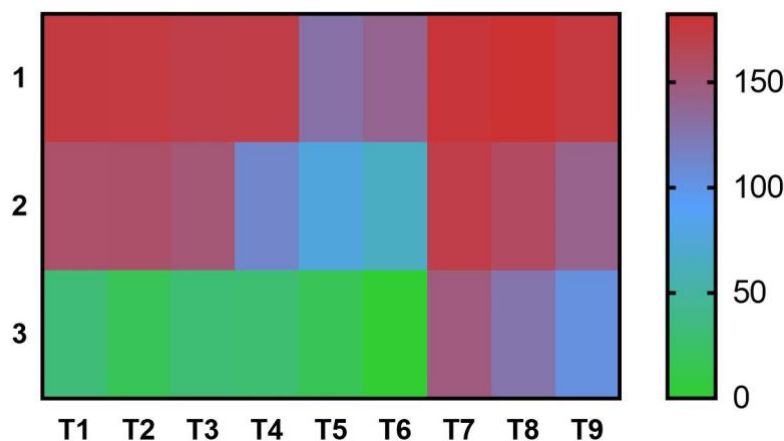


Figura 19. Mapa de calor con los valores de RGB obtenidos en el teñido con: 1. Cúrcuma, 2. Achiote y 3. Aguacate, así como las tonalidades derivadas a los tratamientos (T1-T9, donde T1, T4, T7: sin tratamiento, T2, T5, T8 pH ácido, T3, T6, T9 pH básico).

Conclusiones

Se lograron obtener los pigmentos de las especies mexicanas (*Persea americana* y *Bixa orellana*) y de la cúrcuma utilizada como muestra control. Las diferencias en tonalidades obtenidas para cada especie es debido a que presentan diferencias en sus composiciones. Se obtuvo un rendimiento del 15% en cuanto a la cantidad de colorante obtenido, con el cual se logró una correcta tinción de fibras naturales.

El mordentado es necesario en la tinción de fibras, porque de ello depende que éstas fijen mejor el color y no lo pierdan por acción del sol o del agua. Sin embargo, la modificación del pH para la obtención de distintas tonalidades debe ser estudiada con mayor magnitud en *Persea americana*.

V. Conclusiones generales

El presente trabajo incluyó una investigación documental que exploró el uso de plantas tintóreas nativas de México a lo largo de la República Mexicana y su impacto en la actualidad. Se proporcionó un análisis holístico con lo que se puede concluir que existe una diversidad de plantas tintóreas en México, reportando 35 especies diferentes que tienen un menor uso como especies tintóreas y que han sido reconocidas por otros usos etnobotánicos como plantas medicinales, comestibles, para rituales u ornamentales.

El uso de la mayoría de estas plantas es limitado como colorantes naturales debido a que poco se sabe acerca de su extracción y aplicación, siendo la actividad en la que mayor se emplea para la elaboración de textiles tradicionales por algunos pueblos indígenas. Pocas comunidades conocen en la actualidad recursos tintóreos nativos provenientes de plantas, siendo utilizadas mayormente *Indigofera suffruticosa*, *Haematoxylum campechianum*, *Justicia spicigera*, *Maclura tinctoria* y *Cuscuta tictoria* de entre las 35 especies que aquí se describen.

La difusión de los presentes resultados puede contribuir a la divulgación del uso de colorantes naturales, a la concientización acerca de la conservación de los recursos naturales y al estudio de buenas prácticas para el uso de especies tintóreas.

Los tintes naturales son una opción sostenible solo para aplicaciones a pequeña escala y pueden complementar los tintes sintéticos como una opción ecológica para el consumidor consciente que debe de cuidar su ambiente.

Adicional a la investigación documental se incluyó una investigación experimental. De las 35 plantas incluidas en este trabajo, se seleccionaron dos especies *Bixa orellana* y *Persea americana*, para extraer tintes naturales. La semilla de aguacate es potencialmente una fuente tintórea que podría explotarse debido a que es considerada un subproducto de desecho, y de la cual poco se sabe que sea utilizada como colorante por las comunidades rurales. Se exploró la obtención de extractos y su impacto en la tinción de fibras naturales. Ambas especies de estudio requieren investigarse más a profundidad para ampliar su uso en otras industrias como la cosmética.

VI. Perspectivas finales

Los pigmentos obtenidos en esta investigación mostraron comportamientos diferentes con respecto a diversas condiciones. En todas se logró teñir fibras naturales con variación de colores y tonalidades con respecto a las dos diferentes especies vegetales. En el análisis se conocieron aspectos que pueden considerarse en futuros proyectos para poder enfatizar en el análisis de los pigmentos y de los colores obtenidos de ellos.

Se podría utilizar la información reportada en este documento como base para utilizarse en modelos de predicción, donde se utilicen variables de color para el contenido de pigmentos relacionado con los valores de RGB, como antecedente se puede usar el proceso que Gupta et al., (2016) donde se usaron los valores de RGB para predecir el contenido de clorofila en las hojas de las plantas. De igual forma, se pueden obtener los datos relacionados hacia ciertas tonalidades, por lo que se podría saber qué tan grande podría ser la gama de colores que se podría obtener de un cierto colorante en particular y realizar una paleta cromática más extensa a la obtenida en esta investigación. Otro aspecto relevante en la exploración de pigmentos naturales es considerar la comparación y análisis de mordentados para incluir las variaciones en el color y tonalidades que se puedan obtener al modificar este factor. Entre las evaluaciones que se podrían ampliar esta el estudio en el comportamiento de las absorbancias, incluyendo las mediciones con respecto a las diluciones para sacar una curva más completa, así como realizar el análisis del color de los teñidos y los pigmentos con un colorímetro.

Finalmente, las pruebas de durabilidad del color ante varios lavados, sería deseable, ya que los consumidores demandan en muchas ocasiones prendas de vestir con colores firmes así como tejidos durables.

Referencias

- Adeel, S., Abrar, S., Kiran, S., Farooq, T., Gulzar, T., & Jamal, M. (2018). Sustainable application of natural dyes in cosmetic industry. In M. Yusuf (Ed.), *Handbook of Renewable Materials for Coloration and Finishing* (1st ed., pp. 189–211). Scrivener Publishing LLC. <https://doi.org/10.1002/9781119407850.ch10>
- Almanza H., K., Navarro U., M., & Ruiz C., J. (2019). Extracción de colorante en polvo a partir de la semillade aguacate en variedades Hass y Fuerte. *Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17(1), 5–14.
- Bunfueang, P., Samosorn, S., Bremner, J. B., Sajomsang, W., Gonil, P., Saisara, A., & Chairat, M. (2019). Additive effects on cotton dyeing with dye extract from achiote seeds. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 44(4), 466–474.
- Cadavid Giraldo, S. M., & Gómez Restrepo, V. (2013). *Colorante para lana, algodón y nylon a partir de la pepa de aguacate* [Institución Universitaria Pascual Bravo]. <http://repositorio.pascualbravo.edu.co/cgi-bin/wxis.exe/iah/scripts/>
- Chan-Bacab, M. J., Sanmartín, P., Camacho-Chab, J. C., Palomo-Ascanio, K. B., Huitz-Quimé, H. E., & Ortega-Morales, B. O. (2014). Characterization and dyeing potential of colorant-bearing plants of the Mayan area in Yucatan Peninsula, Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 91, 191–200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.004>
- Contreras Jaimes, B. (2015). *Reconocimiento del Valor Biocultural de la Producción Artesanal a Través Del Intercambio De Saberes* [Universidad Veracruzana]. https://www.uv.mx/met/files/2013/11/ContrerasJaimesBelinda_Junio2015a.pdf
- Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Clasification of Flowering Plants. Columbia university Press (C.J.S.A.)
- Devia Pineda, Jorge Enrique, & Saldarriaga Calderón, L. (2003). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (Bixa orellana). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8–22.
- Devia Pineda, Jorgue Enrique, & Saldarriaga, D. F. (2005). Proceso para obtener colorante a partir de la semilla del aguacate. *Revista Universidad EAFIT*, 41(137), 36–43.
- Franco-Maass, S., Arredondo-Ayala, G. M., Cruz-Balderas, Y., & Endara-Agramont, A. (2019). The Use of Dye Plants in a Mazahua Community in Central Mexico. *Economic Botany*, 73(1), 13–27. <https://doi.org/10.1007/s12231-018-9431-5>
- García-Bucio, M. A., Maynez-Rojas, M. Á., Casanova-González, E., Cárcamo-Vega, J. J., Ruvalcaba-Sil, J. L., & Mitrani, A. (2019). Raman and surface-enhanced Raman spectroscopy for the analysis of Mexican yellow dyestuff. *Journal of Raman Spectroscopy*, 50(10), 1546–1554. <https://doi.org/10.1002/jrs.5729>
- García Ariza, L. L., Montes Quim, J. H. O., Sierra Acevedo, J. I., & Padilla Sanabria, L. (2017). Biological activity of three curcuminoids from curcuma longa L. (Turmeric) grown in quindío, Colombia. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 22(1), 1–14.
- Gaviria Mejía, M. A., & Mejía Aguas, M. C. (2012). Evaluación de la extracción de colorantes de la semilla de aguacate como negocio para la región Antioqueña. In *Escuela de Ingeniería Antioquia* (Vol. 5, Issue 1). Escuela de Ingeniería Antioquia.
- Giusti, M. ., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and Measurment of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Food Chemistry*, 1, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125373>
- Guerrero Escobar, Di. P. (2011). *Extracción y evaluación de un colorante natural a partir*

- de las pepa de aguacate para el teñido de las fibras de algodón y poliéster.* Universidad Técnica de Ambato.
- Gupta, S. D., Ibaraki, Y., & Trivedi, P. (2016). *Applications of RGB color imaging in Plants* (pp. 41–62). University of Technology.
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., & Guayabo, G. T. (2019). Evaluation of a colorant and oil extracted from avocado waste as functional components of a liquid soap formulation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8855–8862. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.74573>
- Hurtado Aramburo, E. A., & Arroyo Figueroa, G. (2016). Teñido De Fibras Naturales Con Colorantes Naturales. *Jovenes En La Ciencia*, 2(1), 1976–1980.
- Kovačević, Z., Sutlović, A., Matin, A., & Bischof, S. (2021). Natural dyeing of cellulose and protein fibers with the flower extract of spartium junceum l. *Plant. Materials*, 14(15). <https://doi.org/10.3390/ma14154091>
- Kumar, P., Agnihotri, R., Wasewar, K. L., Uslu, H., & Yoo, C. K. (2012). Status of adsorptive removal of dye from textile industry effluent. *Desalination and Water Treatment*, 50(1–3), 226–244. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.719472>
- Raddatz-Mota, D., Pérez-Flores, L. J., Carrari, F., Mendoza-Espinoza, J. A., de León-Sánchez, F. D., Pinzón-López, L. L., Godoy-Hernández, G., & Rivera-Cabrera, F. (2017). Achiote (*Bixa orellana* L.): a natural source of pigment and vitamin E. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1729–1741. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2579-7>
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2011). Photosynthesis. In *Biology* (10^o ed., p. 193). Pearson.
- Ríos-V, E., Duque-C., A. L., & León-R, D. F. (2009). Caracterización espectroscópica y cromatográfica de curcumina extraída de los rizomas de Cúrcuma (*cúrcuma longa* l.) Cultivada en el departamento del Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad Del Quindío*, 19(1), 18–22. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol19n1.769>
- Samanta, A. K., & Agarwal, P. (2009). Application of natural dyes on textiles. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 34(4), 384–399.
- Serranao Pascual, I. (2022). *la tintura de sustratos textiles* . Universidad Politécnica de Catalunya Barcelona.
- Siva, R. (2007). Status of natural dyes and dye-yielding plants in India. *Current Science*, 92(7), 916–925.
- Yi, E., & Cho, J. Y. (2008). Color analysis of natural colorant-dyed fabrics. *Color Research and Application*, 33(2), 148–157. <https://doi.org/10.1002/col.20390>
- Zhou, T., Fan, D. P., Cheng, M. M., Shen, J., & Shao, L. (2021). RGB-D salient object detection: A survey. *Computational Visual Media*, 7(1), 37–69. <https://doi.org/10.1007/s41095-020-0199-z>