



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**IMPORTANCIA DE LA PALMERA DEL GÉNERO *Bactris* Jacq. ex
Scop. COMO PRODUCTO NO MADERABLE**

TESIS DE GRADO

Que como requisito parcial Para obtener el grado de:



MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

BELEM ALEJANDRO JARDÓN

APROBADA



Bajo la supervisión de:

M.C. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2023



Tesis (Tesina) realizada por BELEM ALEJANDRO JARDÓN bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:

M.C. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

ASESOR:

M.C. ROBERTO MACHUCA VELASCO

ASESOR:

DR. ALEJANDRO CORONA AMBRÍZ

ASESOR:

DRA. LILIANA CUAPIO HERNÁNDEZ

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Justificación	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Problema de investigación.....	6
1.4. Objetivo general.....	6
1.4.1. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Contenido capitular	7
1.7 Literatura citada.....	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	12
2.1 Marco teórico conceptual	12
2.2 Marco de referencia	27
2.3 Literatura citada.....	35
III. <i>BACTRIS</i> Y SUS USOS SOSTENIBLES EN MÉXICO: UN ENFOQUE ANATÓMICO	44
Introducción.....	45
Aspectos generales del género <i>Bactris</i>	47
Morfología y taxonomía.....	48
Ecología y distribución	49
Anatomía de las palmas.....	51
Identificación de palmeras.....	55

Caracterización anatómica de las palmeras en México	57
Usos del género	59
Conclusión.....	59
Referencias	60
IV. CHEMICAL COMPOSITION OF LIGNOCELLULOSE FROM <i>Bactris mexicana</i> MART. WITH POTENTIAL FOR BIOFUEL	71
Acknowledgments	71
Abstract	71
Keywords.....	71
Abbreviations.....	71
Introduction.....	72
Methodology.....	73
General characteristics of <i>Bactris mexicana</i>	73
Collection of plant material	73
Sample preparation	75
Extraction of lignocellulose free of extractives.....	75
Lignin purification	75
Cellulose purification	76
Hemicellulose purification.....	76
Estimation of lignin and cellulose indices	77
Lignin and cellulose distribution.....	77
Statistical analysis	78
Results and discussion.....	78

Chemical composition of the <i>Bactris mexicana</i> stem	78
Cellulose Content and Crystallinity Index	81
Lignin composition and S/G ratio.....	83
Distribution of lignin and cellulose with epifluorescence microscopy	86
Conclusions	88
Statements and Declarations	89
References	89
V. XILOTECNIA DEL ESTÍPITE DE <i>Bactris mexicana</i> MART. (ARECACEAE)....	97
Resumen	97
Palabras clave	97
Abstract	97
INTRODUCCIÓN	98
MATERIALES Y MÉTODOS	100
Área de estudio	100
Colecta del material vegetal	101
Pretratamiento de muestras	102
Método para estudio de anatomía del estípite.....	103
Descripción de elementos anatómicos y cuantificación de esclerénquima .	104
Determinación de densidad básica	105
Método contracciones	105
Análisis estadístico	107
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	107
Datos morfométricos de los estípites	107

Disposición y cuantificación de elementos anatómicos	108
Propiedades físicas	116
Densidad básica.....	116
Contracción	118
CONCLUSIONES.....	120
CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA.....	121
REFERENCIAS	122
VI. CONCLUSIONES GENERALES	127

LISTA DE CUADROS

III. *BACTRIS* Y SUS USOS SOSTENIBLES EN MÉXICO: UN ENFOQUE ANATÓMICO

Table 1. Anatomical Characteristics of Leaf Lamina	67
--	----

IV. CHEMICAL COMPOSITION OF LIGNOCELLULOSE FROM *Bactris mexicana* MART. WITH POTENTIAL FOR BIOFUEL

Table 1. Morphological parameters of <i>B. mexicana</i>	74
---	----

Table 1. Percentages of extractives in basal, middle, apical zones of stem..	79
--	----

Table 2. Analysis of Variance (ANOVA) for Chemical composition	79
--	----

Table 3. Chemical constituents across different organs of Arecaceae family	80
--	----

Table 4. Chemical composition of the <i>Bactris mexicana</i> stem.....	80
--	----

Table 4. Assignment of FTIR peaks in cellulose Spectra.	81
--	----

Table 5 Crystallinity indexes.....	83
------------------------------------	----

Table 6. Kruskal-Wallis analysis for crystalline and hydrogen bond index	83
---	----

Table 7. Assignment of FTIR peaks in lignin spectra	84
---	----

Table 8. Percentage of Syringyl, Guaiacyl and S/G ratio in three zones	86
--	----

Table 9. Kruskal-Wallis analysis for the phenolic units and S/G ratio	86
---	----

V. XILOTECNIA DEL ESTÍPITE DE *Bactris mexicana* MART. (ARECACEAE)

Tabla 1. Características morfológicas de <i>B.mexicana</i>	107
--	-----

Tabla 2. Estadísticos descriptivos para el parénquima	113
---	-----

Tabla 3. Estadísticos descriptivos para el Área del haz vascular	114
--	-----

Tabla 4. Estadísticos básicos y longitud promedio del haz vascular	114
--	-----

Tabla 5. Estadísticos básicos ancho promedio del haz vascular.....	114
Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el diámetro del metaxilema	115
Tabla 7. Estadísticos descriptivos para el porcentaje de esclerénquima	115
Tabla 8. Estadísticos básicos del número de haces por zona.....	115
Tabla 9. Prueba U de Mann-Whitney en los elementos anatómicos	115
Tabla 10. Estadísticos de la densidad en el estípide <i>de B. mexicana</i>	117
Tabla 11. Parámetros de densidad básica en especies de palmeras	117
Tabla 12. Estadísticos básicos de contracción axial	119
Tabla 13. Estadísticos básicos de contracción radial	119
Tabla 14. Estadísticos básicos de contracción tangencial	119
Tabla 15. Estadísticos básicos de contracción volumétrica	119
Tabla 16. Prueba U para la densidad y contracciones	120

LISTA DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Figura 1. Organización y estructura del documento de investigación	8
--	---

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Figura 2. Estructura de la lignocelulosa en plantas.	22
---	----

Figura 3. Estructura principal de lignina adaptada de Brethauer.....	22
--	----

Figura 4. Técnicas químicas empleadas en la extracción de lignina.....	33
--	----

III. *BACTRIS* Y SUS USOS SOSTENIBLES EN MÉXICO: UN ENFOQUE ANATÓMICO

Figure 1. Distribution of <i>B. major</i> and <i>B. mexicana</i> in Mexico based on data from IUCN	69
--	----

Figure 2. Cross-section of the leaf blade of <i>Bactris halmoorei</i>	69
--	----

IV. CHEMICAL COMPOSITION OF LIGNOCELLULOSE FROM *Bactris mexicana* MART. WITH POTENTIAL FOR BIOFUEL

Fig. 1. Map of Mexico with the study area and location of <i>B. mexicana</i>	74
---	----

Fig. 2 FTIR spectrum of cellulose in the <i>B. mexicana</i> stem.....	82
---	----

Fig. 3 FTIR spectrum of lignin from the stem of <i>B. mexicana</i>	85
---	----

Fig. 4 Transverse and longitudinal sections of the stipe of <i>B. mexicana</i>	88
--	----

V. XILOTECNIA DEL ESTÍPITE DE *Bactris mexicana* MART. (ARECACEAE)

Figura 1. Ubicación del área de estudio en el Ejido la Esperanza, municipio de Huimanguillo, Tabasco, México.....	101
---	-----

Figura 3. Seccionamiento del estípite de <i>B. mexicana</i>	103
--	-----

Figura 4. Esquema de medición de las contracciones	106
--	-----

Figura 5. Zonas apicales del estípite de <i>B. mexicana</i>	109
Figura 6. Zonas medias del estípite de <i>B. mexicana</i>	110
Figura 7: Zonas basales del estípite de <i>Bactris mexicana</i>	111
Figura 8. Corte longitudinal del estípite de <i>B. mexicana</i>	113

ABREVIATURAS USADAS

ABREVIATURAS	SIGNIFICADO
PEG	Polietilenglicol
PFNM	Productos forestales no maderables
FTIR	Espectroscopia transformada de Fourier
LOI	Índice de orden lateral
TCI	Índice total de cristalinidad
HBI	Intensidad de enlace de hidrógeno
S	Siringilo
G	Guayacilo
H	p-hidroxifenilo
S/G	Relación siringilo guayacilo

DEDICATORIAS

A mis padres, cuyo aliento incondicional para perseguir mis sueños y su apoyo constante han sido pilares fundamentales a lo largo de este proceso.

A mi hermano, cuya existencia ha sido la chispa de mi aspiración diaria por superarme.

A mi abuela, cuyo aliento desde mi infancia me inspiró a seguir este camino.

A la luz de mi faro, que ha iluminado mis días a lo largo de los últimos siete años
El OP existe y eres tú, el tesoro que supera toda leyenda, revelado en la odisea de nuestra travesía compartida.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento proporcionado.

Extiendo mi más sincera gratitud a los distinguidos miembros de mi Comité Asesor su guía experta, rigor académico y compromiso con la excelencia han sido fundamentales para la realización de esta investigación.

A la Dra. Ma. Amparo Máxima Borja De La Rosa, cuya sabiduría y dedicación trascendieron la mera mentoría para convertirse en un pilar de mi crecimiento profesional.

Al M.C. Roberto Machuca Velasco cuyo apoyo incondicional se extendió durante estos años

Al Dr. Alejandro Corona Ambriz cuya vasta experiencia y generosidad, así como su sabiduría fueron de gran ayuda durante el proceso.

A la Dra. Liliana Cuapio Hernández, por su generosa disposición a compartir su vasto conocimiento y por su paciencia incansable que me acompañó durante toda la travesía de mi investigación.

Al Dr. Agustín Maceda Rodríguez, Postdoctorante en Laboratorio de Botánica estructural, cuya colaboración durante mi maestría fue esencial no solo para el desarrollo de este trabajo sino para mi formación integral. Su generosidad al compartir recursos, su profundo conocimiento y su dedicación admiro profundamente, y que han sido fundamentales para mi desarrollo como investigador y profesional.

Al Dr. Pedro Mercado Ruaro del Laboratorio de Morfo-anatomía y Citogenética de la Universidad Nacional Autónoma de México por facilitarnos el uso del microscopio de epifluorescencia.

Al Dr. Ramón Marcos Soto Hernández profesor Investigador en el Colegio de Postgraduados, en el Posgrado en Botánica, quien amablemente prestó su equipo FTIR para el análisis de las muestras.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Belem Alejandro Jardón

Fecha de nacimiento: 06 de julio de 1996

Lugar de nacimiento: Estado de México

Desarrollo académico:

Realizo sus estudios de educación medio superior en el Bachillerato en el Colegio de Bachilleres de Tabasco plantel 5 durante 2012-2015; sus estudios de educación superior en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato en donde cursó la Licenciatura en Ingeniería Forestal, realizó su servicio social en Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), donde desarrolló labores de mapeo e inspección en programas de pago por servicios ambientales. Obtuvo su título de Ingeniero Forestal en 2020, presentando un proyecto titulado “Manejo de fauna silvestre en Puerto Maldonado, Perú”.

En su trayectoria profesional se ha desempeñado como se ha destacado como miembro del equipo de la reserva ecológica Taricaya. Allí, ha realizado tareas de rehabilitación, manejo, traslocación, seguimiento y condicionamiento operante de fauna silvestre. También se ha especializado en la identificación de mariposas y en el mapeo de la zona. Fue responsable de la implementación de un vivero para la producción de *Dipteryx micrantha* Harms., una especie de relevancia ecológica. Adicionalmente, ha liderado la gestión de un vivero de hortalizas cultivadas con técnicas hidropónicas, responsabilizándose principalmente de la producción y del manejo fitosanitario. Para completar su desarrollo realizo voluntariado por parte del programa “Manos por el Mundo” en Saint-Mihiel, Francia, donde participó en proyectos de conservación.

RESUMEN GENERAL

IMPORTANCIA DE LA PALMERA DEL GÉNERO *BACTRIS* Jacq. ex Scop. COMO PRODUCTO NO MADERABLE

La palma *Bactris mexicana* Mart., que pertenece a la familia Arecaceae, tiene un papel económico y cultural relevante. Se realizó la descripción anatómica y la evaluación de las propiedades físicas del estípite de esta especie, para determinar su viabilidad como recurso no maderable y adecuación como biocombustible, mediante técnicas de microscopía se realizó la caracterización anatómica, cuantificando la proporción de parénquima, el área del haz vascular (ancho y largo), el diámetro del metaxilema y el porcentaje de esclerénquima en dos poblaciones distintas. Se observaron diferencias entre los elementos anatómicos. La densidad básica mostró variaciones entre las poblaciones, con mayores contracciones en la zona apical. Por otro lado, la biomasa se analizó con FTIR (espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier). La especie presenta un amplio potencial para su aplicación en la fabricación de tableros, materiales compuestos, adhesivos, biocombustibles y en la manufactura artesanal.

Palabras clave: anatomía de palmeras, propiedades físicas de palmeras, biocombustible, espectroscopia, Transformada de Fourier

ABSTRACT
IMPORTANCE OF THE *BACTRIS* Jacq. ex Scop. GENUS PALM AS A NON-TIMBER PRODUCT¹

The *Bactris mexicana* Mart. palm, belonging to the Arecaceae family, plays a relevant economic and cultural role. This study was focused on the anatomical description and evaluation of the physical properties of the stem of this species to determine its viability as a non-timber resource and its suitability as a biofuel. Anatomical characterization was carried out using microscopy techniques, quantifying the proportion of parenchyma, vascular bundle area (width and length), metaxylem diameter, and percentage of sclerenchyma in two different populations. Significant differences were observed between the elements. Basal density showed variations between populations, with greater contractions in the apical zone. Its biomass was analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The species has a wide potential for its application in the manufacture of boards, composite materials, adhesives, biofuels, and handicrafts.

Keywords: *Bactris mexicana* Mart., palm anatomy, physical properties of palms, biofuels, spectroscopy, Fourier Transform

¹ Thesis Master of Science in Forest Sciences, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Belem Alejandro Jardón
Advisor: Dra. Ma. Amparo Máxima Borja De La Rosa

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los productos forestales incluyen a todos aquellos materiales biológicos como la biomasa, aditivos alimentarios, químicos aromáticos, materiales para construcción exceptuando la madera en rollo (León Merino et al., 2017). La biomasa se produce en los bosques y se conserva mediante la fotosíntesis, lo que aumenta las reservas de carbono en el terreno y se convierte en un indicador esencial para medir la productividad forestal (Hernández-Ramos et al., 2019).

En la industria forestal estos productos contribuyen aproximadamente al 1 % del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, generando 0.4% de empleo formal y se estima que entre el 10-60% de un hogar son atribuidos a los productos forestales no maderables (PFNM) (Wahlén, 2017). Estos tienen un impacto ambiental reducido en las comunidades ecológicas que albergan poblaciones vegetales, siendo una alternativa para la subsistencia y mejora del bienestar humano, un ejemplo, es la familia Arecaceae predominantes en zonas tropicales y subtropicales, se destacan por su diversidad de usos: proporcionan alimentos, materiales para edificación, fármacos, fibras, aceites y una variedad de otros recursos esenciales. (Lopez-Toledo et al., 2011).

En la actualidad, los estudios etnográficos sobre las palmeras han tomado notoriedad frente a otros campos, por esto algunos géneros dentro de la familia presentan desafíos en cuanto a su recolección y observación anatómica, generado cierta complejidad en su estudio (Johnson, 2011). Como lo es la subtribu Bactridinae, un género perteneciente a la familia Arecaceae, que comprende un total de 73 especies y fácilmente identificadas por sus espinas y frutos con endocarpos negros y engrosados, siendo uno de los géneros más comunes en el neotrópico (Henderson, 2000).

Los tejidos del tallo suelen ser muy fibrosos, con una alta presencia de lignina y un considerable número de células de sílice, lo cual puede dificultar el proceso de obtención de cortes histológicos (Tomlinson et al., 2011a). Desafortunadamente, estas palmas silvestres han experimentado una disminución en sus poblaciones, principalmente por las actividades

antropogénicas. Estos factores aunados a la falta de investigación de los usos han llevado a la pérdida de transferencia tecnológica que permitía su aprovechamiento (Quero, 1994a).

Actualmente el uso de las palmeras se ha diversificado en campos como la producción de biocombustibles, *Elaeis guineensis* Jacq. es objeto de constante estudio debido a sus abundantes subproductos lignocelulósicos resultado de la elaboración de aceite aprovechables para la síntesis de biometanol, biometano y biohidrógeno (Sierra Márquez et al., 2017a).

Los recursos destinados a la generación de energía a partir de biomasa abarcan una amplia diversidad de fuentes como las primarias: utilizadas específicamente para la producción de energía y secundarias donde el material utilizado proviene de subproductos de actividades económicas (García & Masera, 2016).

1.1. Justificación

Investigaciones previas han registrado la presencia de *Bactris mexicana* Mart. y *Bactris major* (Ramos et al., 2009a), especies autóctonas que prosperan en los bosques tropicales perennes de la Península de Yucatán como en Tabasco, propagándose por rizomas, generando agrupaciones clonales, en una escala menor a través de la dispersión de semillas (Tzec-Simá et al., 2006).

B. mexicana se ha empleado tradicionalmente en la construcción (Mendoza et al., 2022), lo que indica que posee cualidades físicas y estructurales destacables para resistir diversas condiciones. Sin embargo, falta exploración de sus aplicaciones vinculando las propiedades físicas y características anatómicas del estípite.

Al describir las características de esta palmera, se contempla su viabilidad en la industria de productos no maderables. Tal enfoque promete beneficios sustanciales tanto para el ámbito comercial como para la investigación académica. Además, los desechos resultantes de estos procesos o incluso la reutilización del estípite de la palmera, presentan un interés creciente para la producción de biocombustibles como el etanol.

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es describir la palma *B. mexicana* a través del análisis de sus características anatómicas, con el fin de comprender su potencial como producto no maderable.

1.2. Antecedentes

Durante la transición del siglo XVIII al XIX, se realizaron viajes de exploración que marcaron el inicio del estudio científico de las palmeras. Alexander von Humboldt aportó al entendimiento y catalogación de las palmeras. Esto permitió a los botánicos desarrollar un sistema de clasificación para las palmas, mejorando la identificación de las distintas especies y variantes (Dransfield et al., 2008).

En 1777 Giovanni Antonio Scopoli estableció formalmente la nomenclatura del género "*Bactris* Jacquin ex Scopoli" en su tratado "*Introductio ad historiam naturalem sistens genera lapidum, plantarum, et animalium: hactenus detecta, characteribus essentialibus donata, in tribus divisa, subinde ad leges naturae*" (Henderson, 2000), donde se describe el fruto como caroso, jugoso y de consistencia coriácea. Además, identificó a *B. major*, conocida como *Bactris maioris* en su tiempo, como un elemento clave en la elaboración de bebidas fermentadas en América (Scopoli & Gerle, 1777).

Antes de los años sesenta, los avances sobre el estudio del género *Bactris* recibió una contribución notable de Karl Ewald Maximilian Burret, un botánico de Alemania Occidental. En "*Bactris und verwandte Palmengattungen*" (1933-1934), Burret proporcionó un catálogo de los nombres utilizados en el género (y sus segregados), y se describieron 45 especies nuevas, enriqueciendo así el conocimiento científico de este género de palmeras (Nevers et al., 1996).

La labor de Harold E. Moore Jr. en la investigación de palmeras sentó las bases para estudios posteriores con su iniciativa "Genera Palmarum", un proyecto que, desafortunadamente, no pudo concluir. Más adelante, Natalie Uhl y John Dransfield retomaron su legado, actualizaron los datos y completaron la obra, publicando "Genera Palmarum: The Evolution and Classification of Palms" (Baker & Dransfield, 2016).

La literatura científica sobre la estructura del estípite en *Bactris major* y *Bactris mexicana* es escasa. Algunas descripciones de sus elementos estructurales se encuentran en investigaciones como las de Magellan et al (2015), Tomlinson et al (2011) y Orellana et al (1999). Otros trabajos han analizado la morfología foliar, su función biomecánica y adaptaciones ecofisiológicas, enriqueciendo así la comprensión de estas palmeras (Horn et al., 2009). Además, se han indagado la influencia del clima en la morfología del estípite en el subgénero *Bactridinae* (Thomas & Boura, 2015).

La revisión de literatura realizada muestra que existe información sobre la anatomía de la familia, como la de los frutos donde se observa un endocarpio caracterizado por haces de fibra cortos y oblicuos, incrustados en una capa de braquiesclereidas (Essig, 1977). En el tallo se ha analizado el espesor de la pared celular que genera la disminución de la densidad del estípite a medida que se acerca a la periferia (Rüggeberg et al., 2008) y su identificación con el uso de tecnologías, sin embargo, esta no es clara ya que al poseer elementos parecidos no se logra identificar la especie, pero proporciona una buena fuente de datos para comparar (Thomas & De Franceschi, 2013) lo que ayuda a clasificar los elementos anatómicos que presentes en *B. mexicana*.

En el estudio titulado "In vitro rescue of isolated embryos of *Bactris major* Jacq. and *Desmoncus orthacanthos* Mart. potentially useful native palms from the Yucatan Peninsula (Mexico)", se investiga la especie *Bactris major* y se destaca su potencial como sustituto del rattan. Esto ha llevado al desarrollo del cultivo de embriones aislados como una alternativa para la producción de material de siembra en viveros. Esta perspectiva representa una visión futura en la cual la palmera podría ser aprovechada como un producto forestal no maderable (Tzec-Simá et al., 2006).

Magellan (2015) aborda la complejidad de determinar la posición sistemática de las palmeras fósiles, lo cual se debe principalmente a la escasez de material fosilizado disponible para su estudio. El estudio se centra específicamente en el género *Bactris*, analizando un conjunto de 17 especies, incluyendo aquellas presentes en México (Magellan et al., 2015).

En México, se ha realizado solamente una investigación comparativa enfocada en la anatomía del estípite que abarca a *B. mexicana*, *B. major*, *Desmoncus quasillarius* y *Acoelorrhaphe wrightii*. Dicho análisis incorporó asimismo hallazgos relativos a *Calamus manan*, aunque se sugiere que la muestra de esta última podría haber sido objeto de algún proceso previo, dada su procedencia (Orellana et al., 1999).

En América del Sur algunos de los usos registrados para las palmeras, es el peciolo de las hojas para la fabricación de flechas, las semillas como alimento y confección de collares, las raíces de las palmeras continúan siendo utilizadas para tratar la calvicie (Sosnowska et al., 2010). *Bactris gasipaes* Kunth., la pulpa de chontaduro ha sido empleada en la repostería y panificación, dada su abundancia de almidón, la pulpa de chontaduro es un ingrediente fundamental en la preparación de bebidas fermentadas tradicionales, en comunidades indígenas de la Amazonía occidental (Sandoval-Cañas et al., 2023).

Los usos tradicionales en Yucatán para palmeras silvestres en las que se encuentra *B. major* abarcan desde la construcción de cercas y cestos hasta su aprovechamiento culinario, se han documentado principalmente mediante encuestas (M. P. García & Domínguez, 2008). *B. mexicana* se ha registrado como material de construcción (Mendoza et al., 2022).

Actualmente, la supervivencia de muchas especies de palmeras enfrenta amenazas significativas debido a la presión sobre el uso de la tierra y la sobreexplotación. Además, a medida que avanzamos hacia el futuro, se espera que el cambio climático desempeñe un papel cada vez más grave en la supervivencia de estas especies, la protección de los hábitats es una de las formas de preservar a las poblaciones vulnerables de palmeras (Dransfield et al., 2008).

En 1973 la existencia de extensos depósitos de petróleo en el sureste de México inicio un periodo de intensa actividad petrolífera que posicionó a la región como la más productiva del país en este sector. Paralelamente el estado de Tabasco enfrentaba una marcada reducción en su rendimiento agrícola, exacerbada por el Plan Chontalpa que incentivaba métodos de cría de ganado insostenibles,

resultando en una degradación progresiva de la calidad del suelo (Lezama, 1987).

A raíz de esto hubo un estancamiento económico en Tabasco lo que reveló deficiencias en los intentos por diversificar la agroindustria, lo que indirectamente contribuyó a la reducción del área asignada a las actividades económicas básicas (Rendón & Contreras-Sánchez, 2012). Estos eventos evidenciaron la necesidad de replantear las estrategias de desarrollo económico en la región y buscar alternativas más sostenibles y equilibradas para la actividad agrícola.

1.3. Problema de investigación

Se ha evidenciado un desplazamiento de las poblaciones de palmeras, específicamente de *B. mexicana*, debido a actividades como la agricultura intensiva y la ganadería, lo cual ha generado impactos negativos en su presencia y supervivencia en la zona. Aunque existen algunos datos sobre los usos del estipe por parte de los pobladores locales, se carece de información académica que respalde y sistematice este conocimiento. La incorporación de nuevas tecnologías y la evolución de los usos tradicionales plantean la necesidad de llevar a cabo una investigación de los posibles usos del estipe de las palmeras del género *Bactris*, dentro del contexto de los productos forestales no maderables (PFNM) y biocombustible.

1.4. Objetivo general

Describir la palma del género *Bactris sp.* a través del análisis de sus características anatómicas, que permita determinar su desarrollo como producto no maderable en Huimanguillo, Tabasco.

1.4.1. Objetivos específicos

- Identificar la especie del género *Bactris sp.*, aplicando las técnicas de herborización, con la finalidad de conocer las presentes en el estado de Tabasco

- Determinar las características anatómicas y propiedades físicas del estípite (tallo) de la palma, mediante técnicas histoquímicas y la aplicación de Normas ASTM D2395-14 y D143-94 (2000) ^{e1}que mejor se adapten al material, para definir los usos potenciales no maderables.
- Definir su aplicación como producto no maderable, con relación a sus características anatómicas y propiedades físicas y clasificar su uso.

1.5. Hipótesis

La caracterización anatómica y tecnológica detallada del tallo de *B. mexicana* revelará propiedades estructurales que la hacen candidato a la incorporación como muebles o artesanías, además el estudio de su biomasa hará posible determinar su aplicación como biocombustible, lo que contribuirá significativamente a la búsqueda de fuentes de energía alternas y económicamente viables.

1.6. Contenido capitular

El documento está estructurado siguiendo el esquema presentado en la Figura 1. El Capítulo I abarca los antecedentes, justificación, problema de investigación, objetivo, preguntas de investigación y la hipótesis del tema de investigación. El Capítulo II comprende una revisión bibliográfica que abarca los conceptos y teorías relevantes utilizados en el documento. El Capítulo III corresponde a un artículo de revisión sobre el género *Bactris* y sus usos sostenibles en México, cabe mencionar que fue enviado a la revista Ecosistemas para su publicación. El Capítulo IV describe el análisis de la composición química de la lignocelulosa en el estípite de la palma y su uso potencial como biocombustible. Finalmente, el Capítulo V presenta las características anatómicas y propiedades físicas del estípite de *B. mexicana* como potencial de uso no maderable.



Figura 1. Organización y estructura del documento de investigación

1.7 Literatura citada

- Baker, W. J., & Dransfield, J. (2016). Beyond Genera Palmarum: progress and prospects in palm systematics. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 182(2), 207–233. <https://doi.org/10.1111/BOJ.12401>
- Dransfield, J., Uhl, N. W., Asmussen, C. B., Baker, W. J., Harley, M. M., & Lewis, C. E. (2008). *Genera Palmarum. The evolution and classification of the palms*. In *Evolution and classification of the palms*. 2nd ed. Royal Botanic Gardens: Kew Publishing. Kew, Royal Botanic Gardens.
- Essig, F. B. (1977). A systematic histological study of palm fruits. I. The *Ptychosperma* alliance. *Syst. Bot.*, 2(3), 151–168. <https://doi.org/10.2307/2418257>
- García, C., & Maser, O. (2016). Estado del arte de la bioenergía en México (Vol. 1).
- García, M. P., & Domínguez, S. R. (2008). Formas de aprovechamiento de algunas palmas de la Península de Yucatán. *ContactoS*, 69, 53–60. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n69ne/palmas.pdf>
- Henderson, A. (2000). *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica*, 79, 1–183. <https://www.jstor.org/stable/4393893>
- Hernández-Ramos, A., Cano-Pineda, A., Flores-López, C., Hernández-Ramos, J., García-Cuevas, X., Martínez-Salvador, M., & Martínez Angel, L. (2019). Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Madera y Bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521806>
- Horn, J. W., Fisher, J. B., Barry Tomlinson, P., Lewis, C. E., & Laubengayer, K. (2009). Evolution of lamina anatomy in the palm family (Arecaceae). *American Journal of Botany*, 96(8), 1462–1486. <https://doi.org/10.3732/AJB.0800396>
- Johnson, D. (Dennis V. (2011). *Tropical palms* (2010 rev.). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- León Merino, A., Rivera Peña, R., Hernández Juárez, M., Sangerman- Jarquín, D. M., Jiménez Sánchez, L., & Valtierra Pacheco, E. (2017).

- Aprovechamiento de productos forestales no maderables en la comunidad Pensamiento Liberal Mexicano, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 18, 3727–3740. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i18.217>
- Lezama, J. L. (1987). Migración y petróleo en Tabasco. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 2(2), 231–256. <https://doi.org/10.24201/EDU.V2I2.627>
- Magellan, T. M., Tomlinson, P. B., & Huggett, B. A. (2015). Stem anatomy in the spiny american palm *Bactris* (Arecaceae-Bactridinae). *Hoehnea*, 42(3), 567–579. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-18/2015>
- Mendoza, V., Sandoval, D., & Hellmuth, N. (2022, December). Huiscoyol Palms, *Bactris majorand Bactris mexicana*. *FLAAR Mesooamérica*, 31–32.
- Nevers, G. De, Henderson, A., & Grayum, M. H. (1996). Mesoamerican *Bactris* (Palmae). *California Academy of Sciences*, 49(7), 171–219.
- Orellana, R., Herrera, P., Rebollar, S., Escalante, J., López, G., Escalante, S., & Gus, L. (1999). Studies on the potential uses of some native palms of the Yucatan Peninsula (Mexico) as substitutes of rattan. *Acta Horticulturae*, 486, 291–295. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1999.486.43>
- Quero, H. J. (1994). Las palmas de México: presente y futuro. *Botanical Sciences*, 55(55), 123–127. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.1455>
- Ramos, C. M. B., Gil, G. O., & Cerino, C. M. A. (2009). Notas sobre el género *Bactris* (Arecaceae) en el estado de Tabasco, México. *Kuxulkab'*, 16(29). <https://doi.org/10.19136/KUXULKAB.A16N29.433>
- Rendón, M. J. P., & Contreras-Sánchez, A. (2012). Impacto socioambiental de la industria petrolera en Tabasco: el caso de la Chontalpa. *LiminaR Estudios Sociales y Humanísticos*, 10(2), 122–144. <https://doi.org/10.29043/LIMINAR.V10I2.99>
- Rüggeberg, M., Speck, T., Paris, O., Lapierre, C., Pollet, B., Koch, G., & Burgert, I. (2008). Stiffness gradients in vascular bundles of the palm *Washingtonia robusta*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1648), 2221–2229. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0531>
- Sandoval-Cañas, G., Casa-López, F., Criollo-Feijoó, J., Landines-Vera, E. F., & Ordoñez-Araque, R. (2023). South American fermented legume, pulse,

- and oil seeds-based products. In *Indigenous Fermented Foods for the Tropics* (pp. 97–115). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98341-9.00035-9>
- Scopoli, G. A., & Gerle, W. A. (1777). *Introductio ad historiam naturalem sistens genera lapidum, plantarum, et animalium :hactenus detecta, caracteribus essentialibus donata, in tribus divisa, subinde ad leges naturae*. Apud Wolfgangum Gerle. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/42076>
- Sierra Márquez, J., Sierra Márquez, L., & Olivero-Verbel, J. (2017). Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 523. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25927>
- Sosnowska, J., Ramirez, D., & Millán, B. (2010). Palmeras usadas por los indígenas Asháninkas en la Amazonía Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 17(3), 347–352. <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i3.9>
- Thomas, R., & Boura, A. (2015). Palm stem anatomy: phylogenetic or climatic signal? *Botanical Journal of the Linnean Society*, 178(3), 467–488. <https://doi.org/10.1111/BOJ.12274>
- Thomas, R., & De Franceschi, D. (2013). Palm stem anatomy and computer-aided identification: The Coryphoideae (Arecaceae). *American Journal of Botany*, 100(2), 289–313. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200242>
- Tomlinson, P. B., Horn, J. W., & Fisher, J. B. (2011). The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. *The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae*, 1–400. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSOBL/9780199558926.001.0001>
- Tomlinson, P. B., Zimmermann, M. H., Tomlinson, P. B., & Zimmermann, M. H. (2003). Stem vascular architecture in the American climbing palm *Desmoncus* (Arecaceae-Arecoideae-Bactridinae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 142(3), 243–254. <https://doi.org/10.1046/J.1095-8339.2003.00174.X>
- Tzec-Simá, M. A., Orellana, R., & Robert, M. L. (2006). In vitro rescue of isolated embryos of *Bactris major* Jacq. and *Desmoncus orthacanthos* Mart., potentially useful native palms from the Yucatan peninsula (México). 42(1), 54–58. <https://doi.org/10.1079/IVP2005715>

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico conceptual

Los bosques tropicales conforman uno de los biomas más importantes, son fuentes de servicios ecosistémicos, la creciente demografía, así como la demanda de recursos ha provocado cambios en la estructura natural de los bosques lo que ha llevado al aumento de la deforestación en las regiones tropicales (Arasa-Gisbert et al., 2021).

La familia Arecaceae forma parte fundamental de los ecosistemas vulnerables y biodiversos como las selvas tropicales (Bellot et al., 2022) y son consideradas elementos de gran importancia económica y cultural, con un potencial de uso como fuente de material genético para la agricultura del futuro (Dransfield et al., 2008). En ese ámbito resulta interesante ver la aplicación del estípite de las palmeras para la producción de biocompuestos reforzados con fibras naturales, estos se han utilizado en diferentes áreas, como las industrias automotrices, aeroespacial, de empaque y de construcción, debido a que no se requiere una alta capacidad de carga (Gurunathan et al., 2015). El caso de estudio de *Elaeis guineensis* Jacq., muestra la conversión del tronco de esta palma a biocombustibles, en específico etanol (Jung et al., 2011).

Todos estos beneficios han sido poco estudiados en la familia Arecaceae, en el caso particular de México los estudios se han limitado principalmente a la ecología (43%) la taxonomía y florística (22%), mientras que los demás artículos se distribuyen entre paleobotánica, anatomía, genética, agroecología, biodiversidad y/o conservación (Pulido-Silva et al., 2022), en cuanto a su filogenia, es una de las más estudiadas y bien entendidas (Henderson et al., 1995).

Productos forestales no maderables (PFNM)

Existen muchas definiciones de los PFNM y de manera general “Los productos forestales no madereros consisten en bienes de origen biológico distintos de la madera, procedentes de los bosques, de otros terrenos arbolados y de árboles situados fuera de los bosques” (FAO, 2001).

Estos bienes incluyen una variedad de productos como lo son las fibras, resinas, gomas, frutos, plantas medicinales, estos también cubren aquellos que han sufrido un proceso de domesticación para un proceso industrial (Mendoza & Mendoza, 2021). Aun que pareciera que lo PFNM están bien estudiados, es difícil cuantificar de manera exacta los beneficios que aportan (económica y culturalmente), debido a la falta de técnicas o métodos que faciliten la recolección de datos, esto ha llevado a que las cifras sobre ingresos a los hogares sean inexactas (Suleiman et al., 2017). Debido a la diversidad de ecosistemas, los países latinoamericanos guardan una gran variedad de PFNM, la mayoría ha sido aprovechado o resguardada por sus habitantes siendo una segunda fuente de ingreso a los hogares (Z. H. A. Mendoza & Mendoza, 2021).

La familia Arecaceae es un gran ejemplo de PFNM, al proveer diferentes productos, como el rattan (*Calamus rotang* L.) para la fabricación de muebles, frutos comestibles como el caso de *Phoenix dactylifera* L., raíces para la fabricación de artesanías, aceites o sus hojas utilizadas para el forraje (Tapia-Tapia & Reyes-Chilpa, 2008).

Familia Arecaceae

La semilla es uno de los mecanismos más eficientes de dispersión y reproducción sin tomar en cuenta las propiedades que estas poseen, como la capacidad de germinación después de largos periodos, a este grupo de plantas que producen semillas se les denomina fanerógamas, debido a que alberga a su vez a dos grupos vasculares importantes llamados angiospermas y gimnospermas (Villegas et al., 1992). De manera general se puede describir a las gimnospermas como aquellas que producen semillas desnudas, es decir, los megasporangios se desarrollan expuestas sobre esporofilos; por otro lado, las angiospermas producen semillas y flores.

Las palmas son monocotiledóneas y no poseen crecimiento secundario, comprende al menos 181 géneros y 2600 especies en el mundo, abundan en las selvas tropicales, donde son componentes principales del dosel y elementos conspicuos del sotobosque; crecen cerca de los pantanos de manglares, donde

a menudo forman rodales grandes y homogéneos; comprenden la vegetación dominante de algunas áreas permanentemente inundadas y bordean los márgenes de los ríos tropicales durante cientos de kilómetros; forman enormes rodales de muchos millones de individuos y crecen en densos bosquecillos en las selvas tropicales mixtas (Baker & Dransfield, 2016; Henderson et al., 1995), son de gran importancia económica debido a la diversificación de los usos, que van desde material para la construcción, herramientas, ropa, ornamentales, combustible, fuentes de alimento y medicinas (Dransfield et al., 2008). Son considerados con las gramíneas y leguminosas como una de las tres familias de plantas con flores más importantes económicamente (Dransfield et al., 2008). En México se reconocen 37 géneros y 132 especies (Alejandro & Hernández, 2017), el más abundante es el género *Chamaedorea*, en menor proporción tenemos palmas silvestres y actualmente muchas de estas se han colocado en la NOM-059 bajo alguna categoría, en su mayor parte debido a las actividades antropogénicas (Quero, 1994a)

En México, la diversidad de estas plantas abarca un amplio rango con un total de 37 géneros y 132 especies identificadas. Específicamente en Tabasco, se han documentado 17 géneros y 29 especies localizadas principalmente a nivel del mar o en bajas altitudes; sin embargo, algunas se localizan en altitudes mayores a los 2,500 metros sobre el nivel del mar, se ha mencionado que las palmas son tropicales, aunque algunas sobrepasan los trópicos (Alejandro & Hernández, 2017).

Aspectos generales del género *Bactris*

En 1945 se publican las especies que hasta ese momento habían sido colectadas e identificadas en México, donde se mencionan *Bactris acuminata*, *Bactris baculifera* Karw. ex Mart y *Bactris mexicana*; las palmas a la fecha en México por 19 géneros que incluyen 76 especie y 5 variedades, en el estado de Tabasco solo se han presentado 2 especies de los 76 incluidos en el país (Hernández-Xolocotzi, 1945). Debido principalmente a la morfología del género estas rara vez se recolectan para su estudio, lo que ha llevado a su escasa presencia en

herbarios del país así como en el mundo, siendo pobremente conocido y estudiado (Henderson, 2000).

Por lo que los recolectores han evitado al género *Bactris* no solo por sus abundantes espinas a lo largo del tallo, sino que también son voluminosas como muchas otras palmeras (Sanders, 1991). Por lo tanto, existe poco material con el cual discernir patrones variacionales intraespecíficos; se han destruido los tipos nomenclaturales de numerosas especies nombradas por Wallace, Barbosa Rodrigues y Burret. Esto mismo llevó a un caos taxonómico que con la incorporación de nuevos estudios y bibliografía ha incorporado un orden, permitiendo una comprensión más amplia de las palmeras (Sanders, 1991).

Su importancia va más allá de la economía, se ha demostrado que todas las especies de *Bactris* que se han examinado con respecto a la biología reproductiva exhiben protoginia y polinización por escarabajos. Son polinizados por *Curculionidae*, *Staphylinidae*, *Nitidulidae*, *Dynastinae* y *Scarabidae*, que se alimentan de polen, pétalos estaminados, tricomas y utilizan la inflorescencia como sitio de apareamiento, son parte fundamental del nicho ecológico (Salzman & Judd, 1995).

Morfología

Son palmas monoicas espinosas, con tallos delgados, anillados y crecer solitarios o en colonias (Quero, 1992). La subtribu se caracteriza por frutos con endocarpios negros y engrosados, *Bactris* se diferencia de otros miembros de la subtribu por la disposición de sus tríadas y sus pétalos pistilados connatos con temporadas de floración corta, se ha observado un patrón similar en la secuencia de floración en este género (Henderson, 2000).

Presentan foliación pinnada con espinas y peciolo que varían de cortos a largos, también espinosos, con un surco en la parte superior y una forma redondeada en la inferior. La envoltura foliar es amplia y espinosa, abriéndose en el lado contrario al peciolo; las pinnas están dispuestas de manera regular o irregular a lo largo del peciolo, todas en un solo plano. Las inflorescencias, que aparecen entre las

hojas, suelen ser reducidas y presentan comúnmente un espádice simple (Quero, 1992).

Bactris mexicana Mart. es una especie de palma espinosa caracterizada por sus tallos de 2 a 6 cm de diámetro y con alturas que llegan a los 8 m. Los individuos de esta palma tienen una apariencia esbelta y crecen de forma solitaria, sin formar agrupaciones densas. Esto la distingue visualmente de *B. major*, ya que esta última tiende a formar macollos o grupos compactos. Esta diferencia en el crecimiento y la estructura de la población es la principal distinción visual entre ambas especies., (Ramos et al., 2009a).

Ecología y distribución

El género cuenta con alrededor de 230 especies, con una distribución desde Norteamérica (México) hasta Centroamérica (Paraguay), encontrando mayores poblaciones en Sudamérica (Brasil) y América insular, (Quero, 1992). Estas palmas son más abundantes en selvas tropicales subperennifolia y perennifolia, especialmente a lo largo de los márgenes de los ríos, sabanas y áreas perturbadas (Henderson, 1995).

Bactris mexicana Mart. es una palma silvestre distribuida en varios estados de México, se ha registrado su presencia en Campeche, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz (Machuca Machuca et al., 2022b).

Herborización

Originalmente, el término "herbario" designaba una compilación de plantas con propiedades curativas. Hoy en día, hace referencia a una institución que custodia una colección de especímenes botánicos, organizados según una secuencia taxonómica reconocida y accesible para investigación y estudio (Lot & Chiang, 1986).

El propósito fundamental de la herborización es acumular y documentar datos esenciales de las plantas. La metodología varía según el tipo de vegetación (Lot & Chiang, 1986). Para las palmeras, cuyas grandes hojas o tallos espinosos presentan retos únicos, en el caso específico de las palmeras, se requiere de

pasos específicos para recolectar todo el material posible, debido a sus hojas grandes o tallos con espinosos, lo que dificulta el montaje.

Anatomía de las palmas

La familia Arecaceae, pertenece al grupo de monocotiledóneas, carece de meristemas laterales responsables de la formación del cambium vascular, comúnmente conocido como "corteza". En su lugar, las células en esta región se caracterizan por ser parénquima suberizado (Tomlinson et al., 2011a). Si hablamos particularmente de sus tejidos conductores, estas poseen haces vasculares que albergan xilema y floema, principales conductos de agua y nutrientes dispersos en todo el tallo y la hoja de la palmera, haciendo que la cantidad de este tejido vascular ocupe un volumen máximo en un espacio mínimo, por esta razón no se requiere de un crecimiento secundario, ya que a lo largo de la vida de la palmeras estas permanecen vivas a diferencia de las eudicotiledóneas (Tomlinson et al., 2011a).

Se distinguen por su capacidad de absorber silicio (Si) a través de las raíces, encontrándose en forma de células o cuerpos silíce, distribuyéndose en la epidermis y la cutícula de las hojas. Otra zona de depósito es en los estegmatos, que rodean las fibras del esclerénquima asociadas a los haces vasculares. (Bokor et al., 2019).

El estípite de las palmeras carece de crecimiento secundario en grosor y está compuesto por elementos lignificados. Desempeña varias funciones, tales como el soporte y la elevación de la copa, además, actúa como elemento de unión en la conducción de sustancias entre las raíces y la parte aérea. También cumple un papel importante en el almacenamiento de sustancias de reserva, en particular, agua y almidón (Plumed & Costa, 2013).

Una sección transversal de un entrenudo revela que el tallo de la palma puede dividirse en tres áreas: una epidermis, una corteza y un cilindro central de haces vasculares. El de una sola capa, la epidermis suele ser de paredes gruesas, variadamente esclerótica, a menudo fuertemente lignificado, y puede incluir pelos o estomas (Dransfield et al., 2008).

A diferencia de los árboles dicotiledóneos, los tallos de palma no poseen un cámbium y, por lo tanto, al carecer de esta zona vital superficial, fácilmente dañada, pueden sobrevivir incluso si el tallo está parcialmente quemado (Dransfield et al., 2008). El tallo está formado por un cilindro central con algunas capas exteriores concéntricas. La capa más externa es el peridermis, que a menudo es reemplazada por otros tejidos protectores superficiales que se esclerifican o suberizan en el tallo viejo (Thomas & De Franceschi, 2013). Debajo del peridermis hay una corteza más o menos desarrollada; entonces, el cilindro central es demarcado abruptamente de la corteza por la zona subcortical con muchos haces vasculares, a veces amontonados formando la zona esclerótica periférica (Thomas & De Franceschi, 2013).

Parte importante de la anatomía es poder observar claramente cada uno de los elementos que constituyen a la muestra, es por esta razón que el proceso químico seleccionado debe adaptarse o modificarse a modo obtener cortes limpios listos para su procesamiento.

Fijación

Este es un proceso electivo, es decir, existen muchos anatomistas que prefieren no fijar la muestra ya que con ciertos fijadores se pierde la visibilidad de algunas estructuras, sin embargo, su función es proteger las células de la deformación y el encogimiento cuando estas son sometidas a inclusiones en parafina o alcoholes (Humason, 1979)

La primera consideración en la elección del fijador debe ser el propósito que se persigue al preparar el tejido para uso futuro, para esto también debemos tomar en cuenta el efecto endurecedor del fijador (Humason, 1979). Un fijador comúnmente usado en tejidos vegetales es FAA, ya que nos permite endurecer tejidos blandos y conservar las estructuras para su posterior corte.

Después de obtener las muestras, el proceso de fijación debe realizarse en lugares donde la temperatura no exceda de 25 °C el ejemplar debe colocarse en el fijador (previo lavado) inmediatamente después de ser obtenido (Tapia, 1984). El líquido fijador debe usarse en una relación de 1 a 10, esto tomando en cuenta

el tamaño de la muestra o también llamada probeta; después de que la muestra es fijada debe lavarse para eliminar los excedentes de la solución, esto dependerá del fijador que se haya usado y varía desde agua corriente para eliminar el formaldehído, hasta alcohol al 70% o alcohol yodado (Tapia, 1984).

Inclusión con polietilenglicol (PEG)

Existen diversas técnicas de inclusión que implica saturar las células con un medio específico, como parafina o polímeros, para proporcionar soporte intracelular y formar un encapsulamiento extracelular, lo cual facilita el manejo y procesamiento de la muestra (Humason, 1979).

En el caso de las palmeras se debe extraer previamente las células de sílice por medio del uso de una solución de ácido fluorhídrico (AF) y agua en proporción 1:1, esto para optimizar los resultados de la inclusión en parafina (Tomlinson et al., 2011).

El polietilenglicol (PEG) es un polímero sintetizado industrialmente a partir de la polimerización de óxido de etileno (EO) con agua o glicoles como el monoetilenglicol o el dietilenglicol, presenta una estructura lineal sencilla con la fórmula $H-(OCH_2CH_2)_n-OH$. Este proceso de producción se lleva a cabo con la ayuda de un catalizador alcalino, se destaca por su eficiencia y bajo coste. En la práctica, el PEG se utiliza ampliamente como agente deshidratante o de inclusión, destacando por su capacidad para preservar la integridad celular (Ferreira et al., 2014). Existen diferentes pesos moleculares en el PEG, cuando este incrementa, el punto de fusión como el de congelación se elevan, y su solubilidad en agua se reduce (Romanov et al., 2021).

Tinción

En el caso de las palmas se ha usado comúnmente safranina en combinación con Fast Green FCF, sin embargo, estas se modifican de acuerdo con lo que se desea observar (Tomlinson et al., 2011). El pardo de Bismark es un tinte de fácil aplicación y contrasta muy bien las estructuras del floema además de ser una

tinción permanente se pueden combinar con otras para mejorar la visibilidad de las estructuras anatómicas (Blaydes, 1939).

Cortes

Se pueden producir secciones tan delgadas como 10 μm , pero los cortes de 30 μm se puede considerar ideales tomando en cuenta las características de la palma, sin embargo, esto mismo ha llevado a que algunos autores consideren otros grosores debido a la complejidad del seccionamiento; para el análisis de tallos angostos, se requieren secciones de hasta 200 μm de espesor, esto es aceptable ya que es necesaria una sección completa del tallo (Tomlinson et al., 2011).

Existen dos métodos por los cuales hacer cortes, uno de estos es con un microtomo de deslizamiento o a mano alzada (con uso de cuchillas o navaja), ambos han sido empleados con éxito en las palmas (Tomlinson et al., 2011).

Preparación de muestras permanentes

Algunos artículos de estudios anatómicos de bambú usan entellan para la fijación del material con maceración previa en peróxido de hidrogeno y ácido acético en proporción 50/50 (Zaragoza et al., 2014). Este ha demostrado ser una buena opción para las muestras.

Celulosa

La celulosa es un homopolisacárido no ramificado que consiste en largas cadenas de β -d-glucopiranosas unidas por enlaces glucosídicos $\beta(1\rightarrow4)$; las cadenas de celulosa tienen un extremo no reductor y reductor, es renovable y el más abundante a nivel mundial en la actualidad, representando aproximadamente 1.5×10^{12} toneladas de la producción total anual de biomasa mediante la fotosíntesis (Gautam et al., 2010).

La estructura de la celulosa se divide en dos: fibrilar o cristalina y amorfa. La estructura fibrilar comprende celulosa dispuesta de manera meticulosa, lo que le confiere características cristalinas. Estas organizaciones se aglomeran en fibrillas diminutas que luego forman microfibrillas, perceptibles mediante microscopía. En

contraste, la matriz se compone de hemicelulosas, elementos pécticos y glucoproteínas (Valenciaga & Chongo, 2004).

Se han desarrollado tres índices de cristalinidad para la celulosa: índice de orden lateral (LOI), índice total de cristalinidad (TCI), índice de intensidad de enlace de hidrógeno (HBI), todos representan la forma de la celulosa (Kljun et al., 2011).

Hemicelulosa

Está compuesta por una variedad de polisacáridos de origen vegetal, tales como D-xilosa, D-manosa, L-arabinosa, D-galactosa y ácido 4-O-metil-D-glucurónico. Se unen a las microfibrillas de celulosa por la formación de enlaces de hidrógeno y fuerzas Van der Waals. Se emplea en procesos de fermentación para la producción de alcohol y se convierte en sorbitol a través de reacciones de reducción. Asimismo, la pentosa derivada de este polímero se utiliza en la fabricación de levadura destinada a la alimentación, ácido furoico, xilosa y xilitol (L.-Z. Huang et al., 2021).

Lignocelulosa

La lignocelulosa, también conocida como biomasa lignocelulósica, es uno de los componentes más abundantes presentes en las plantas. Está compuesta por celulosa y hemicelulosa que son macromoléculas compuestas por azúcares, así como lignina (de Cássia Spacki et al., 2022a; Zoghلامي & Paës, 2019).

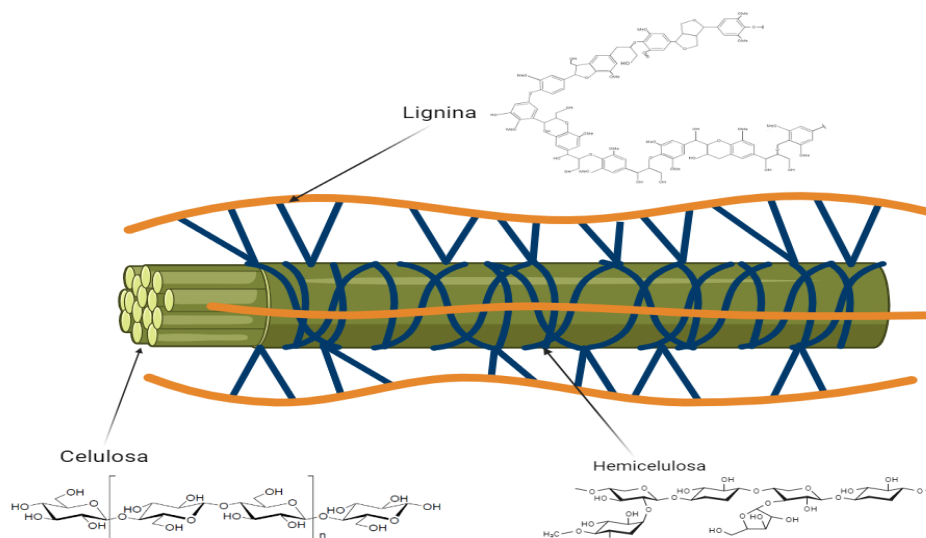


Figura 2. Estructura de la lignocelulosa en plantas. Elaboración propia adaptado de Brethauer et al. (2020)

Lignina

La lignina, es un polímero polifenólico tridimensional amorfo, su estructura (figura) química consta de unidades de fenilpropano, que provienen de los molignoles (Laurichesse & Avérous, 2014).

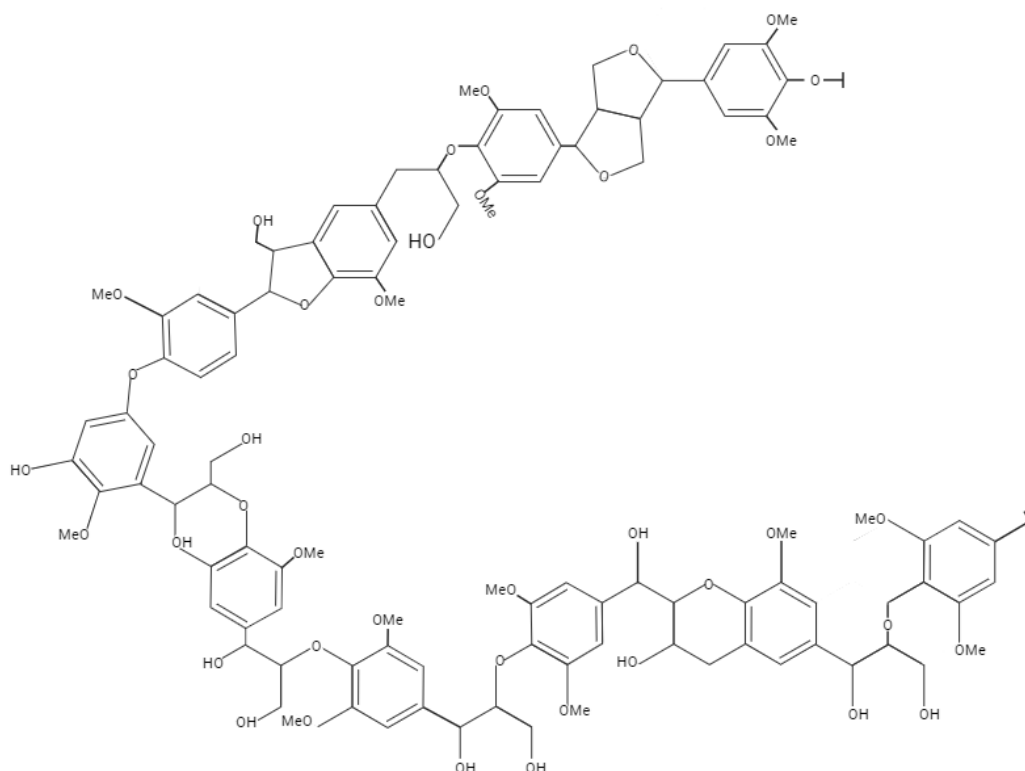


Figura 3. Estructura principal de lignina adaptada de Brethauer et al. (2020)

Los monolignoles se generan a través de una serie de reacciones enzimáticas, que incluyen desaminación, hidroxilación, reducción y metilación (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). Estos se someten a reacciones de oxidación catalizadas por peroxidasas en la pared celular, dando lugar a tres tipos de alcoholes aromáticos: p-cumarílico, que da lugar a unidades de p-hidroxifenilo; coniferyl, que produce unidades de guaiacil; y sinapílico, que genera unidades de siringilo (Boerjan et al., 2003; Laurichesse & Avérous, 2014).

Es decir, consta de tres unidades primarias: siringilo (S), guayacilo (G) y p-hidroxifenilo (H), unidas por enlaces de éter C-C (Rashid et al., 2018a). Confiere

impermeabilidad al agua y resistencia a las fuerzas de tensión de las columnas de agua proporcionando soporte estructural a las plantas además de protección contra la degradación microbiana de las paredes celulares, posee la capacidad de unirse con la celulosa y la hemicelulosa, lo que da forma a la estructura principal de soporte en las plantas (Espiñeira et al., 2011).

En la industria, la lignina cuenta diversas aplicaciones como adhesivo, en el desarrollo de plásticos, nanofibras, hidrogeles, emulsionantes de asfalto, agentes de mejora del suelo, refuerzos de caucho, aglutinante biogénico para la mejora de pellets, producción de placas de yeso (Huang et al., 2019; Unkelbach & Hirth, 2022; Yao et al., 2022).

Taninos

Los taninos antiguamente eran compuestos extraídos del proceso de curtido de pieles para la fabricación de cuero. Estos compuestos se presentan en forma de polvos amorfos con colores que varían desde un tono marrón claro hasta marrón rojizo o marrón oscuro. Son sustancias naturales con propiedades astringentes que se encuentran de manera habitual en diversas partes de las plantas, donde desempeñan un papel en la protección de la planta contra posibles ataques de hongos, bacterias e insectos, además de contribuir a la supervivencia de la planta en condiciones de sequía (Pizzi, 2021).

Biocombustibles

Los biocombustibles se obtienen a partir de biomasa, que es materia orgánica de origen vegetal o animal transformado por procesos fotosintéticos (Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009; Serna et al., 2011). Los de origen vegetal representan una opción sostenible a largo plazo en contraste con los combustibles fósiles, ya que estos se pueden obtener a partir de la lignocelulosa (Gomes et al., 2018)

El bioetanol, como biocombustible, posee un significativo potencial que se deriva del creciente interés en combatir el cambio climático. Siendo una alternativa viable a los combustibles fósiles, dado que se obtiene a partir de azúcares,

almidones y biomasa lignocelulósica. Sin embargo, se requiere la conversión de la materia prima en etanol por medio de métodos biológicos o químicos (Zabed et al., 2017).

Espectroscopia

La interpretación de la información de la biomasa a través de la espectroscopia facilita la comprensión indirecta de la composición de los distintos elementos de interés presentes. Esta busca establecer una relación entre la intensidad del pico y la concentración de los componentes, siendo clave para determinar los niveles de celulosa, hemicelulosa y lignina en biomasa (Raspolti Galletti et al., 2015). La espectroscopia transformada de Fourier (FT-IR) en la actualidad es una de las técnicas más efectivas para poder interpretar y adquirir información sobre los datos estructurales de muestras vegetales siendo herramienta para poder obtener los índices de cristalinidad en las muestras (Široký et al., 2010).

La espectroscopía infrarroja opera a través del análisis de las vibraciones moleculares. Esta técnica permite identificar los grupos funcionales por medio de las bandas de absorción infrarroja, las cuales corresponden con distintos modos vibratorios. En el caso de moléculas no lineales compuestas por N átomos, existen $3N-6$ modos posibles en que los átomos pueden vibrar dentro de la estructura molecular. Un modo vibratorio se considera activo en el espectro infrarrojo si, durante la vibración, se produce una alteración en el momento dipolar de la molécula, lo cual facilita la absorción de la radiación infrarroja incidente. En este contexto, las vibraciones simétricas, por lo general, no son detectables en el espectro infrarrojo debido a la ausencia de cambio en el momento dipolar (Berthomieu & Hienerwadel, 2009).

Microscopia de fluorescencia

Algunos tipos de células vegetales con funciones mecánicas o de transporte de agua poseen paredes celulares notoriamente engrosadas y lignificadas, la microscopía de fluorescencia emerge como una técnica esencial debido a la intensa fluorescencia que dichas paredes presentan (Kitin et al., 2020). Esta

metodología implica la excitación de electrones en moléculas fluorescentes contenidas en los especímenes, a través del uso de fuentes lumínicas específicas, tales como lámparas de mercurio, xenón o diodos emisores de luz (LED). Las moléculas excitadas absorben energía lumínica y subsecuentemente emiten fotones. Estos fotones emitidos se filtran en un espectro de longitud de onda determinada, lo que permite su detección en una longitud de onda específica. Así, se facilita la visualización y captura de imágenes detalladas de estructuras microscópicas que son intrínsecamente fluorescentes o que han sido marcadas con fluorocromos, permitiendo la observación de células y tejidos tanto vegetales como animales con gran precisión (López-Macay et al., 2016).

La espectroscopía de fluorescencia se aplica comúnmente a especies vegetales y permite la identificación de moléculas como lignina y clorofila. Esta técnica revela, en ciertas condiciones, una gama de compuestos bioquímicos tales como flavonoides, taninos, alcaloides y ácido ferúlico, que son detectables en distintos espectros de luz, la interpretación de la fuente de fluorescencia debe realizarse en un contexto integrado que incluya técnicas complementarias como la tinción histoquímica y otros métodos analíticos (Donaldson, 2020).

Tinciones histoquímicas

La tinción con naranja de acridina está diseñada originalmente para examinar bacterias en muestras de suelo, ganando relevancia en los laboratorios de microbiología, siendo empleada para analizar frotis de líquidos y exudados. Su mecanismo de acción se basa en la tinción del ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (Albarado Y & Flores F, 2008). La técnica del blanco de calcoflúor se fundamenta, por un lado, en la capacidad de esta sustancia de emitir fluorescencia cuando se expone a radiación ultravioleta y, por otro, en su afinidad hacia la celulosa y quitina, componentes de la pared celular fúngica (L. Ramos et al., 2006).

En histología vegetal el calcoflúor es una técnica que proporciona imágenes de elevado contraste en los tejidos, posibilitando la diferenciación entre paredes celulares lignificadas y no lignificadas. Por su parte, el naranja de acridina, un

colorante catiónico, se adhiere a grupos con carga negativa hallados en las paredes celulares lignificadas (Nakaba et al., 2015).

Propiedades físicas de la madera

Las propiedades físicas son un elemento clave para determinar la respuesta de la madera frente a factores como el clima. Entre estas características destaca la densidad, el peso específico, el contenido de humedad, la contracción y la dureza (Suirezs & Gilson, 2010).

Densidad

La densidad de la madera se define como la relación existente entre la masa, expresada en gramos, y el volumen, cuantificado en centímetros cúbicos (gr/cm^3); lo cual se traduce en la cantidad de sustancia leñosa presente por unidad de volumen (Suirezs & Berger, 2010). Dicha propiedad varía en función de la especie, así como de la composición y tipo de sus elementos celulares, propiedades físicas intrínsecas y las condiciones climáticas imperantes en su hábitat (Ordóñez Díaz et al., 215).

Las mediciones se realizan bajo condiciones controladas de secado en estufa, puesto que la presencia de humedad incide directamente en un incremento del peso y, por efecto de la hinchazón, en una alteración del volumen original de la muestra (Ojo et al., 2022).

Contracción volumétrica

La contracción en la madera es un fenómeno caracterizado por una disminución volumétrica que ocurre cuando la madera pasa de un estado saturado a uno anhidro (Suirezs & Berger, 2010). Este proceso está condicionado por múltiples factores, entre ellos: la densidad relativa de las especies arbóreas, la orientación de las microfibrillas en las paredes celulares, el contenido de sustancias extractivas, las diferencias entre duramen y albura, y la presencia y proporción de los anillos de crecimiento. Otros elementos a considerar incluyen la proporción de madera temprana y tardía, la presencia de madera juvenil, la tasa de

crecimiento arbóreo, la ubicación transversal de donde se extrajeron las muestras, la longitud de las traqueidas, el contenido de lignina, la cristalinidad de la celulosa, y la proporción de radios medulares (Bárcenas & Dávalos, 1999).

2.2 Marco de referencia

Identificación de palmeras

Dentro de la región neotropical, el género *Bactris* abarca un conjunto de 73 especies y 21 variedades, de acuerdo con los datos recopilados por Henderson (2000). A pesar de que la mayoría de estas especies se encuentran distribuidas en América Central y del Sur, algunas también tienen presencia en las Antillas, incluyendo dos especies registradas en México (Ramírez-Amezcu, 2010).

La "Selectarum Stirpium Americanarum Historia" publicada en 1763, se destaca como la primera obra que identificó el género *Bactris*. En esta obra, se describió al fruto de la palmera como exótica de forma ovalada, alcanzando alturas de hasta 25 pies (7.62 metros), diámetros de 2 pulgadas (5.08 cm) y hojas palmadas además de sus espinas en tallo (Jacquin Freiherr von et al., 1763) esto fue propuesto antes de establecer una descripción genérica.

Dentro del ámbito de la investigación de la familia Arecaceae, también conocida como Palmaceae, uno de los pioneros destacados fue Carl Friedrich Philipp von Martius. Originario de Erlangen, Alemania, Martius, cuyo padre era farmacéutico, realizó sus estudios de medicina en su ciudad natal entre 1810 y 1814. Su trayectoria profesional comenzó como asistente en la Academia Bávara de Ciencias y bajo la tutela del director del Jardín Botánico de Múnich. Junto con el zoólogo Johann Baptist von Spix, llevó a cabo una exploración en Brasil entre 1817 y 1820 (Rall, 1997). Al regresar a Múnich, ocupó posiciones relevantes como conservador del Jardín Botánico y profesor de botánica. Martius ganó renombre como científico y explorador gracias a su exhaustivo trabajo en botánica, etnografía y estudios lingüísticos centrados en las comunidades indígenas de Brasil, así como por su influyente obra "Historia Naturalis Palmarum" (Rall, 1997).

En la actualidad, aquellos dedicados al estudio de las palmeras son liderados por Andre J. Henderson, un botánico especializado en la familia Arecaceae. En conjunto con el apoyo de New York Botanical Garden Press en sus publicaciones periódicas, especialmente en las monografías regulares incluidas en la serie "Flora neotropica", Henderson ofrece claves taxonómicas que contribuyen al entendimiento del género *Bactris*. (Henderson, 2000).

En el volumen 79 de Flora neotropica, Henderson (2000) precisa que el género *Bactris* fue ubicado en la subtribu Bactridinae de la familia neotropical (Arecoideae, Cocoeae) por Uhl y Dransfield, conocidos por sus estudios en la familia de las palmas. Este acomodo lo sitúa a la palmera junto a géneros como: *Aiphanes*, *Acrocomia*, *Gastrococos*, *Astrocaryum* y *Desmoncus*.

En el libro Vegetación de México menciona que a mediados del siglo XIX comienzan los primeros artículos con observaciones sobre la vegetación de México, intentando correlacionar la altitud, el clima y otros factores del medio (Rzedowski, 2006), Nevers en su obra Mesoamerican *Bactris* (Palmae) (Nevers et al., 1996), propone claves para distinguir las veinte especies, dos con dos variedades cada una, reconocidas en la región. Cada especie y variedad es descrita, incluyendo distribución y hábitat

Hermilo Jorge Quero destaca la limitada cantidad de investigaciones centradas en el uso y manejo de las palmas en México. En la mayoría de los casos, estos estudios son bastante generales, y en algunos apenas se menciona el uso de estas plantas (Quero, 1994a). En su publicación titulada "Mesoamerican *Bactris* (Palmae)" (Nevers et al., 1996) se presenta una serie de indicadores para diferenciar las veinte especies existentes en la región, donde dos de ellas cuentan con dos variedades cada una. En este trabajo, se detalla una descripción de cada especie y variedad, además de proporcionar información sobre su distribución y el hábitat que ocupan. Un enfoque más exhaustivo lo realiza Caballero, quien examina el uso y manejo de cuatro especies de *Sabal* que prosperan en la Península de Yucatán. A pesar de ello, existe una necesidad evidente de abordar el estudio de diversas especies como *Sabal*, *Brahea*, *Erythea*, *Bactris*, *Acrocomia*, *Desmoncus*, *Scheelea* y *Orbignya* (Caballero, 1994).

En el documento “Estudio taxonómico de la familia Arecaceae en el municipio de Macuspana, Tabasco, México” se examinaron las muestras de herbario donde se hicieron colectas de ejemplares de palmas fértiles (con flor, fruto o ambos, para una mejor identificación), siguiendo la técnica recomendada por Lot & Chian (Alejandro & Hernández, 2017).

Caracterización anatómica de las palmeras en México

Existen escasos artículos dedicados al estudio de la anatomía de las palmeras, en 1994 la situación de las palmeras en México era la disminución de las poblaciones por la actividad del hombre, ya sea por la sobreexplotación directa de las poblaciones o por la alteración o destrucción indirecta de la vegetación natural donde crecen estas palmas, causando el ingreso de muchas especies algún tipo de riesgo (Quero, 1994a). Los nombres de las palmeras linneanas ahora se han tipificado porque ha sido posible decidir los elementos en los que probablemente basó sus nombres (Dransfield et al., 2008).

Se ha explorado la posibilidad de utilizar palmas nativas (dentro de las que se encuentran *Bactris mexicana* y *B. balanoidea*) como sustituto de algunas de las especies de ratán que actualmente se importan a México, los hallazgos indican similitudes anatómicas notables entre las palmas estudiadas y el ratán (Orellana et al., 1999). Sin embargo, no se detalla los procedimientos utilizados ni la estructura anatómica del tallo.

Otros han abordado su potencial centrándose en el cultivo de embriones aislados como método innovador para generar material propagativo destinado a viveros. Esta investigación aporta conocimientos significativos sobre la propagación asistida de palmeras nativas y su posible aplicación en la producción sostenible de sustitutos del ratán (Tzec-Simá et al., 2006).

Pese a que la especie no cuenta con gran información de su desarrollo anatómico, existe literatura que se puede comparar para poder formar la metodología empleada a partir de especies similares. En *Bactris* los elementos de los vasos del metaxilema suelen tener paredes terminales transversales o ligeramente oblicuas con una mezcla en diversos grados de placas perforadas

simples y escalariformes con muy pocas (1-8) barras de engrosamiento, los elementos del protoxilema son variados (Magellan et al., 2015).

Por otro lado, un compendio más profundo de las características anatómicas es el de Tomlinson et al (2011b) donde se describe diferentes órganos, aquí solo se expondrán dos: Las hojas constan de una organización celular diferenciada en la superficie adaxial, donde las células adaxiales presentan una disposición hexagonal uniforme y se extienden transversalmente, mientras que en la superficie abaxial, las células muestran una configuración más irregular. La epidermis se caracteriza por una disposición oblicua de las células epidérmicas adaxiales. El mesófilo está compuesto por tricomas con bases estrechas y fibras organizadas en haces, incluyendo la presencia de células más grandes con sección transversal circular y esclereidas que se extienden en el tejido; En la estructura anatómica de los tallos, se inicia con la epidermis, que consiste en una única capa celular, procediendo hacia el interior, se encuentra el cortex, que constituye una zona periférica cuya amplitud varía significativamente; en tallos delgados puede presentar una anchura mínima de aproximadamente diez células, mientras que en estípites más robustos puede extenderse varios centímetros. Esta región está reforzada por numerosos haces de fibras y es atravesada por rastros foliares, lo que sugiere su función como soporte mecánico y conductor de nutrientes. Lugo se encuentra el cilindro central destacándose por una transición en la densidad de los haces fibrovasculares.

Thomas & De Franceschi (2013) estructuran su estudio anatómico del tallo en tres regiones diferenciadas. La más externa, el córtex, precede a una zona subcortical, distinguida por la presencia de una capa constituida por haces fibrovasculares. Progresando hacia el interior se localiza el cilindro central. Cada uno de los haces fibrovasculares está integrado por una sección de componentes fibrosos, específicamente esclerénquima, y una sección vascular, la cual se subdivide en protoxilema, metaxilema y floema. La plataforma Palm-ID, se establece como una herramienta eficaz para la identificación de los componentes estructurales anatómicos de las palmeras. Su capacidad para facilitar una

visualización más eficiente de las estructuras contribuye significativamente al campo de la anatomía de la madera (Thomas, 2011).

Propiedades físicas

La similitud entre las propiedades físicas del ratán y las especies del género *Bactris*, anteriormente mencionada, ha motivado la evaluación comparativa de las propiedades físicas y mecánicas en cuatro especies de ratán cultivadas en China. Ante la ausencia de estándares específicos para la valoración en palmeras, el estudio adaptó protocolos utilizados en el análisis del bambú. Para la determinación de la densidad básica de las muestras emplearon la técnica que estima el contenido de humedad (Yang et al., 2020).

Se ha mencionado que el número de haces vasculares influye directamente en la densidad de las palmeras, aun cuando el número de haces vasculares en la zona apical suele ser mayor y se creería tendría mayor densidad, sin embargo, se ha probado que las células jóvenes no son representativas en la densidad (Darwis et al., 2013).

La densidad y contracción en *Borassus aethiopum* Mart. en hembra y macho, se ha cuantificado con muestras seccionadas 20mm×20 mm×20 mm con la formula (Acheampong et al., 2022):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = Densidad básica (g/cm³)

m= Peso anhidro (g)

V= Volumen (cm³)

$$\beta_T = \frac{Ct_v - Ct_0}{Ct_v} * 100$$

$$\beta_R = \frac{Cr_v - Cr_0}{Cr_v} * 100$$

$$\beta_L = \frac{Cl_v - Cl_0}{Cl_v} * 100$$

Donde:

βT = Contracción transversal; βL = Contracción longitudinal; C_{tv} = Contracción transversal en verde; C_{t0} = Contracción transversal anhidro; C_{lv} = Contracción longitudinal en verde; C_{l0} = Contracción longitudinal anhidro.

$$\beta V = \frac{L_s \times T_s \times R_s - L_o \times T_o \times R_o}{L_s \times T_s \times R_s} \times 100$$

Donde: βV = Contracción de volumétrica; L_s = Dimensión longitudinal de la muestra saturada; R_s = Dimensión radial de la muestra saturada; T_s = Dimensión tangencial de la muestra saturada; L_o = Dimensión longitudinal de la muestra seca; R_o = Dimensión radial de la muestra seca; T_o = Dimensión tangencial de la muestra seca.

Extracción de lignocelulosa y análisis

La diversidad de métodos de extracción se atribuye a la necesidad de separar biopolímeros, cuya complejidad varía en función de la estructura y el órgano del vegetal. Para la obtención de lignina, se pueden emplear técnicas mecánicas, químicas o tratamientos biológicos (Lobato-Peralta et al., 2021).

Entre los métodos químicos, la lignina se puede extraer de madera previamente molida utilizando una solución acuosa con dioxano, logrando un rendimiento de alrededor del 20% respecto a la lignina original. En contraste, la lignina enzimática derivada de madera molida proviene del residuo post-hidrólisis de los carbohidratos presentes. A pesar de tener un rendimiento superior, cercano al 95%, esta lignina retiene una cantidad significativa de carbohidratos y no es totalmente soluble en solventes habituales (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

En el proceso de despulpado químico de la madera, es posible obtener ligninas de tipo kraft y sulfito. Las elevadas temperaturas y las condiciones alcalinas provocan una transformación significativa en la estructura de la lignina durante este proceso (Karthäuser et al., 2021).

En el método Klason, las fibras como la paja o el bagazo de caña se disuelven en un medio alcalino, resultando en ligninas de bajo peso molecular. Estas son

insolubles en agua y presentan mínimas impurezas, tales como azúcares y azufre (Chávez-Sifontes & Domine, 2013).

El análisis cuantitativo de los grupos funcionales que componen la lignina se lleva a cabo utilizando espectroscopia FTIR, el cual permite observar las frecuencias (estiramiento, flexión, etc) asociadas a los grupos de enlace éter, metoxi e hidroxilo. Otras herramientas usadas son la espectroscopia Raman y de fluorescencia, lo que permite identificar el uso del tipo de lignina identificada (Tuteja & Sand, 2023).

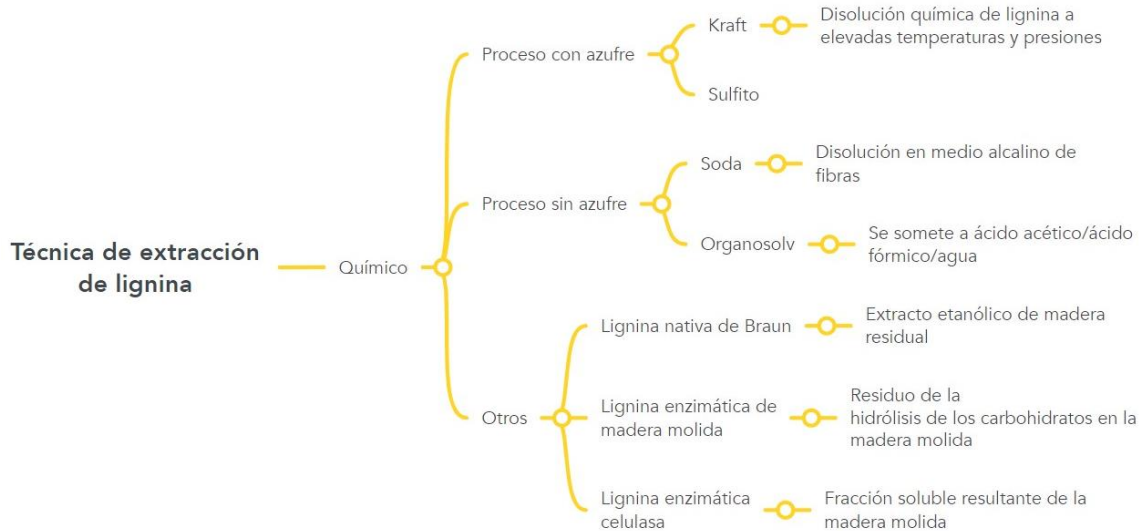


Figura 4. Técnicas químicas empleadas en la extracción de lignina. Adaptada de Tuteja & Sand, (2023) y Chávez-Sifontes & Domine 2013).

Inclusion en PEG y obtención de cortes histológicos.

El procedimiento de inclusión generalmente implica la fusión de PEG a una temperatura de 55°C en un horno al vacío, aunque el tiempo de fusión varía según la investigación, Romanov et al. (2021) establecen un intervalo de 3 horas para tejidos de dimensiones reducidas y 6 horas para aquellos de mayor tamaño, modulando la proporción de PEG mediante la adición de agua al medio de inclusión con diferentes pesos moleculares. Por su parte, Ferreira et al. (2014) proponen un período extensivo de más de 48 horas, variando las concentraciones de PEG. Kitin et al (2020) adoptan protocolos similares, estipulando aproximadamente un día para la fijación de muestras no superiores

a 1cm³. Para especímenes que exceden este volumen, el tiempo se incrementa a 2 o 3 días. En este último enfoque, no se recurre a la dilución en agua, sino que se emplea una combinación de PEG con distintos pesos moleculares.

Tinción para microscopia de fluorescencia

Los métodos reconocidos son de Kitin et al (2020), el cual propone el siguiente protocolo: la tinción con naranja de acridina (0.001%) requiere sumergir el material en el tinte durante 5 minutos, posteriormente se retira el exceso con etanol al 70,50 y 25 %durante 30 minutos en cada concentración. Y la tinción con calcoflúor se inicia al ser lavadas las secciones fijadas, previamente con FAA, con agua corriente durante un intervalo de 15 a 30 minutos. Posteriormente, son teñidas en una solución acuosa de calcoflúor por un periodo de 5 minutos, siendo mantenidas a temperatura ambiente y protegidas de la luz. Tras la tinción, las secciones son enjuagadas con agua destilada. En el caso de las secciones más gruesas, deben ser enjuagadas al menos 10 veces para asegurar la eliminación del exceso de calcoflúor. Los portaobjetos temporales para observación microscópica son preparados al ser montados en agua o glicerol.

2.3 Literatura citada

- Acheampong, J. B., Effah, B., Antwi, K., Achana, E. W., Acheampong, J. B., Effah, B., Antwi, K., & Achana, E. W. (2022). Physical properties of palmyra palm wood for sustainable utilization as a structural material. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 24(8), 1–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100408>
- Alejandro, M. A. M., & Hernández, A. G. (2017). Estudio taxonómico de la familia “Arecaceae” en el municipio de Macuspana, Tabasco, México. *Kuxulkab’*, 23(47), 05–15. <https://doi.org/10.19136/KUXULKAB.A23N47.2621>
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V., Ortiz-Díaz, J. J., & Martínez, E. (2021). Regeneración de plantas leñosas en fragmentos de bosque tropical húmedo: estructura de la comunidad y registros nuevos para Chiapas, Tabasco y México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, e923502–e923502. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2021.92.3502>
- Baker, W. J., & Dransfield, J. (2016). Beyond Genera Palmarum: progress and prospects in palm systematics. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 182(2), 207–233. <https://doi.org/10.1111/BOJ.12401>
- Bárcenas, G., & Dávalos, R. (1999). Importancia de la lignina en las contracciones de la madera: revisión bibliográfica. *Madera y Bosques*, 5, 13–26. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61750103>
- Bellot, S., Lu, Y., Antonelli, A., Baker, W. J., Dransfield, J., Forest, F., Kissling, W. D., Leitch, I. J., Nic Lughadha, E., Ondo, I., Pironon, S., Walker, B. E., Cámara-Leret, R., & Bachman, S. P. (2022). The likely extinction of hundreds of palm species threatens their contributions to people and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* 2022 6:11, 6(11), 1710–1722. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01858-0>
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, 101(2–3), 157–170. <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>

- Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003). Lignin Biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology*, 54(1), 519–546. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>
- Bokor, B., Soukup, M., Vaculík, M., Vd'ačný, P., Weidinger, M., Lichtscheidl, I., Vávrová, S., Šoltys, K., Sonah, H., Deshmukh, R., Bélanger, R. R., White, P. J., El-Serehy, H. A., & Lux, A. (2019). Silicon Uptake and Localisation in Date Palm (*Phoenix dactylifera*) – A Unique Association With Sclerenchyma. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00988>
- Blaydes, G. W. (1939). The Use of Bismarck Brown Y in some new Stain Schedules. *Stain Technology*, 14(3), 105–110. <https://doi.org/10.3109/10520293909110309>
- Brethauer, S., Shahab, R. L., & Studer, M. H. (2020). Impacts of biofilms on the conversion of cellulose. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(12), 5201–5212. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10595-y>
- Caballero, J. (1994). Use and Management of Sabal Palms Among the Maya of Yucatan. University of California. https://books.google.com.mx/books/about/Use_and_Management_of_Sabal_Palms_Among.html?id=ql5MAQAAMAAJ&redir_esc=y
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. E. (2013). lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 4(4), 15–46. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323629266003>
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., & Wise, R. (2018). Plant Anatomy. *Plant Anatomy*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77315-5>
- Darwis, A., Ridho Nurrochmat, D., Massijaya, Y., Nugroho, N., Alamsyah, E. M., Bahtiar, E. T., & Safe'i, R. (2013). Vascular bundle distribution effect on density and mechanical properties of oil palm trunk. *Asian Journal of Plant Sciences*, 12(5), 208–213. <https://doi.org/10.3923/AJPS.2013.208.213>
- de Cássia Spacki, K., Corrêa, R. C. G., Uber, T. M., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Peralta, R. A., de Fátima Peralta Muniz Moreira, R., Helm, C. V., de

- Lima, E. A., Bracht, A., & Peralta, R. M. (2022). Full Exploitation of Peach Palm (*Bactris gasipaes* Kunth): State of the Art and Perspectives. *Plants* 2022, Vol. 11, Page 3175, 11(22), 3175. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11223175>
- Dransfield, J., Uhl, N. W., Asmussen, C. B., Baker, W. J., Harley, M. M., & Lewis, C. E. (2008). *Genera Palmarum. The evolution and classification of the palms*. In *Evolution and classification of the palms*. 2nd ed. Royal Botanic Gardens: Kew Publishing. Kew, Royal Botanic Gardens.
- Esau, K. (1976). *Anatomía vegetal* [Book]. Omega.
- Esau, K. (1985). *Anatomía vegetal* (3ra edición). Eds. Omega.
- Espiñeira, J. M., Novo Uzal, E., Gómez Ros, L. V., Carrión, J. S., Merino, F., Ros Barceló, A., & Pomar, F. (2011). Distribution of lignin monomers and the evolution of lignification among lower plants. *Plant Biology*, 13(1), 59–68. <https://doi.org/10.1111/J.1438-8677.2010.00345.X>
- Ferreira, B. G., Teixeira, C. T., & Isaias, R. M. S. (2014). Efficiency of the Polyethylene-Glycol (PEG) Embedding Medium for Plant Histochemistry. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 62(8), 577–583. <https://doi.org/10.1369/0022155414538265>
- Gautam, S. P., Bundela, P. S., Pandey, A. K., Jamaluddin, J., Awasthi, M. K., & Sarsaiya, S. (2010). A review on systematic study of cellulose. *Journal of Applied and Natural Science*, 2(2), 330–343. <https://doi.org/10.31018/jans.v2i2.143>
- Gomes, J., Batra, J., Chopda, V. R., Kathiresan, P., & Rathore, A. S. (2018). Monitoring and Control of Bioethanol Production From Lignocellulosic Biomass. In T. Bhaskar, A. Pandey, S. V. Mohan, D.-J. Lee, & S. K. Khanal (Eds.), *Waste Biorefinery* (pp. 727–749). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63992-9.00025-2>
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and*

- Manufacturing, 77, 1–25.
<https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2015.06.007>
- Henderson, A. (2000). *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica*, 79, 1–183.
<https://www.jstor.org/stable/4393893>
- Henderson, A., Galeano, G., & Bernal, R. (1995). Field Guide to the Palms of the Americas. In *Field Guide to the Palms of the Americas*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/J.CTVCSZZD>
- Huang, J., Fu, S., & Gan, L. (Eds.). (2019). Chapter 1 - Introduction. In *Lignin Chemistry and Applications* (pp. 1–24). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813941-7.00001-1>
- Huang, L.-Z., Ma, M.-G., Ji, X.-X., Choi, S.-E., & Si, C. (2021). Recent developments and applications of hemicellulose from wheat straw: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.690773>
- Jacquin Freiherr von, N. J., Jacquin Freiherr von, N. J., Kraus., & Kurtzböck., J. (1763). *Selectarum stirpium Americanarum historia: Vol. v.1 .Ex officina Krausiana*. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10331>
- Jung, Y. H., Kim, I. J., Kim, J. J., Oh, K. K., Han, J.-I., Choi, I.-G., & Kim, K. H. (2011). Ethanol production from oil palm trunks treated with aqueous ammonia and cellulase. *Bioresource Technology*, 102(15), 7307–7312.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.082>
- Karthäuser, J., Biziks, V., Mai, C., & Militz, H. (2021). Lignin and Lignin-Derived Compounds for Wood Applications—A Review. *Molecules*, 26(9).
<https://doi.org/10.3390/molecules26092533>
- Kitin, P., Nakaba, S., Hunt, C. G., Lim, S., & Funada, R. (2020). Direct fluorescence imaging of lignocellulosic and suberized cell walls in roots and stems. *AoB PLANTS*, 12(4). <https://doi.org/10.1093/AOBPLA/PLAA032>
- Kljun, A., Benians, T. A. S., Goubet, F., Meulewaeter, F., Knox, J. P., & Blackburn, R. S. (2011). Comparative Analysis of Crystallinity Changes in Cellulose I Polymers Using ATR-FTIR, X-ray Diffraction, and Carbohydrate-Binding

- Module Probes. *Biomacromolecules*, 12(11), 4121–4126.
<https://doi.org/10.1021/bm201176m>
- Laurichesse, S., & Avérous, L. (2014). Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 39(7), 1266–1290.
<https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>
- Lobato-Peralta, D. R., Duque-Brito, E., Villafán-Vidales, H. I., Longoria, A., Sebastian, P. J., Cuentas-Gallegos, A. K., Arancibia-Bulnes, C. A., & Okoye, P. U. (2021). A review on trends in lignin extraction and valorization of lignocellulosic biomass for energy applications. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126123. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126123>
- Machuca Machuca, K., Martínez Salas, E., Quero, H., & Samain, M.-S. (2022). *Bactris mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T58405443A59431655.en>.
- Magellan, T. M., Tomlinson, P. B., & Huggett, B. A. (2015). Stem anatomy in the spiny american palm *Bactris* (Arecaceae-Bactridinae). *Hoehnea*, 42(3), 567–579. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-18/2015>
- Mendoza, Z. H. A., & Mendoza, L. A. A. (2021). Estado actual e importancia de los Productos Forestales No Maderables. *Bosques Latitud Cero*, 11(1), 71–82. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/925>
- Nakaba, S., Kitin, P., Yamagishi, Y., Begum, S., Kudo, K., Dwi Nugroho, W., & Funada, R. (2015). Three-Dimensional Imaging of Cambium and Secondary Xylem Cells by Confocal Laser Scanning Microscopy. In E. C. T. Yeung, C. Stasolla, M. J. Sumner, & B. Q. Huang (Eds.), *Plant Microtechniques and Protocols* (pp. 431–465). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19944-3_24
- Nevers, G. De, Henderson, A., & Grayum, M. H. (1996). Mesoamerican *Bactris* (Palmae). *California Academy of Sciences*, 49(7), 171–219.
- Ojo, A. R., Ogutuga, S. O., & Aguda, L. O. (2022). Correlation between dry density and shrinkage in eight tropical hardwood species. *Les/Wood*, 71(2), 31–44. <https://doi.org/10.26614/les-wood.2022.v71n02a02>

- Plumed, J., & Costa, M. (2013). Las palmeras. Monografías botánicas (Universitat de València, Ed.; Vol. 1). Jardín Botánico de la Universitat de València. http://www.jardibotanic.org/?apid=llibres-49&pubt=2&idioma=_spa&id=77&pubt=2
- Pulido-Silva, M. T., Quero, H., Hodel, D., & Lopez-Toledo, L. (2022). Richness, Endemism and Floristic Affinities of the Palms of Mexico. *Botanical Review*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/S12229-022-09284-4/FIGURES/5>
- Quero, H. J. (1994). Las palmas de México: presente y futuro. *Botanical Sciences*, 55(55), 123–127. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.1455>
- Rall, M. (1997). Carl Friedrich Philipp von Martius, Frey Apollonio. Novela del Brasil, vivida y contada por Hartoman. *Anuario de Letras Modernas*, 7, 35–41. <http://ru.ffyl.unam.mx//handle/10391/1591>
- Ramírez-Amezcu, Y. (2010). *Bactris* major along the Pacific Coast of Mexico. *Palms*, 54(4), 197–200.
- Ramos, C. M. B., Gil, G. O., & Cerino, C. M. A. (2009). Notas sobre el género *Bactris* (Arecaceae) en el estado de Tabasco, México. *Kuxulkab'*, 16(29). <https://doi.org/10.19136/KUXULKAB.A16N29.433>
- Rashid, T., Gnanasundaram, N., Appusamy, A., Kait, C. F., & Thanabalan, M. (2018). Enhanced lignin extraction from different species of oil palm biomass: Kinetics and optimization of extraction conditions. *Industrial Crops and Products*, 116, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.056>
- Raspolli Galletti, A. M., D'Alessio, A., Licursi, D., Antonetti, C., Valentini, G., Galia, A., & Nassi o Di Nasso, N. (2015). Midinfrared FT-IR as a tool for monitoring herbaceous biomass composition and its conversion to furfural. *Journal of Spectroscopy*, 2015, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2015/719042>
- Romanov, A., Ly, K., & Kirchoff, B. (2021). Use of polyethylene glycol (peg, carbowax) as an embedding medium produces results comparable to paraffin. *Edinburgh Journal of Botany*, 78, 1–13. <https://doi.org/10.24823/EJB.2021.382>

- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México (1ra. Edición digital). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Salinas Callejas, E., & Gasca Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, 75–82. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32512739009>
- Serna, F., Barrera, L., & Montiel, H. (2011). Impacto Social y Económico en el uso de Biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation*, 6(1), 100–114. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242011000100009>
- Široký, J., Blackburn, R. S., Bechtold, T., Taylor, J., & White, P. (2010). Attenuated total reflectance Fourier-transform Infrared spectroscopy analysis of crystallinity changes in lyocell following continuous treatment with sodium hydroxide. *Cellulose*, 17(1), 103–115. <https://doi.org/10.1007/s10570-009-9378-x>
- Suarezs, T. maría, & Berger, G. (2010). Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera (1a ed). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones (EdUNaM).
- Tapia-Tapia, E. del C., & Reyes-Chilpa, R. (2008). Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14(3), 95–112. <https://doi.org/10.21829/MYB.2008.1431208>
- Thomas, R. (2011). Palm-ID, a database to identify the palm stem anatomy with an expert system (Xper2). Université Paris 6 – Muséum National d'Histoire Naturelle. <http://www.infosyslab.fr/Palm-ID/>
- Thomas, R., & De Franceschi, D. (2013). Palm stem anatomy and computer-aided identification: The Coryphoideae (Arecaceae). *American Journal of Botany*, 100(2), 289–313. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200242>
- Tomlinson, P. B., Horn, J. W., & Fisher, J. B. (2011a). The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. *The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae*, 1–400. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSOBL/9780199558926.001.0001>

- Tomlinson, P. B., Horn, J. W., & Fisher, J. B. (2011b). The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. In The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSOBL/9780199558926.001.0001>
- Tuteja, J., & Sand, A. (2023). Introductory Chapter: Introduction to Structure Properties and Application of Lignin. In A. Sand & J. Tuteja (Eds.), Lignin (p. Ch. 1). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110024>
- Tzec-Simá, M. A., Orellana, R., & Robert, M. L. (2006). In vitro rescue of isolated embryos of *Bactris* Major Jacq. and *Desmoncus* *Orthacanthos* Mart., potentially useful native palms from the Yucatan peninsula (México). 42(1), 54–58. <https://doi.org/10.1079/IVP2005715>
- Unkelbach, G., & Hirth, T. (2022). Products and applications of different lignins from biorefineries. EFB Bioeconomy Journal, 2, 100036. <https://doi.org/10.1016/J.BIOECO.2022.100036>
- Valenciaga, D., & Chongo, B. (2004). La pared celular. Influencia de su naturaleza en la degradación microbiana ruminal de los forrajes. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 38(4), 343–350. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017793001>
- Villee, C. A. 1917-, Solomon, E. Pearl., Martin, C. E., Martin, D. W., & Berg, L. R. (1992). Biología. <https://books.google.com/books/about/Biolog%C3%ADa.html?id=g071AAACAAJ>
- Yang, S., Xiang, E., Shang, L., Liu, X., Tian, G., & Ma, J. (2020). Comparison of physical and mechanical properties of four rattan species grown in China. Journal of Wood Science, 66(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S10086-020-1850-0/FIGURES/3>
- Yao, H., Wang, Y., Liu, J., Xu, M., Ma, P., Ji, J., & You, Z. (2022). Review on Applications of Lignin in Pavement Engineering: A Recent Survey. Frontiers in Materials, 8, 803524. <https://doi.org/10.3389/FMATS.2021.803524/BIBTEX>

- Zabed, H., Sahu, J. N., Suely, A., Boyce, A. N., & Faruq, G. (2017). Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 475–501. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.076>
- Zoghلامي, A., & Paës, G. (2019). Lignocellulosic Biomass: Understanding Recalcitrance and Predicting Hydrolysis. *Frontiers in Chemistry*, 7, 874. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2019.00874>

iii. *BACTRIS* Y SUS USOS SOSTENIBLES EN MÉXICO: UN ENFOQUE ANATÓMICO²

***BACTRIS* AND ITS SUSTAINABLE USES IN MEXICO: AN ANATOMICAL APPROACH**

Belem Alejandro Jardón¹, Liliana Cuapio Hernández¹, Roberto Machuca Velasco¹, Alejandro Corona Ambriz¹, Amparo Borja de la Rosa^{1*}

¹Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México -Texcoco, C.P 56230

* Autor de correspondencia: ABorja [mborjad@chapingo.mx]

RESUMEN: *Bactris* y sus usos sostenibles en México: un enfoque anatómico. Los biomas tropicales son vitales, pero enfrentan crecientes tasas de deforestación debido al aumento de la demanda de recursos naturales. La familia Areaceae incluye a las palmas, las cuales tienen una gran importancia económica y cultural. Estas podrían desempeñar un papel clave en el futuro, gracias a su diversidad de usos, que abarcan materiales de construcción hasta alimentos, combustibles y medicinas. La distribución geográfica del género *Bactris*, comprende América Central y del Sur, con preferencia por hábitats tropicales, riberas de ríos y áreas perturbadas. En México, se localizan diversas especies, en el estado de Tabasco se encuentra el género *Bactris*, este se caracteriza por su morfología espinosa, tallos delgados y crecimiento en solitario o en colonias. La descripción anatómica incluye detalles sobre el estípite y su estructura vascular. Un aspecto importante es la identificación precisa de especies y cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo. La anatomía, las propiedades físicas y mecánicas, así como el número de haces vasculares que influyen en la densidad del estípite, han sido poco estudiada en México, lo que resalta la necesidad de una mayor investigación, especialmente en el ámbito de la anatomía y tecnología del tallo de las palmeras en México.

Palabras clave: Palmeras tropicales; Anatomía de estípites; Densidad del estípite; Biocumpuestos; Ecología de palmas; Taxonomía.

² Este capítulo fue enviado en 14 de octubre de 2023 a la Revista Científica *Ecosistemas* para su publicación.

ABSTRACT: *Bactris* and its sustainable uses in Mexico: an anatomical approach. Tropical biomes are vital, but they face increasing rates of deforestation due to increased demand for natural resources. The Arecaceae family includes palms, which have great economic and cultural importance. These could play a key role in the future, thanks to their diversity of uses, ranging from building materials to food, fuel and medicine. In Mexico, various species are located, in the state of Tabasco is the genus *Bactris*, this is characterized by its thorny morphology, its thin stems and its growth structure alone or in colonies. The geographic distribution of the genus *Bactris* is distributed in Central and South America, with a preference for tropical habitats, river banks and disturbed areas. In relation to anatomy, it includes details on the stipe and its vascular structure. An important aspect of mention is the accurate identification of species and how it has evolved over time. The anatomy, physical and mechanical properties, as well as the number of vascular bundles that influence the density of the stipe of the genus *Bactris*, have been little studied in Mexico, which highlights the need for further research, especially in the field of Anatomy and technology of the stipe of palm trees in Mexico.

Keywords: Tropical palm trees; Stipe anatomy; Stipe density; biocomposites; palm ecology; taxonomy

Introducción

Los bosques tropicales representan uno de los biomas de mayor relevancia al proporcionar una amplia gama de servicios ecosistémicos. Sin embargo, el crecimiento demográfico y la creciente demanda de recursos naturales han ocasionado alteraciones a su estructura original, debido al incremento de la deforestación en estos ecosistemas (Arasa-Gisbert et al. 2021).

La familia Arecaceae forma parte fundamental de los ecosistemas vulnerables y biodiversos como las selvas tropicales (Bellot et al. 2022) y son consideradas elementos de gran importancia económica y cultural, con potencial de uso como fuente de material genético para la agricultura del futuro (Dransfield et al. 2008).

En este ámbito resulta interesante observar el uso del estípote de las palmeras para la producción de biocompuestos reforzados con fibras naturales, estos se han utilizado en diferentes áreas, un ejemplo son las industrias automotrices, aeroespacial, de empaque y de construcción, debido a que no se requiere una alta capacidad de carga (Gurunathan et al. 2015). El caso de estudio de *Elaeis guineensis* Jacq., muestra la conversión del tronco de esta palma a biocombustibles, en específico etanol (Jung et al. 2011). Estos beneficios han sido poco estudiados en la familia Arecaceae, en México las investigaciones se han limitado trabajos enfocados a la ecología (43%), taxonomía y florística (22%), en menor proporción en paleobotánica, anatomía, genética, agroecología, biodiversidad y conservación (Pulido-Silva et al. 2022), en cuanto a su filogenia, es una de las más estudiadas y bien entendidas (Henderson et al. 1995).

Las palmeras, que son angiospermas monocotiledóneas, exhiben crecimiento secundario y abarcan al menos 181 géneros con unas 2600 especies en todo el mundo. Son especialmente comunes en las selvas tropicales, donde desempeñan un papel esencial en el dosel y el sotobosque. De igual modo se desarrollan en las proximidades de los manglares, a menudo formando extensos grupos uniformes. Además, dominan la vegetación en áreas permanentemente inundadas y bordean las riberas de los ríos a lo largo de largos tramos. Se agrupan en poblaciones numerosas (Henderson et al. 1995; Baker y Dransfield 2016) y presenta relevancia económica significativa principalmente por la diversidad de sus aplicaciones, que incluyen su uso en construcción, herramientas, prendas de vestir, ornamentación, combustible, fuentes de alimentación y medicina. Junto con las gramíneas y las leguminosas, conforman una de las tres familias de plantas con flores más importantes (Dransfield et al. 2008). En México la familia Arecaceae se distribuyen tanto altitudinal como latitudinalmente, reconociéndose 37 géneros y 132 especies (Alejandro y Hernández 2017). El género predominante es *Chamaedorea*, en menor proporción se tienen palmas silvestres y actualmente muchas de estas se encuentran en NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT 2010) bajo alguna de las tres categorías (en peligro de extinción, amenaza y sujetas a protección

especial), la mayor parte debido a las actividades antropogénicas (Quero 1994). En el estado de Tabasco, se han registrado 17 géneros y 29 especies de palmas, predominan en zonas de baja altitud, pero también se pueden encontrar en elevaciones que superan los 2,500 metros. Aunque generalmente se asocian climas cálidos, en la región prosperan incluso fuera de los límites tradicionales de los trópicos. (Alejandro y Hernández 2017).

Aspectos generales del género *Bactris*

En 1945, se publicaron las especies que habían sido colectadas e identificadas en México hasta ese momento, incluyendo menciones de *Bactris acuminata*, *Bactris baculifera* Karw. ex Mart. y *Bactris mexicana* Mart. En total, se informó sobre 19 géneros de la familia Arecaceae que estaban compuestos por 76 especies y 5 variedades. Sin embargo, es importante destacar que, en el estado de Tabasco solo se han registrado 2 especies del género *Bactris* (Hernández-Xolocotzi 1945). Debido principalmente a su morfología, las especies rara vez se recolectan para su estudio, lo cual ha llevado a su escasa presencia en herbarios del país (Henderson 2000).

El género *Bactris* no ha sido estudiado a detalle no solo por sus abundantes espinas a lo largo del tallo, sino que también son voluminosas como muchas otras palmeras (Sanders 1991). Por lo tanto, existe poco material con el cual discernir patrones variacionales intraespecíficos y en algunos casos, los tipos nomenclaturales de varias especies se han perdido debido a problemas burocráticos y desacuerdos botánicos como el caso de Barbosa Rodrigues o a las actualizaciones que ha sufrido el género (Wallace 1853; Burret 1933; Mori y Ferreira 1987). Esto llevo a un caos taxonómico, pero con la incorporación de nuevos estudios y bibliografía se ha incorporado un orden, permitiendo una compresión más amplia de las palmeras (Sanders 1991).

Su importancia va más allá de la economía, se ha demostrado que todas las especies de *Bactris* examinadas con respecto a la biología reproductiva exhiben protoginia y polinización por escarabajos del género Curculionidae, Staphylinidae, Nitidulidae, Dynastinae y Scarabidae, los cuales se alimentan de

polen, pétalos estaminados y tricomas y utilizan la inflorescencia como sitio de apareamiento, son parte fundamental del nicho ecológico (Salzman y Judd 1995).

Morfología y taxonomía

Son palmas monoicas, pequeñas o medianas y espinosas; los tallos suelen ser delgados, anillados, pueden crecer solitarios o en colonias (Quero 1992). Dentro de la subfamilia Arecoideae, las Coccoceae forman parte de las ocho tribus reconocidas, y se dividen adicionalmente en cinco subtribus, abarcando inicialmente 20 géneros con un total de 206 especies. No obstante, cuando se exploran las relaciones filogenéticas, esta clasificación experimenta un cambio significativo, agrupando finalmente un conjunto de 18 géneros y un total de 329 especies (Gunn 2004; Nayar 2017).

La subtribu Bactridinae se destaca por su notable diversidad, compuesta por cinco géneros claramente definidos. Este conjunto abarca una amplia gama de tamaños, algunas son acaulescentes, mientras que otras son erectas o trepadoras, espinosas y frutos con endocarpos oscuros y engrosados. Los géneros que componen esta subtribu son: *Acrocomia* con aproximadamente 34 especies y un número cromosómico de $2n=30$; *Aiphanes* cuenta con alrededor de 24 especies y un número cromosómico de $2n=30$; *Astrocaryum* cerca de 36 especies, aunque su número cromosómico aún se desconoce; *Bactris* con 77 especies con número cromosómico de $2n=30$ y *Desmoncus* incluye 66 especies, un número cromosómico de $2n=30$. En total, este conjunto integra 237 especies y su hábitat natural en América Central, el Caribe y las regiones América del Sur. Aun que, si se considera una clasificación basada en su morfología, este número aumenta a seis géneros, incluyendo a *Gastrococcus*, junto a los previamente mencionados (*Acrocomia*, *Aiphanes*, *Astrocaryum*, *Bactris* y *Desmoncus*) (Nayar 2017).

El género *Bactris* se destaca en comparación con otros miembros de la subtribu debido a la disposición única de sus tríadas y la convergencia de los pétalos pistilados, que se presentan durante breves períodos de floración. Además, se ha registrado un patrón semejante en la secuencia de floración dentro de este

género (Henderson 2000). Poseen hojas pinnadas espinosas con pecíolo corto a largo y espinoso, acanalado adaxialmente y redondeado abaxialmente. La vaina es grande, espinosa, y se abre en el lado opuesto al pecíolo. Las pinnas se disponen a regular o irregularmente en ambos lados del pecíolo en un plano común. La inflorescencia surge entre las hojas, generalmente es de tamaño reducido, con forma de cima o huso, suele ser más larga que la propia hoja. El espádice de la inflorescencia generalmente es simple en su estructura (Quero 1992). En México las características presentes en las dos especies son: *Bactris mexicana* Mart. es una especie de palma espinosa caracterizada por sus tallos de 2-6 cm de diámetro y una altura de hasta 8 m. Los individuos de esta palma tienen una apariencia esbelta y crecen de forma solitaria, sin formar agrupaciones densas (Ramos et al. 2009).

Bactris major es una palmera de dosel intermedio se desarrolla en agrupaciones densas, dando lugar a extensiones amplias conocidas como jahuactales. Sus hojas pinnadas de aspecto elegante contrastan notoriamente con la robusta protección de espinas presente en los tallos, en particular en la bráctea peduncular. La especie también se distribuye en Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica y Guayana Francesa (Alvarado-Segura et al. 2014; Machuca Machuca et al. 2022^a).

Ecología y distribución

La cantidad de especies que se atribuyen al género *Bactris* puede experimentar fluctuaciones significativas según el autor consultado, principalmente debido a la existencia de numerosos sinónimos presentes en la literatura botánica. Su rango geográfico se extiende desde México en América del Norte hasta Paraguay en América Central, las poblaciones más significativas se encuentran en Sudamérica, en particular en Brasil, y en las islas del continente americano (de Granville 1992; Quero 1992). Dentro de la región neotropical el género *Bactris* abarca un conjunto de 73 especies y 21 variedades, de acuerdo con los datos recopilados por Henderson (2000). A pesar de que la mayoría de estas especies se encuentran distribuidas en América Central y del Sur, algunas también tienen

presencia en las Antillas, incluyendo dos especies registradas en México (Ramírez-Amezcu 2010).

En México la distribución de palmas se limita a dos géneros. *Bactris mexicana* es una especie de palma silvestre que se localiza en Campeche, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco y Veracruz. Por su parte, *Bactris major*, según datos proporcionados por la International Union for Conservation of Nature (IUCN), abarca los estados de Tabasco, Chiapas y Quintana Roo (Machuca Machuca et al. 2022a; b), tal como se ilustra en la Figura 1.

Estas palmas son más abundantes en selvas tropicales subperennifolia y perennifolia (Henderson et al. 1995). La subtribu Bactridinae y el género *Bactris* se distinguen por su destacada capacidad adaptativa y las modificaciones morfológicas que han experimentado en el curso de su proceso de diversificación, influidas en gran medida por el tamaño de sus frutos y la restricción de movimiento de pequeños frugívoros en el sotobosque de los bosques neotropicales. En las poblaciones que habitan en zonas inundadas o anegadas, se ha observado a las especies de peces sudamericanos del género *Brycon* y *Piaractus* actúan como eficientes dispersores de semillas de estas palmeras. Estas adaptaciones le han permitido responder de manera dinámica a las variaciones climáticas, lo que ha resultado en la colonización de diversos ambientes, incluso en condiciones adversas (Galetti et al. 2008; Pintaud et al. 2015; Onstein et al. 2017).

Otra forma de propagación se ha logrado a través de los polinizadores de las flores de *Bactris*, los cuales han sido objeto de estudio estos son: *Curculionidae*, *Staphylinidae*, *Nitidulidae*, *Dynastinae* y *Scarabidae*, cuyos ciclos de vida están íntimamente relacionados con las palmeas, ya que se alimentan del polen, pétalos estaminados y tricomas, además utilizan la inflorescencia para reproducirse. *Bactris guineensis* es un ejemplo claro, siendo polinizada regularmente por insectos de la familia Apidae y Curculionidae En la región de la Amazonía Peruana, esta palmera depende principalmente de escarabajos pertenecientes a los géneros *Phyllotrox* y *Epurea* (Silberbauer-Gottsberger 1990;

Salzman y Judd 1995; Listabarth 1996; Ramírez-Amezcuca 2010; Brieva-Oviedo et al. 2020).

Henderson (1995) cuantificó las especies distribuidas en diferentes regiones de Sudamérica, se ha planteado la posibilidad de que el número sea aún mayor debido a la inclusión de diversos géneros los cuales incluyen a *Bactris*. No obstante en las llanuras costeras de Brasil, la presencia de este género no destaca particularmente. Aunque se ha estudiado la existencia de *Bactris setosa* en dicha área y perseveran frente a las cambiantes condiciones climáticas de la región, una característica distintiva de la subtribu. Durante una parte considerable del año, las zonas que habitan experimentan inundaciones con intervalos de sequía breves (Araujo 1992; Pintaud et al. 2008).

Anatomía de las palmas

La estructura anatómica de los tallos de las palmas se origina en el meristema apical durante su crecimiento. Estas células maduras deben mantener las necesidades fisiológicas de transporte y almacenamiento (Weiner y Liese 1995). La primera descripción científica de un tallo fue de un fósil petrificado realizado por Philippe de la Hire en su obra “Description d'un tronc de palmier pétrifié, et quelques réflexions sur cette pétrification” y actualmente las palmas se encuentran entre las primeras familias de angiospermas que son reconocibles en este registro (Moore y Uhl 1982).

El estípite o estipe constituye el tronco de las palmeras, se caracteriza por su falta de crecimiento secundario, está compuesto por tejidos lignificados que le otorgan una estructura sólida y desempeña varias funciones esenciales como: soporte y elevación de la copa de la palma, elemento de conexión en el transporte entre las raíces y la parte aérea y la capacidad de acumular sustancias de reserva, principalmente agua y almidón (Plumed y Costa 2013).

En el caso particular de la familia Arecaceae, no poseen meristemas laterales, por lo tanto no presentan propiamente una corteza si no células de parénquima severizado (Tomlinson et al., 2011). Los haces vasculares albergan xilema y floema estos son los principales conductos de agua y nutrientes dispersos en el

tallo, y la hoja de la palmera; la cantidad de este tejido ocupa un volumen máximo en un espacio mínimo, por esta razón no se requiere de un crecimiento secundario. Las palmeras a lo largo de su vida permanecen vivas a diferencia de las eudicotiledóneas (Tomlinson et al. 2011b).

El estípite de la palma está organizado en capas concéntricas, la sección transversal de un entrenudo revela que se divide en tres áreas: epidermis, una corteza y cilindro central de haces vasculares. La epidermis suele ser de paredes gruesas, variadamente esclerótica, a menudo fuertemente lignificada, rodeada por varios estratos exteriores y tejido parenquimático, puede incluir pelos o estomas (Dransfield et al. 2008).

En tallos más antiguos, el tejido cortical exhibe una expansión tangencial significativa, a menudo acompañada de la presencia de fibras. Se observa una transición en los tejidos protectores superficiales, los cuales pueden experimentar lignificación o suberización en estípites más maduros. Por otro lado, el cilindro central se endurece considerablemente debido al proceso de lignificación que ocurre con el paso del tiempo. Los haces vasculares centrales son dispersos, y cada uno de ellos incluye al menos 2 vasos y floema. El tejido fundamental engloba numerosas fibras de notable grosor y canales de mucílago, adquiere una estructura lacunosa como consecuencia de la expansión y el colapso de las células parenquimáticas (Tomlinson et al. 2011b; Thomas y De Franceschi 2013). Las hojas de las palmas en general son palmeadas y pinnadas, estas compuestas por tres partes: pecíolo, la vaina foliar y vaina central (anatómicamente uniforme en todas las palmas); En *Bactris* la lámina tiene una capa abaxial y adaxial. En la sección transversal de la lámina (figura 2) se observa la epidermis que es la capa más externa de la lámina y actúa como una cubierta protectora contra factores ambientales, puede tener una o dos capas de células de forma hexagonal y algunas veces contiene tricomas. Hipodermis: esta capa se ubica justo debajo de la epidermis puede consistir en varias capas de células, proporciona apoyo estructural adicional a la lámina. Mesófilo: es la parte central de la lámina donde ocurre principalmente la fotosíntesis, en la Tabla 1. se puede observar detalladamente los elementos anatómicos según Tomlinson et

al. (2011a). La vaina se caracteriza por una vaina externa, generalmente consiste en tejido clorénquimatoso y rodea completamente solo los vasos más pequeños, mientras que, la vaina interna está lignificada y presenta fibras acompañadas de células escleróticas que muestran marcas en las venas más grandes. Los vasos pequeños tienden a estar rodeados por una única capa de fibras, en cambio los más grandes a menudo presentan un patrón de células escleróticas en su entorno, especialmente en el floema también se pueden observar sacos de ráfidas son notables por su tamaño y frecuencia. Los haces vasculares transversales, aunque poco comunes, exhiben una estrecha envoltura de células escleróticas y se encuentran equidistantes desde cada superficie. Vaina central: es poco frecuente, también está rodeada por una fina capa de células escleróticas y los haces vasculares periféricos se disponen invertidos hacia la superficie adaxial. La elongación celular se presenta en dos bandas a cada lado del nervio central y raramente en otras áreas de la lámina. Estas características anatómicas ofrecen una visión detallada de la estructura de la lámina foliar en estas plantas y pueden tener implicaciones significativas para su función y adaptación (Tomlinson et al. 2011b; Cohen 2017).

Se han realizado estudios de las hojas en varias especies de este género en diversas condiciones (in vitro, in vivo y ex vitro). Estas investigaciones han revelado que se presentan características estructurales básicas similares a las descritas en otras palmeras, documentado detalladamente en "The Anatomy of Palms" (Tomlinson et al. 2011b). La variabilidad en la densidad estomática en función del entorno de crecimiento y la presencia de tricomas glandulares en ambas superficies de las hojas se destacaron como hallazgos significativos en el estudio (Batagin-Piotto et al. 2012).

Las flores la distribución de los vasos vasculares es más evidente en los sépalos y pétalos de las pistiladas en comparación con las estaminadas, brindando una mayor defensa contra posibles depredadores. El pistilo muestra vascularización; Los taninos en las estaminadas predominan a lo largo de los márgenes de los pétalos y en la superficie interna; en algunas especies, se ubican entre las fibras

que los rodean. Los haces de fibras y las ráfides se localizan en la región central o en la superficie interna de los pétalos (Salzman y Judd 1995).

La semilla está rodeada por un tejido nutritivo llamado endospermo, constituye la capa interna, formado por células desde oblongas hasta redondeadas que proporciona alimento para el crecimiento inicial de la plántula (Meerow 1969). El tegumento es la capa externa, pluriestratificado compuesto por aproximadamente 10 capas celulares con diversas formas, varían de redondas a ovaladas. En esta estructura se encuentran terpenoides, también conocidos como "isoprenoides" metabolitos secundarios comunes en organismos, especialmente en las plantas, junto con proteínas, compuestos fenólicos, taninos, lípidos y ácidos grasos, algunos de los cuales pueden inhibir la germinación; El embrión tiene una región proximal está cubierta por una protodermis que conecta el eje con el exterior y alberga el eje embrionario y una región distal con el cotiledón. El eje embrionario consta de células que formarán la plumule, compuesta por tres primordios foliares y células precursoras de la radícula. En la región distal del embrión, se hallan células de diversas formas. Los cotiledones desempeñan funciones vitales, incluyendo almacenamiento y fotosíntesis, además de ser responsables de la liberación, absorción y transporte de nutrientes desde el endospermo hacia el embrión durante la germinación. En esta zona, encontramos parénquima con contenido protoplasmático voluminoso, junto con haces vasculares concéntricos extendiéndose desde el eje embrionario (Iossi et al. 2006; Thoppil y Bishayee 2011; Nazário et al. 2013).

La raíz se compone de tres elementos. la epidermis compuesta por células de gran tamaño, con un engrosamiento ligero en su pared exterior, mientras que la capa hipodérmica está formada por células pequeñas que contienen taninos; El córtex externo muestra esclerificación y contiene células más anchas que presumiblemente forman canales para ráfidas esta transición se produce gradualmente hacia el cortex interna uniforme. No se han identificado fibras en esta estructura. En cuanto al tejido fundamental se observa una abundancia de almidón. El cortex más interna presenta lagunas de aire de forma irregular, y la estela carece de médula parenquimatosa. Además, la endodermis presenta

engrosamientos de pared en forma de "U" gruesos que casi obstruyen por completo el lumen celular (Tomlinson et al. 2011a).

Identificación de palmeras

La "Selectarum Stirpium Americanarum Historia" publicada por Nikolaus Joseph von Jacquin en 1763, se destaca como la primera obra que identificó el género *Bactris*, se describió al fruto de la palmera como exótica de forma ovalada, alcanzando alturas de hasta 7.62 m, diámetros 5.08 cm y hojas palmadas además de sus espinas en tallo (Jacquin Freiherr von et al. 1763) esto fue propuesto antes de establecer una descripción genérica.

Posteriormente, en 1777, Giovanni Antonio Scopoli consolida a el género con la nomenclatura "*Bactris* Jacquin ex Scopoli" en su obra "Introductio ad historiam naturalem sistens genera lapidum, plantarum, et animalium: hactenus detecta, characteribus essentialibus donata, in tribus divisa, subinde ad leges naturae". Se resalta el fruto carnoso y jugoso con una textura similar al cuero (coriácea). Además, se hace mención a *Bactris maioris* (*Bactris major*) como el componente principal utilizado en la producción de vino en el continente americano (Scopoli y Gerle 1777; Henderson 2000).

En el año 1871 Richard Spruce, un botánico y médico británico, destinó 15 años (1849-1864) a la investigación y recolección de la flora en el Valle de los Andes del norte. Durante este extenso período, utilizó las proporciones comparativas entre el cáliz pistilado y la corola como base para la clasificación de las especies pertenecientes al género *Bactris* en diversas secciones (Henderson 2000).

En el ámbito de la investigación de la familia Arecaceae, también conocida como Palmaceae, uno de los pioneros destacados fue Carl Friedrich Philipp von Martius originario de Erlangen, Alemania. Martius cuyo padre era farmacéutico realizó sus estudios de medicina en su ciudad natal entre 1810 y 1814. Su trayectoria profesional comenzó como asistente en la Academia Bávara de Ciencias bajo la tutela del Director del Jardín Botánico de Múnich junto con el zoólogo Johann Baptist von Spix, llevó a cabo una exploración en Brasil entre 1817 y 1820 al regresar a Múnich ocupó posiciones relevantes como conservador del Jardín

Botánico y profesor de botánica, ganó renombre como científico y explorador gracias a su exhaustivo trabajo en botánica, etnografía y estudios lingüísticos centrados en las comunidades indígenas de Brasil, así como por su influyente obra "Historia Naturalis Palmarum" (Rall 1997).

El botánico especializado Andre J. Henderson ha desempeñado un papel fundamental al ofrecer una valiosa contribución en términos de información taxonómica relacionada con el género a través de sus publicaciones regulares. Estas contribuciones, en particular, se han materializado en las monografías de la serie "Flora neotropica" publicaciones respaldadas por New York Botanical Garden Press. Donde ha optado por seguir la clasificación previamente delineada por destacados investigadores especializados en el ámbito de las palmas John Dransfield y Natalie W. Uhl, situando al género *Bactris* en la subtribu Bactridinae de la familia neotropical (Arecoideae, Cocoeae). Este posicionamiento taxonómico engloba a las palmas del género *Bactris* en una cercana relación con otros géneros como: *Aiphanes*, *Acrocomia*, *Gastrococos*, *Astrocaryum* y *Desmoncus* (Henderson 2000).

Diversos investigadores han estudiado el género *Bactris* a nivel de especie en distintas regiones geográficas. En Surinam se llevó a cabo un análisis titulado "The Indigenous Palms of Suriname" (Wessels Boer 1965). En Brasil se llevaron a cabo dos estudios importantes en la región de Bahía se exploraron las especies en la obra "The Indigenous Palms of the State of Bahia, Brazil" (Noblick 1991) y en Espírito Santo se realizó un estudio sobre "Palmeiras (Palmae) do gênero *Bactris* nativas no Espírito Santo, Brasil" (Fernandes et al. 1995). En Venezuela también ha sido objeto de estudio en "Palmas indígenas de Venezuela" (Wessels Boer 1988). La región amazónica se encuentra representada en "Field Guide to the Palms of the Americas" (Henderson et al. 1995). En las Antillas se llevó a cabo un análisis focalizado en examinar las relaciones entre las especies de *Bactris* (Salzman y Judd 1995). Ecuador, por su parte, ha sido objeto de estudio con un enfoque en la distribución que considera criterios basados en las categorías de la Lista Roja de la UICN (Borchsenius y Skov 1999).

A mediados del siglo XIX se publicaron los primeros artículos con observaciones sobre la vegetación de México, buscando establecer correlaciones entre la altitud, el clima y otros factores ambientales (Rzedowski 2006). Sin embargo, en lo que respecta al género *Bactris*, uno de los primeros informes completos para México y Centroamérica se encuentra en "Mesoamerican *Bactris* (Palmae)" proporciona una descripción detallada de veinte especies, dos de ellas con dos variedades cada una, reconocidas en la región. Cada especie y variedad se describe en profundidad, incluyendo detalles sobre su distribución y hábitat (Nevers et al. 1996).

La limitada cantidad de investigaciones centradas en el uso y manejo de las palmas en México, en la mayoría de los casos, estos estudios son bastante generales en algunos apenas se menciona el uso de estas (Quero, 1994a). Un enfoque más exhaustivo examina el uso y manejo de cuatro especies de *Sabal* que prosperan en la Península de Yucatán. A pesar de ello, existe una necesidad evidente de abordar el estudio de diversas especies como *Sabal*, *Brahea*, *Erythea*, *Bactris*, *Acrocomia*, *Desmoncus*, *Scheelea* y *Orbignya* (Caballero, 1994).

Caracterización anatómica de las palmeras en México

Existen escasas investigaciones dedicados al estudio de la anatomía de las palmeras en México, en 1994 la situación era la disminución de las poblaciones por la actividad del hombre, debido a la sobreexplotación directa de las poblaciones o por la alteración o destrucción indirecta de la vegetación natural, la invasión de especies representa un riesgo (Quero 1994).

En la publicación "Studies on the potential uses of some native palms of the Yucatán Peninsula (Mexico) as substitutes of Rattan" se plantea la posibilidad de utilizar algunas de estas palmas nativas (considera *Bactris mexicana* y *B. balanoidea*) como sustituto de algunas de las especies de *Calamus* L. que se importan a México. Sin embargo, las muestras de *Bactris* no contaron con tratamientos químicos previos, mientras que, las muestra de rattan fueron suministradas por un fabricante de muebles. Los resultados arrojan que existen

características anatómicas semejantes entre *Bactris* y rattan; hasta este momento es el único estudio donde se plantea una evaluación de las propiedades físicas de la palmera (Orellana et al. 1999).

En el artículo titulado “In vitro rescue of isolated embryos of *Bactris major* Jacq. and *Desmoncus orthacanthos* Mart., potentially useful native palms from the Yucatán Peninsula (Mexico)” centrado en la investigación de *Bactris major*, se exploró la viabilidad de la palmera como sustituto del rattan, se enfocó en el cultivo de embriones aislados para una posible vía en la producción de plántulas en viveros. Otro estudio generado a partir del trabajo de Orellana et. al (1999) análisis abordó aspectos anatómicos y tecnológicos es uno de los primeros estudios de la especie en México (Orellana et al. 1999; Tzec-Simá et al. 2006).

En el género *Bactris* los vasos del metaxilema exhiben paredes terminales transversales o ligeramente oblicuas, en combinación de placas perforadas simples y escalariformes, con reducido número de barras de engrosamiento (Magellan et al. 2015). Este estudio contribuye a la identificación y ubicación sistemática de los tallos de palmeras fósiles.

En el “Estudio taxonómico de la familia Arecaceae en el municipio de Macuspana, Tabasco, México” se realizó una amplia identificación de diversas especies de palmeras, esta labor implicó una exhaustiva revisión del acervo bibliográfico disponible en el “Herbario UJAT” y la biblioteca “Dr. Juan José Beauregard Cruz” de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). El proceso incluyó la minuciosa inspección de muestras de herbario y salidas de campo mensuales que se extendieron a lo largo de un año. Durante las expediciones de campo, se llevaron a cabo colectas de ejemplares de palmas en estado reproductivo, estas salidas cubrieron una gama de tipos de vegetación incluyendo pastizales, sabanas, selvas altas y medianas perennifolias, así como áreas inundables, donde se encontraban poblaciones de *Bactris* (Alejandro y Hernández 2017).

Debido a que *Bactris* exhibe similitudes con *Calamus* los datos de esta última se han utilizado para la aplicación de estándares en la evaluación de propiedades físicas y mecánicas. En este proceso se selección ejemplares sanos de rattan

todos con diámetros aproximadamente iguales. Se optó por seguir los métodos descritos en " Comparison of physical and mechanical properties of four rattan species grown in China". Estos son consistentes con los estándares aplicados a materiales similares, como el bambú los resultados se analizan de acuerdo con las normativas establecidas para el bambú y la densidad básica por el método de desplazamiento en agua (Yang et al. 2020).

Se ha mencionado que el número de haces vasculares influye directamente en la densidad de las palmeras, aun cuando los haces vasculares en la zona apical suelen ser mayor y se creería tendría mayor densidad, sin embargo, las células jóvenes no presentan significancia en la densidad (Darwis et al. 2013).

Usos del género

Algunos usos registrados para el género son se emplean los frutos para la elaboración de bebidas saborizadas y licores. En el estado de Tabasco, se emplean los frutos de *Bactris major* con propósitos medicinales, cocinar el fruto pelado junto con miel de abeja para preparar un jarabe para problemas relacionados con las vías respiratorias. En estípites se utiliza para joyería (*Bactris gasipaes*) y la raíz de *Bactris acanthocarpa* Mart es empleada contra la malaria (Balslev et al. 2008; Instituto Nacional Indigenista et al. 1994; Pinheiro y D'Almeida 2020; Mendoza et al. 2022)

Conclusión

Los diversos estudios en torno al género *Bactris* enriquecen nuestro entendimiento de las palmas y su importancia socioambiental, destaca el interés de los investigadores al desempeñar un papel fundamental al proporcionar información taxonómica detallada del género, dejando un legado duradero en la investigación botánica de las palmas. A pesar de los esfuerzos por cuantificar las especies de *Bactris* en Sudamérica, la posibilidad de que existan más sigue siendo una consideración importante, dada la continua exploración y el descubrimiento del taxa. La anatomía de *Bactris* se ha documentado desde la primera descripción científica de un tallo de palma fósil hasta el análisis de

ejemplares actuales, esto ha generado la oportunidad de estudiar las propiedades físicas y mecánicas con el fin de valorar a las especies por sus cualidades.

Referencias

- Alejandro, M.A.M., Hernández, A.G. 2017. Estudio taxonómico de la familia “Arecaceae” en el municipio de Macuspana, Tabasco, México. *Kuxulkab'* 23(47): 05-15. doi: 10.19136/kuxulkab.a23n47.2621.
- Alvarado-Segura, A.A., Calvo-Irabién, L.M., Balslev, H. 2014. Palms of eastern Yucatan Peninsula, Mexico: changes along a rainfall gradient. *Palms* 58(2): 77-85.
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V., Ortiz-Díaz, J.J., Martínez, E. 2021. Regeneración de plantas leñosas en fragmentos de bosque tropical húmedo: estructura de la comunidad y registros nuevos para Chiapas, Tabasco y México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92: e923502-e923502. doi: 10.22201/ib.20078706e.2021.92.35.02.
- Araujo, D.S.D. 1992. 21 - Vegetation types of sandy coastal plains of tropical Brazil: a first approximation. En Seeliger, U. (ed.), *Coastal Plant Communities of Latin America*, pp. 337-347. *Academic Press*, San Diego. doi: 10.1016/B978-0-08-092567-7.50027-1.
- Balslev, H., Grandez, C., Paniagua, Z.N.Y., Møller, A.L, Hansen, S.L. 2008. Palmas (Arecaceae) útiles en los alrededores de Iquitos, Amazonía Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 15:121-132.
- Baker, W.J., Dransfield, J. 2016. Beyond genera *Palmarum*: progress and prospects in palm systematics. *Botanical Journal of the Linnean Society* 182: 207-233. doi: 10.1111/boj.12401.
- Batagin-Piotto, K.D., Almeida, C.V. de, Piotto, F.A., Almeida, M. de. 2012. Anatomical analysis of peach palm (*Bactris gasipaes*) leaves cultivated in vitro, ex vitro and in vivo. *Brazilian Journal of Botany* 35 (1): 71-78.
- Bellot, S., Lu, Y., Antonelli, A., Baker, W.J., Dransfield, J., Forest, F., Kissling, W.D. et al. 2022. The likely extinction of hundreds of palm species

- threatens their contributions to people and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* 2022 6(11): 1710-1722. doi: 10.1038/s41559-022-01858-0.
- Borchsenius, F., Skov, F. 1999. Conservation status of palms (Arecaceae) in Ecuador. *Acta Botánica Venezuéllica* 22 (1): 221-236. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/44652979>
- Brieva-Oviedo, E., Maia, A.C.D., Núñez-Avellaneda, L.A. 2020. Pollination of *Bactris guineensis* (Arecaceae), a potential economically exploitable fruit palm from the Colombian Caribbean. *Flora* 269: 151628. doi: 10.1016/j.flora.2020.151628.
- Burret, M. 1933. *Bactris* und verwandte palmengattungen. *Repertorium novarum specierum regni vegetabilis* 34(10-12): 167-184. doi: 10.1002/fedr.19330341006.
- Cohen, Y. 2017. Morphology and physiology of palm trees as related to *Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* infestation and management. En V. Soroker and S. Colazza (eds.). *Handbook of Major Palm Pests*, pp. 39-53. doi: 10.1002/9781119057468.ch2.
- Darwis, A., Ridho Nurrochmat, D., Massijaya, Y., Nugroho, N., Alamsyah, E.M., Bahtiar, E.T., Safe'i, R. 2013. Vascular bundle distribution effect on density and mechanical properties of oil palm trunk. *Asian Journal of Plant Sciences* 12: 208-213. doi: 10.3923/AJPS.2013.208.213.
- Dransfield, J., Uhl, N.W., Asmussen, C.B., Baker, W.J., Harley, M.M., Lewis, C.E. 2008. *Genera Palmarum. The Evolution and Classification of the Palms*. Kew Publishing, Kew, Royal Botanic Gardens.
- Fernandes, H. de Q.B., Peixoto, A.L., Museu Nacional (Brasil). 1995. Palmeiras (Palmae) do gênero *Bactris* nativas no Espírito Santo, Brasil. UFRJ/Museu Nacional/Curso de Pós-Graduação em Botânica (ed.),. Rio de Janeiro.
- Galetti, M., Donatti, C.I., Pizo, M.A., Giacomini, H.C. 2008. Big Fish are the Best: Seed dispersal of *Bactris glaucescens* by the pacu fish (*Piaractus mesopotamicus*) in the Pantanal, Brazil. *Biotropica* 40(3): 386-389. doi: 10.1111/J.1744-7429.2007.00378.X.

- de Granville, J.-J. 1992. The genus *Bactris* (Arecaceae), taxonomy and distribution in the Guianas. En *Workshop flora of the Guianas*. University of Guyana. Cayenne: ORSTOM. Georgetown, Guyana
- Gunn, B. 2004. The phylogeny of the Cocoeae (Arecaceae) with emphasis on *Cocos nucifera* L. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 91(3): 505-522.
- Gurunathan, T., Mohanty, S., Nayak, S.K. 2015. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 77: 1-25. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.06.007.
- Henderson, A. 2000. *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica* 79: 1-183.
- Henderson, A., Galeano, G., Bernal, R. 1995. *Field guide to the palms of the Americas*. Princeton University Press. New Jersey, Estados Unidos.
- Hernández-Xolocotzi, E. 1945. Notes on the palms of Mexico. *Botanical Sciences* 3: 3-4. doi: 10.17129/botsci.921.
- Lossi, E., Moro, F.V., Sader, R. 2006. Seed anatomy and germination of *Phoenix roebelenii* O'Brien (Arecaceae). *Revista Brasileira de Sementes* 28(3): 121-128. doi: 10.1590/S0101-31222006000300018.
- Jacquin Freiherr von, N.J., Jacquin Freiherr von, N.J., Kraus., Kurtzböck., J. 1763. *Selectarum stirpium Americanarum historia*. Krausiana, Vindobonae.
- Jung, Y.H., Kim, I.J., Kim, J.J., Oh, K.K., Han, J.-I., Choi, I.-G., Kim, K.H. 2011. Ethanol production from oil palm trunks treated with aqueous ammonia and cellulase. *Bioresource Technology* 102(15): 7307-7312. doi: 10.1016/j.biortech.2011.04.082.
- Listabarth, C. 1996. Pollination of *Bactris* by Phyllostox and Epurea. Implications of the Palm Breeding Beetles on Pollination at the Community Level. *Biotropica* 28(1): 69-81. doi: 00063606, 17447429.
- Machuca Machuca, K., Martínez Salas, E., Quero, H., Samain, M.-S. 2022a. *Bactris major*. The IUCN Red List of Threatened Species. doi: 10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T55947862A55947887.en.

- Machuca Machuca, K., Martínez Salas, E., Quero, H., Samain, M.-S. 2022b. *Bactris mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. doi: 10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T58405443A59431655.en.
- Magellan, T.M., Tomlinson, P.B., Huggett, B.A. 2015. Stem anatomy in the spiny american palm *Bactris* (Arecaceae-Bactridinae). *Hoehnea* 42(3): 567-579. doi: 10.1590/2236-8906-18/2015.
- Meerow, A. 1969. Palm Seed Germination. *Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida Cooperative Extension Service*. Boletim 274 doi: 10.32473/edis-ep238-2004.
- Mendoza, V., Sandoval, D., Hellmuth, N. 2022. Huiscoyol Palms, *Bactris major* and *Bactris mexicana*. *FLAAR Mesooamérica*, pp .31-32.
- Moore, H.E., Uhl, N.W. 1982. Major trends of evolution in palms. *The Botanical Review* 48(1): 1-69. doi: 10.1007/BF02860535.
- Mori, S.A., Ferreira, F.C. 1987. A distinguished Brazilian botanist, João Barbosa Rodrigues (1842–1909). *Brittonia* 39: 73-85. doi: 10.2307/2806978.
- Nayar, N.M. 2017. Chapter 3-Taxonomy and Intraspecific Classification. En Nayar, N. M. (ed.), *The Coconut*, pp. 25-50. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-809778-6.00003-6.
- Nazário, P., Ferreira, S., Borges, E., Genovese-Marcomini, P., Mendonça, M. 2013. Anatomical and histochemical aspects of the peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) seed. *Journal of Seed Science* 35: 171-178. doi:10.1590/S2317-15372013000200005.
- Nevers, G. De, Henderson, A., & Grayum, M. H. (1996). Mesoamerican *Bactris* (Palmae). *California Academy of Sciences*, 49(7), 171–219.
- Noblick, L.Ronald. 1991. *The indigenous palms of the state of Bahia, Brazil*. Doctoral thesis, University of Illinois at Chicago, Chicago.
- Onstein, R.E., Baker, W.J., Couvreur, T.L.P., Faurby, S., Svenning, J.-C., Kissling, W.D. 2017. Frugivory-related traits promote speciation of tropical palms. *Nature Ecology & Evolution* 1: 1903-1911. doi: 10.1038/s41559-017-0348-7
- Orellana, R., Herrera, P., Rebollar, S., Escalante, J., López, G., Escalante, S.,

- Gus, L. 1999. Studies on the potential uses of some native palms of the Yucatan Peninsula (Mexico) as substitutes of rattan. *Acta Horticulturae* 486: 291-295. doi:10.17660/ACTAHORTIC.1999.486.43
- Ortiz Albornoz, G.L. 2017. *Caracterización anatómica foliar de especies de la subtribu Bactridinae (Arecaceae)*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Argueta, A., Gallardo Vázquez, M. C., Instituto Nacional Indigenista. (1994). *Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana*. Instituto Nacional Indigenista (Ed.), pp. 1786. Tlacopac, México.
- Pinheiro, A.P.P., D'Almeida, J.R.M. 2020. Peach palm: Pseudo-wood for sustainable jewelry design. *Materials Today: Proceedings* 33: 1869-1873. doi:10.1016/J.MATPR.2020.05.228
- Pintaud, J.-C., Galeano, G., Balslev, H., Bernal, R., Borchsenius, F., Ferreira, E., de Granville, J.-J. et al. 2008. Las palmeras de América del Sur: diversidad, distribución e historia evolutiva. *Revista Peruana de Biología* 15: 7-30. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-993320080000000003&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Pintaud, J.-C., Montúfar, R., Sanín, M., Anthelme, F. 2015. Patrones genéticos y ecológicos, naturales y antropogénicos, en las palmas del noroeste de América del Sur. En: H. Balslev, M. Macia, H. Navarrete (eds.). *Cosecha de Palmas en el Noroeste de Suramérica: Bases científicas para su manejo y conservación* pp. 27-56. Centro de Publicaciones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Plumed, J., Costa, M. 2013. *Las palmeras. monografías botánicas*. En: Universitat de València (ed.). Jardín Botánico de la Universitat de València.
- Pulido-Silva, M.T., Quero, H., Hodel, D., Lopez-Toledo, L. 2022. Richness, Endemism and Floristic Affinities of the Palms of Mexico. *Botanical Review* 1-25. doi:10.1007/S12229-022-09284-4/FIGURES/5.
- Quero, H.J. 1994. Las palmas de México: presente y futuro. *Botanical Sciences*

55: 123-127.doi:10.17129/botsci.1455

- Quero, H.J. 1992. *Las palmas silvestres de la Península de Yucatán*. En: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología (eds.). México, Distrito federal.
- Rall, M. 1997. Carl Friedrich Philipp von Martius, Frey Apollonio. novela del Brasil, vivida y contada por Hartoman. *Anuario de Letras Modernas* 7: 35-41. Disponible en: <http://ru.ffyl.unam.mx/handle/10391/1591>
- Ramírez-Amezcu, Y. 2010. *Bactris major* along the Pacific Coast of Mexico. *Palms* 54(4): 197-200. Disponible en: <https://palms.org/wp-content/uploads/2016/05/v54n4p197-200.pdf>
- Ramos, C.M.B., Gil, G.O., Cerino, C.M.A. 2009. Notas sobre el género *Bactris* (Arecaceae) en el estado de Tabasco, México. *Kuxulkab'* 16(9). doi: 10.19136/kuxulkab.a16n29.433
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. México, D.F.
- Salzman, V.T., Judd, W.S. 1995. A revision of the Greater Antillean species of *Bactris* (Bactridinae: Arecaceae). *Brittonia* 47: 345-371. doi: doi.org/10.2307/2807563.
- Sanders, R.W. 1991. Cladistics of *Bactris* (Palmae): survey of characters and refutation of burret's classification. *Selbyana* 12: 105-133. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/41759779>.
- Scopoli, G.A., Gerle, W.A. 1777. *Introductio ad historiam naturalem sistens genera lapidum, plantarum, et animalium:hactenus detecta, characteribus essentialibus donata, in tribus divisa, subinde ad leges naturae*. Wolfgangum Gerle, Pragae. doi: 10.5962/bhl.title.10827.
- SEMARNAT 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. En Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Silberbauer-Gottsberger, I. 1990. Pollination and evolution in palms. *Phyton* 30: 213-233.

- Thomas, R., De Franceschi, D. 2013. Palm stem anatomy and computer-aided identification: the Coryphoideae (Arecaceae). *American journal of botany* 100(2): 289-313. doi:10.3732/ajb.1200242.
- Thoppil, R.J., Bishayee, A. 2011. Terpenoids as potential chemopreventive and therapeutic agents in liver cancer. *World Journal of Hepatology* 3(9): 228. doi: 10.4254/wjh.v3.i9.228.
- Tomlinson, P.B., Horn, J.W., Fisher, J.B. 2011a. Subfamily Arecoideae. En, pp. 185-240. En Oxford University Press (eds.). *The anatomy of palms*, pp. 185-240.
- Tomlinson, P.B., Horn, J.W., Fisher, J.B. 2011b. *The anatomy of palms: Arecaceae – Palmae*. En Oxford University Press (eds.), pp. 1-400.
- Tzec-Simá, M.A., Orellana, R., Robert, M.L. 2006. In vitro rescue of isolated embryos of *Bactris major* jacq. and *Desmoncus orthacanthos* Mart., potentially useful native palms from the Yucatan peninsula (México). *In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant* 42:54-58. doi:10.1079/IVP2005715
- Wallace, A.R. 1853. *Palm trees of the Amazon, and their uses*. En: Double 9 Books (eds.). Cambridge University Press. London.
- Weiner, G., Liese, W. 1995. Wound Response in the Stem of the Royal Palm. *Iawa Journal* 16: 433-442. doi:10.1163/22941932-90001432
- Wessels Boer, J.G. 1988. *Palmas indígenas de Venezuela*. 17.a ed. Pittieria (ed.). Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Wessels Boer, J.G. 1965. The indigenous palms of Suriname. En: Brill Archive(eds.).Gelderland, Netherlands.
- Yang, S., Xiang, E., Shang, L., Liu, X., Tian, G., Ma, J. 2020. Comparison of physical and mechanical properties of four rattan species grown in China. *Journal of Wood Science* 66: 1-8. doi: 10.1186/s10086-020-1850-0

TABLAS

Table 1. Anatomical Characteristics of Leaf Lamina (Tomlinson et al. 2011a)

Tabla 1. Características Anatómicas de la Lámina de una hoja (Tomlinson et al. 2011a)

Sección	Características
Adaxial	Las células adaxiales, tienen una forma uniformemente hexagonal y se extienden transversalmente.
Abaxial	En la parte abaxial, las células son irregulares.
Epidermis	La capa superior de células en la lámina está formada por células epidérmicas adaxiales que se extienden oblicuamente. Estas células son rómbicas y están dispuestas en filas, con filas más anchas por encima de las paredes hipodérmicas anticlinales. En la parte inferior, las células tienen bandas costales y son rectangulares o rómbicas, y se alternan con 2-3 filas de células más estrechas e irregulares. Las células suelen tener paredes y una cutícula delgada.
Hipodermis	Justo debajo de la epidermis, encontramos células más grandes que carecen de cloroplastos y tienen paredes delgadas. En plantas que crecen a la sombra, la hipodermis está ausente, mientras que en ambientes soleados, se presenta como múltiples capas de células.
Mesófilo	El mesófilo contiene tricomas con bases estrechas formadas por células lineales cutinizadas o escleróticas, que se extienden en filamentos distales. En el subgrupo Bactridinae, encontramos una capa epidérmica adaxial en forma de hexágono. Las fibras en el mesófilo se organizan en haces de células estrechas y forman hebras de hasta 50 células, con algunas de las células más grandes teniendo una sección transversal circular. En ciertas especies, se forman esclereidas que se ramifican en el

	mesófilo.
Estomas	Son poco frecuentes en la superficie adaxial de la lámina y no están dispuestos en filas.
Vasos	Se distribuyen de manera difusa en el mesófilo, ubicándose en el centro o en la superficie abaxial de la lámina. No presentan extensiones de vainas vasculares.
Cámara subestomática	Es corta, ancha y a veces se agranda.
Estratos	La lámina tiene de 4 a 9 capas de células, lo que determina su grosor. Generalmente, no contiene una capa de parénquima en empalizada.
Células guarda	Son grandes y tienen 2 estratos cutinizados que son generalmente equivalentes.

FIGURAS

Figure 1. Distribution of *B. major* and *B. mexicana* in Mexico based on data from IUCN (Machuca Machuca et al. 2022b; a)

Figura 1. Distribución de *B. major* and *B. mexicana* in Mexico basada en datos de las IUCN (Machuca Machuca et al. 2022b; a)

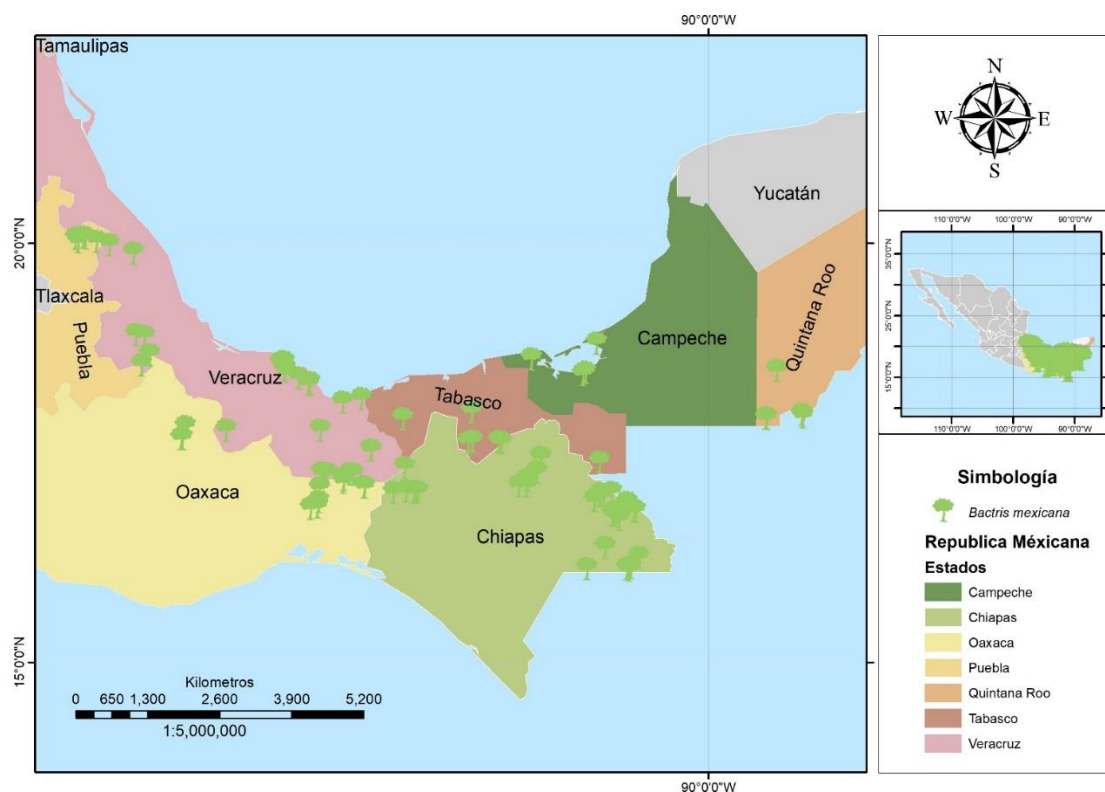
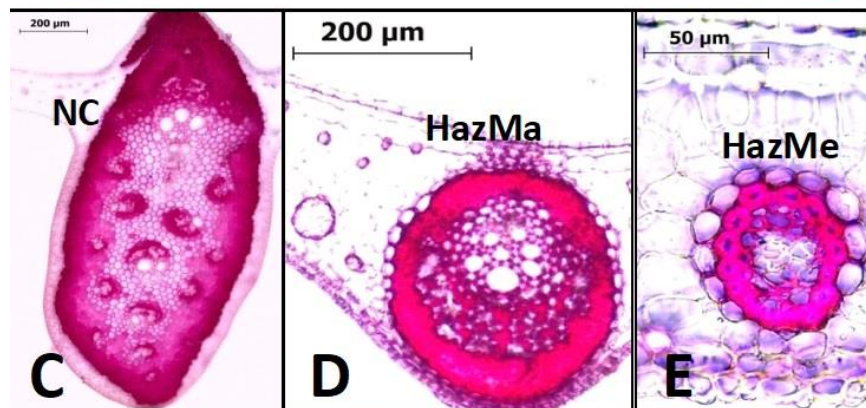
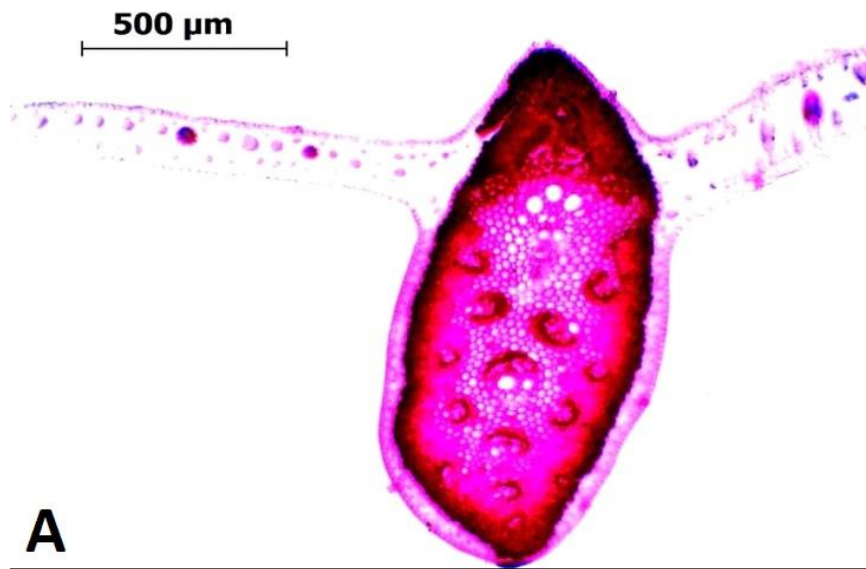


Figure 2. Cross-section of the leaf blade of *Bactris halmoorei*. A) Full view of the blade, B) Partial view of the blade, C) Central vein, D) Major vascular bundle (HazMa), E) Minor vascular bundle (HazMe), F) Stoma (Sto) and trichome (Tri). Magnification: 50X, scale bar 500 μm in A; 100X, scale bar 200 μm in B, C, and D; 400X, scale bar 50 μm in E and F (Ortiz Albornoz 2017).

Figura 2. Sección transversal de la lámina de *Bactris halmoorei*. A) Vista completa de la lámina, B) Vista parcial de la lámina, C) Nervadura central, D) Haz vascular mayor (HazMa), E) Haz vascular menor (HazMe), F) Estoma (Esto) y tricoma (Tri). Aumento: 50X, barra 500 μm en A; 100X, barra 200 μm en B, C y D; 400X, barra 50 μm en E y F (Ortiz Albornoz 2017).



IV. CHEMICAL COMPOSITION OF LIGNOCELLULOSE FROM *Bactris*

mexicana MART. WITH POTENTIAL FOR BIOFUEL³

Belem Alejandro Jardón¹, Ma. Amparo Máxima Borja De La Rosa^{1*}, Liliana Cuapio Hernández¹, Roberto Machuca Velasco¹, Alejandro Corona Ambríz¹

Acknowledgments We thank the Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT); we acknowledge the valuable collaboration of the División de Ciencias Forestales of the Universidad Autónoma de Chapingo in the conduct of this study; to Dr. Agustín Maceda Rodríguez, Postdoctoral Researcher of the Laboratory of Structural Botany, for his invaluable assistance in the elaboration of the article and data collection; to Dr. Pedro Mercado Ruaro of the Laboratory of Morpho-anatomy and Cytogenetics of the Universidad Nacional Autónoma de México for facilitating the use of the epifluorescence microscope.

Abstract

The use of biomass plays a crucial role in the evolution of a sustainable society, especially in the context of the energy crisis and climate change. Second-generation biofuels have gained relevance as an alternative to fossil fuels, despite requiring a high initial energy investment. On the other hand, they offer an energy yield 30% higher than that invested. For this reason, interest has been taken in investigating biologically resistant species, such as *Bactris mexicana* Mart, capable of adapting to climatic variations and even to flooded areas. The objective of this study was to determine the chemical composition of lignocellulose in the stipe of this species. Three sections of the stem were analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy and samples were taken for anatomical analysis. The results revealed subtle disparities in the distribution of cellulose, lignin, and hemicellulose among the segments studied; however, all showed potential for use as biofuel.

Keywords Cellulose, Stipitate, FTIR, Lignin, Biomass, Florescence, Mexican palm.

Abbreviations

S/G	Syringyl to guaiacyl ratio
TCI	Total Crystallinity Index

³ Este capítulo está en proceso de revisión para su publicación en la revista científica Biomass Conversion and Biorefinery

¹ Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, México.

* Autor de correspondencia: mborjad@chapingo.mx

LOI	Lateral Order Index
HBI	Hydrogen bond intensity
FTIR	Fourier transform infrared

Introduction

The use of biomass is key in the development of a sustainable industrial society, because it is one of the main sources of bioenergy that allows an efficient management of greenhouse gases, in response to the energy crisis and climate change [1, 2]. Although the production of biofuels demands an initial energy investment to carry out all the conversion stages, they provide an energy yield of 30% more than that used in their manufacture [3]. The potential of biofuels represents the ability to gradually replace fossil fuels, since they comply with a closed carbon cycle, so that during combustion or processing they generate zero net emissions [4].

Lignocellulose is composed of three biopolymers: cellulose: provides mechanical strength and consists of d-glucose with a C4-OH group (non-reducing end) and a C1-OH terminal group (reducing end) with an aldehyde structure. It is widely used in the development of pharmaceuticals and food products due to its ability to improve their characteristics by chemical modifications [5]. Lignin provides structural support and contributes to the formation of plant cell walls. Its chemical structure consists of three main units of hydroxylated cinnamic alcohols: guaiacylpropanol (G), syringylpropanol (S), and p-hydroxyphenylpropanol (H), these units are connected by various chemical bonds such as β -O-4, β -5 and β - β [6]. Some of the uses are as antioxidants, and protection against UV radiation, it is a biocompatible polymer in the medical industry being an alternative for the manufacture of hydrogels in tissue engineering [7]. Hemicelluloses are highly branched low molecular weight polymers, they can be homopolymers or heteropolymers, formed by anhydrous- β -(1-4)-d-xylopyranose, glucopyranose, mannopyranose, and galactopyranose units. [8]. These have been the subject of research in various areas and some of the registered uses are as supercapacitors [9], biofuels [10], hydrogels [11] and their potential applications as bioplastics are currently being explored. [12].

Palms have been the subject of study and use in various industries, for example: the fibers of *Cocos nucifera* L. The automotive industry incorporated them in the back of seats [13]. In the aerospace field, the feasibility of using the oil extracted from the fruit of *Elaeis guineensis* Jacq. as a biodiesel has been investigated [14] While the leaves are highly efficient in the production of ethanol. [15]. The main biofuels derived from oil palm (*E. guineensis*) stem, leaves, and fruit include biomethanol, biomethane, and biohydrogen, in addition to those mentioned above [16]. Other palms capable of producing biodiesel from fruit include *Bactris guineensis* (L.) H.E.Moore [17].

In the genus *Bactris* Jacq. ex Scop. the chemical composition of lignocellulose present in *B. gasipaes* Kunth. has been studied; the analyses show that it contains high percentages of cellulose followed by hemicellulose and finally lignin. On the other hand, nanocellulose has been analyzed to explore its potential applications in various industries, such as biomedical, automotive, and food industries [18]. Likewise, extracts have been quantified to determine their food properties [19] such as carotenoids found in the fruits [20].

In recent years, this genus has been studied to obtain biofuels or to improve the extraction process from rachis fibers, stipe, leaves, and fruits [21, 22], to reduce the generation of waste produced by synthetic fibers such as glass and carbon fibers [22, 23].

Wild palms are key components in vulnerable ecosystems and face population declines mainly due to anthropogenic activity. [24]. The International Union for Conservation of Nature (IUCN) in its red list of threatened species classifies *B. mexicana* as of least concern with stable populations, because they are found in protected areas, it is expected that in the future they will not present problems of survival due to climate variation [25].

The purpose of the present study was to determine the chemical composition of lignocellulose in the stipe of *B. mexicana* at different heights, to quantify the variation in stem structure, and to identify the potential use of the plant as a biofuel.

Methodology

General characteristics of *Bactris mexicana*

The Mexican literature on the Arecaceae family has focused mainly on ecology (43%), taxonomy, and floristics (22%), while the remaining articles are distributed among paleobotany, anatomy, genetics, agroecology, biodiversity, and conservation. [26].

In the family, Arecaceae is located the genus *Bactris* belonging to the subtribe Bactridinae, one of the largest and most diverse American genera. Its phylogeny has been widely studied and detailed, although it is little known taxonomically, with about 73 species and 21 varieties exclusive of the American continent and with distribution in the neotropics. [27]. Most of these species are in the high and medium subperennial rainforest, especially along the margins of rivers, savannas, and disturbed areas [27, 28]. In Mexico, two wild species are found: *B. mexicana* and *B. major* Jacq. in Campeche, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, and Veracruz [25, 27].

B. mexicana is a palm with thorns, which makes it difficult to handle [29]. It has stems of 2-6 cm in diameter and up to 8 m high, the individuals are slender and grow solitary without forming clumps, so that they form dispersed group populations. This is the main visual difference with *B. major*, in addition to the fact that *B. mexicana* has smaller and more brightly colored fruits. [30].

Collection of plant material

The collection area borders the Coatajapa River in the ejido La Esperanza, municipality of Huimanguillo, Tabasco State of México (Figure 1), the predominant climate according to the Köppen classification is warm-humid with abundant rainfall in summer (Cfa) and warm-humid with rainfall throughout the year (Af) [31, 32]. [31, 32]. The soil in this region is of the Cutanic ulmic Acrisol type (ACumct) as reported by Salgado et al. (2017), it presents vegetation of evergreen forest [33–35] with the presence of *Pachira aquatica* Aubl., *Andira galeottiana* Standl., *Sabal* Adams, and *Zanthoxylum rhoifolium* Lam.

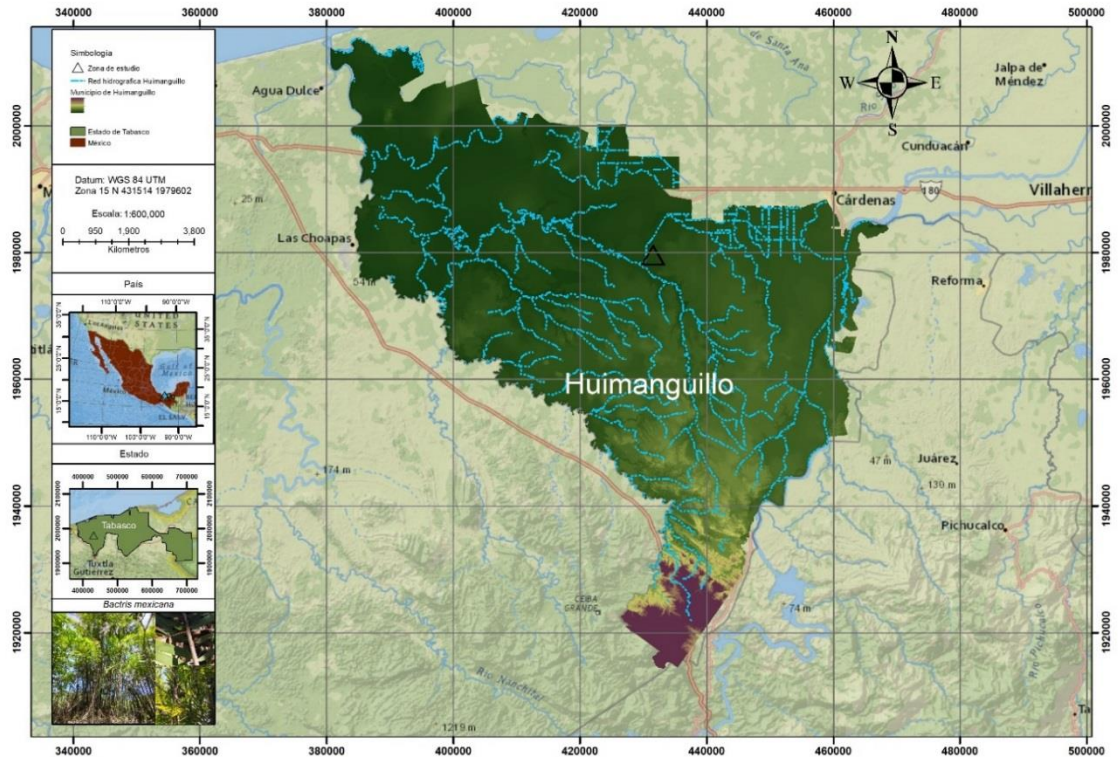


Fig. 1. Map of Mexico with the study area (ArcMap version 10.8) and location of *B. mexicana*.

Three healthy stipes were collected, free of any pathogen or mechanical damage, and morphological data were taken from the palm (Table 1). In addition, a complete sample with leaves and fruits was collected, which was herborized and stored in the CHAP Herbarium of the Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, Mexico.

Table 1. Morphological parameters of *B. mexicana*

No. Stipitate	Diameter (cm)	Height (m)	Presence of fruits
1	13 cm	5.56 m	Yes
2	11.52 cm	2.98 cm	Yes

Sample preparation

Before sectioning, the spines and bark of the stipe were removed with a knife to obtain 20 cm long cylinders from the basal, middle, and apical zones of the three individuals.

Each cylinder was dried at a temperature of 105 °C [36] with a variation of 2°C, this process was carried out for 24 h in an oven (Mettler, Germany). They were then processed in an analytical mill (Cole-Parmer model 4301-00, United States) until a fine flour was obtained, which was sieved with a number 40 mesh (0.425 mm). A total of 2.2 g of the dry and ground sample was weighed and placed in medium pore filter paper cartridges; a total of nine samples were prepared, corresponding to three replicates of the basal, middle, and apical zones.

Extraction of lignocellulose free of extractives

To obtain the lignocellulose, the process was based on the method proposed by Reyes-Rivera and Terrazas [37] with some modifications [38]. For this, the cartridges were placed in a Soxhlet, and two extractions were performed, the first with a mixture of ethanol: toluene at a ratio of 1:2 (v/v) and the second with 96 % ethanol, both for approximately 6 h and the samples were left to dry at 70 °C for 12 h to finally record the constant weight. Then, a third extraction was carried out by adding 350 ml of distilled water and boiling for one hour, maintaining the volume of water, and finally drying the cartridges in an oven at 50 °C for 24 h and recording the constant weight. The percentage of stem extractives was calculated according to the following formula:

$$\text{Extractives (\%)} = \frac{A + B + C}{W_0} \times 100$$

Where: A: weight loss (g) following the initial ethanol: benzene extraction; B: weight loss (g) after ethanol extraction; C: weight loss (g) following the water extraction; W_0 : initial weight of each sample.

Lignin purification

The Klason method, established by the Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), was used to determine lignin. We weighed 0.10 g of lignocellulose free of extractables on an analytical balance with a precision of hundredths of a gram (Scout TM Pro SP6001-OHAUS corporation, USA).

The acid hydrolysis process and the separation of insoluble lignin were carried out by homogenizing the samples with 1.5 ml of 98% sulfuric acid (H_2SO_4) for 2 h at 18 °C. The sample was placed in an Erlenmeyer flask and 560 ml of distilled water was added and kept boiling for 4 h and at constant water volume. The samples were filtered using an open pore Gooch crucible

(KIMFLOW 30MM), then dried at 105 °C for 24 h. Finally, the constant dry weight of each sample obtained was recorded. Lignin was quantified with the following formula. [38, 39]:

$$Klason\ lignin\ (\%) = (W_L W_X) \times 100$$

Where: W_L : weight of lignin obtained (g) and W_W : lignocellulose free of extractables (g).

Cellulose purification

The methodology used for the purification of cellulose was based on the Kürschner-Hoffer method [38]. 0.10g of lignocellulose free of extractables was weighed and placed in a reflux system with a nitric acid: ethanol solution in a 1:4 (v/v) ratio. It was kept boiling for one h, then the sample was decanted and the solution was removed and 50 ml of the nitric acid: ethanol solution was added again. This process was carried out four times in total. Finally, 1% potassium hydroxide was added and kept boiling for 30 min in the reflux system. The sample was filtered using a KIMFLOW 30MM open pore Gooch crucible and left in oven for 24 h at 60 °C. Finally, the final weight of the cellulose obtained was recorded. The cellulose was calculated using the following formula. [39]:

$$Cellulose\ (\%) = \frac{W_C}{W_W} \times 100$$

Where: W_C : weight of cellulose (g) and W_W : lignocellulose free of extractables (g).

Hemicellulose purification

Purification was performed based on the methodology of Li et al. [40] with slight adjustments. We weighed 0.2 g of lignocellulose free of extractables was placed in a reflux system with 10 ml of water for 3 h (solid to liquid ratio 1:20 g /ml) allowing cooling to room temperature. The sample weighing 1.25 ml was purified in 3.75 ml ethanol (95 %) with stirring. The mixture was kept for one h without stirring to precipitate the hemicellulose. The sample was centrifuged at 4500x g for 4 min to obtain constant weight and lyophilized. The water-insoluble residue was dried at 60 °C for 16 h, then successive extractions were performed with different concentrations of KOH (0.6, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %) at a ratio 1.20 (g/ml) at 75 °C for 3 h at each extraction. To the 2.5 % KOH concentration, ethanol (99.7 %) was added in a 2:3 ratio. The five mixtures were filtered and acidified to pH 5.5 with glacial acetic acid, poured into 3.75 ml ethanol (95 %) with constant stirring, held for 1 h finally centrifuged (4500x g) for four min and lyophilized. The constant weight was recorded at each extraction step and the percentage of hemicellulose was obtained with the following formula. [39]:

$$\text{Hemicellulose (\%)} = (W_H W_W) \times 100$$

Where: W_H : sum of different concentrations of KOH; W_W : lignocellulose free of extractive (g).

Estimation of lignin and cellulose indices

To determine the crystalline cellulose index, a small amount of purified cellulose from each sample was used and processed in Fourier transform infrared spectroscopy or FTIR (Agilent Cary 630 FTIR, India) at 30 scans with a resolution of 4 cm⁻¹, 15 seconds per repetition. Data normalization and baseline correction was performed for lignin spectra. The spectra were averaged using MicroLab PC software (Agilent Technologies) to obtain the crystallinity indices and syringyl:guaiacyl ratio of lignin.

For lignin, the ratio of syringyl/guaiacyl monomers was obtained with the fingerprint peaks (800-1800 cm⁻¹). The peaks 1269-1272 and 1328-1330 cm⁻¹ were used to quantify the ratio of guaiacyl (G) and syringyl (S). The value of each peak was calculated by drawing a vertical line connecting the lowest values to the highest values of each peak. The portion of the line between the highest of the peak and the base was the value of each peak, so the S/G ratio was calculated by dividing the values of each peak [41].

Cellulose crystallinity indices were calculated using the methodology proposed by Maceda et al. [38]. The total crystallinity index (TCI) was determined from the ratio of the absorption peaks at 1370 cm⁻¹ and 2900 cm⁻¹. The lateral order index (LOI) was calculated using the absorption peaks at 1430 cm⁻¹ divided by the value of the peak at 893 cm⁻¹. The hydrogen bond intensity (HBI) was determined from the ratio of the absorption peaks at 3350 cm⁻¹ and 1315 cm⁻¹.

Lignin and cellulose distribution

Epifluorescence microscopy allows capturing qualitative images that highlight the distribution of auto-fluorescent compounds such as lignin and compounds that have been stained to emit fluorescence such as cellulose [42].

Stains play a key role in microscopic processing calcofluor-white reveals high-contrast images that allow distinguishing lignified from non-lignified cell walls and acridine orange is a cationic dye that binds to negatively charged groups present in lignified cell walls [43]. The combination of both dyes allows visualization of the lignocellulose distribution in the stipe of *B. mexicana*.

To analyze cellulose and lignin distribution, 20-35 µm thick transverse and longitudinal sections of the basal, middle and apical zone were made with a Leica slide microtome (SM 2000 R, China), for the staining of the lamellae the methodology of Nakaba et al. was followed. [43], using calcofluor white and acridine orange. [43]. Subsequently, the samples were analyzed on a wide-

field epifluorescence microscope (Zeiss Axio Imager Z2) with an AxioCam MRc 5 (Zeiss) and a metal halide fluorescence microscope light source (Zeiss HXP 120). Three excitation and emission bands were used with the use of the 25 HE D/F/TR filter: DAPI (blue) with excitation at 365 nm and emission at 445/50 nm, FITC (green) with excitation at 470/40 nm and emission at 525/50 nm, and TRITC (red) with excitation at 546/12 nm and emission in the range of 575-640 nm (Maceda & Terrazas, 2022b). Images were captured using the Zen Blue program (2.5 lite Zeiss, Jena, Germany) and brightness and contrast adjustments were made throughout the image.

Statistical analysis

The analysis was performed following the methodology of Maceda et al. (2022). To carry out the analysis of the percentages of total extractives and chemical composition, a sine arc transformation was performed using the square root formula, then a Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk normality test was performed with the use of SAS statistical software (version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Because the values were normal ($p > 0.05$) and parametric one-factor analysis of variance tests were applied to examine the percentages of extractives, lignin, cellulose, and hemicelluloses.

The crystallinity indices and the percentages of syringyl, guaiacyl and the syringyl/guaiacyl ratio did not show a normal distribution according to the results of the Shapiro-Wilk test ($p > 0.05$). They were analyzed with the Kruskal-Wallis nonparametric test.

Results and discussion

Chemical composition of the *Bactris mexicana* stem

In the first extraction stage, high percentages were recorded in the basal zone. Extractions in ethanol have the ability to solubilize polar and nonpolar compounds [45] This implied that the results obtained reflect the presence of a wide variety of compounds lodged in the stipe of the palm, some of which are tannins [46], sugars (xylose, glucose) and silica [47] as has been reported for the palm *Elaeis guineensis* Jacq. which has sucrose, fructose, galactose and rhamnose in the stipe [48]

In general, for the stem of *B. mexicana*, in the middle section the compounds were better released with the ethanol-benzene solution. In the latter process, a greater number of elements from the apical area was observed. This presented the highest levels of total extractives and lignocellulose (Table 1).

Table 1 detailed the percentages of total extractables of *B. mexicana* along the stem, these varied between 26.25% and 28.59%, no significant differences were observed ($p < 0.05$), which means that each of its sections had similar average percentages.

Compared to other palm species such as *E. guineensis* with 2.3%. [49] and *Caryota* L. represented by 6.77%. [50] the values in *B. mexicana* are high. However, this presented advantages as pointed out by Zrelli et al. [51] because a higher content of extractives was related to an increase in the value of heat generation during combustion and improved quality of extracted lignin. The presence of sugars in the stipe allowed fermentation to be carried out for ethanol production. Kosugi et al. [48] used the yeast *Saccharomyces cerevisiae* Kyokai No.7, which had the ability to rapidly ferment glucose present in the stem sap. This process was highly efficient, as most of the sugars were converted to ethanol and only a minimal amount was lost [48].

Table 1. Percentages of extractives in the basal, middle, and apical zones of the stem

Zone	Extractives (%)				Lignocellulose free of extractives (%)
	Ethanol-Benzene	Ethanol (96%)	Water	Total extractives	
Apical	14.99±4.08	15.68±2.0	16.65±7.54	28.59±7.45	61.41±7.45
Middle	16.71±4.04	12.61±0.30	15.55±7.02	27.46±2.39	62.53±1.17
Basal	14.02±1.50	12.59±3.60	17±2.79	26.25±1.17	63.74±2.39

* Mean ± standard deviation

The analysis of lignocellulosic composition (Table 1) revealed no statistically significant differences between the evaluated zones (Table 2). However, the basal section presented higher lignification with a percentage of 45.80% and the middle zone had lower percentages. In the case of cellulose, the apical section showed the highest percentage with 36.30 %. The middle zone had the highest hemicellulose values with 33.18%.

Table 1. Analysis of Variance (ANOVA) for Chemical composition

Variable	F	p – Valor
Ethanol-Benzene	0.4725	0.64482
Ethanol (96%)	0.4725	0.64482
Water	0.04501	0.95631
Total extractives	0.19617	0.82694
Lignocellulose free of extractives	0.19601	0.82706
Lignin	0.25108	0.78574
Cellulose	0.33813	0.72586
Hemicellulose	0.26802	0.77359

Table 3. Chemical constituents across different organs of Arecaceae family genera

Species.	Zone		Cellulose (%)	Hemicellulose (%)	Lignin (%)	Extractives (%)	Sources
<i>Phoenix dactylifera</i> descriptor	L.	Stem	34.26	29.69	36.05	-	(Sabarinath an et al., 2020)
<i>P. dactylifera</i>		Leaf	38.26	28.17	22.53	5.08	(Elseify et al., 2019)
<i>P. dactylifera</i>		Rachis	47.31	25.72	15.67	5.80	(HADDAD OU et al., 2015)
<i>E. guineensis</i>		Stem	45.0	32.0	16.9	2.3	(Saka et al., 2008)
<i>E. guineensis</i>		Leaf	45.0	32.0	16.9	2.3	(Megashah et al., 2018)
<i>E. guineensis</i>		Mesocarp fiber	28.2	32.7	32.4	6.5	(Megashah et al., 2018)
<i>Neosinocalamus affinis</i> (Rendle) Keng f.		-	43.04	22.13	27.14	-	(Chen et al., 2016)
<i>Caryota</i> L.		Stem	72.51	8.97	11.75	6.77	(Sabarinath an et al., 2020)

Table 4. Chemical composition of the *Bactris mexicana* stem

Zone	Lignin (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)
Apical	42.33±10.32	36.30±6.79	24.84±10.29
Media	37.36± 13.33	32.03±12.56	33.18±19.60
Basal	45.80±18.96	30.96±3.52	23.02±22.23

* Mean ± standard deviation

The distribution of lignin (Table 3) along the stem is heterogeneous, however, there is a greater presence in the basal zone (45.80%), this concentration could be attributed to its ability to confer hydrophobic properties, essential in areas where plants are seasonally or year-round submerged in water. It may also resist hydrostatic stresses and provide structural support, in addition to acting

as a barrier against microbial degradation. Lignin is integrated with cellulose and hemicellulose, consolidating the main support structure in plant [56]. The middle zone shows slightly lower amounts (37.6%), which can be attributed to the fact that this section is the least stressed.

Cellulose in palm stipe showed variation as a function of height. As described in the study of Ishak et al. [57] cellulose percentages tended to range from 37.3% to 49.36% at heights of 1 to 3 m, these increased with increasing stipe height. This explained why in the apical zone (36.30%) of *B. mexicana*, cellulose percentages tend to be higher than in the basal zone (30.96%) of the stipe. Galiwango et. al [21] exposed that pretreatments were able to trigger a significant increase in cellulose percentages, raising them from an initial 33% to 70% by double purification. It should be noted that these cellulose percentages could vary depending on the organs analyzed, as reported by several authors in different genera (Table 3).

With regard to palms, research has been carried out on their potential use in paper production, although this area is still under development [58, 59]. This implies that, by incorporating them into this industry, the process would result in obtaining lignin, which could be used in the manufacture of biofuels.

Cellulose Content and Crystallinity Index

The presence of bonds in the FTIR spectra of cellulose (Figure 2) indicated by wavelengths (cm⁻¹), are detailed in Table 5. The region 3000 cm⁻¹ to 3600 cm⁻¹ reflects the presence of OH bonds in all samples. The basal region shows higher absorbance as opposed to the apical and basal regions.

In the fingerprint (1800 cm⁻¹ -800 cm⁻¹), associated with cellulose in the basal, middle and apical zones, prominent absorbance was detected in the C-O bonds of the peak at 1032 cm⁻¹, with the apical zone. At 893 cm⁻¹ the absorbance was less evident compared to the 823 cm peak-1 which shows higher absorbance in the basal zone with cellulose type II [60]. The peaks 1375 cm⁻¹ exhibit higher absorbance in the apical zone and reflect the oscillations experienced by crystalline type I and amorphous cellulose [61].

Table 4. Assignment of FTIR peaks in cellulose Spectra.

Wavenumber (cm ⁻¹)	Assignments	Sources
3000-3600	OH stretching	[62–64]
2900	CH stretching	[38]
1730	C-O stretching vibration	[63]
1500-1600	C=C stretching	[64]
1430	CH ₂ Symmetric bending (crystalline and amorphous cellulose)	[38]

1370	C-H and C-O bending vibration bonds	[38]
1364	CH ₂ -OH stretching vibration	[65]
1367, 1334 and 1027	stretching and bending vibrations of -CH ₂ and -CH, -OH and C-O bonds in cellulose	[66]
1375	C-H deformation	[67]
1315	CH ₂ wagging vibration (crystalline cellulose)	[38]
1061	C-C stretching	[67]
1032	C-O stretching	[68, 69]
893	Out-of-plane asymmetrical stretching of cellulose ring	[38]
670	C-O-H out-of-plane stretching	[38]

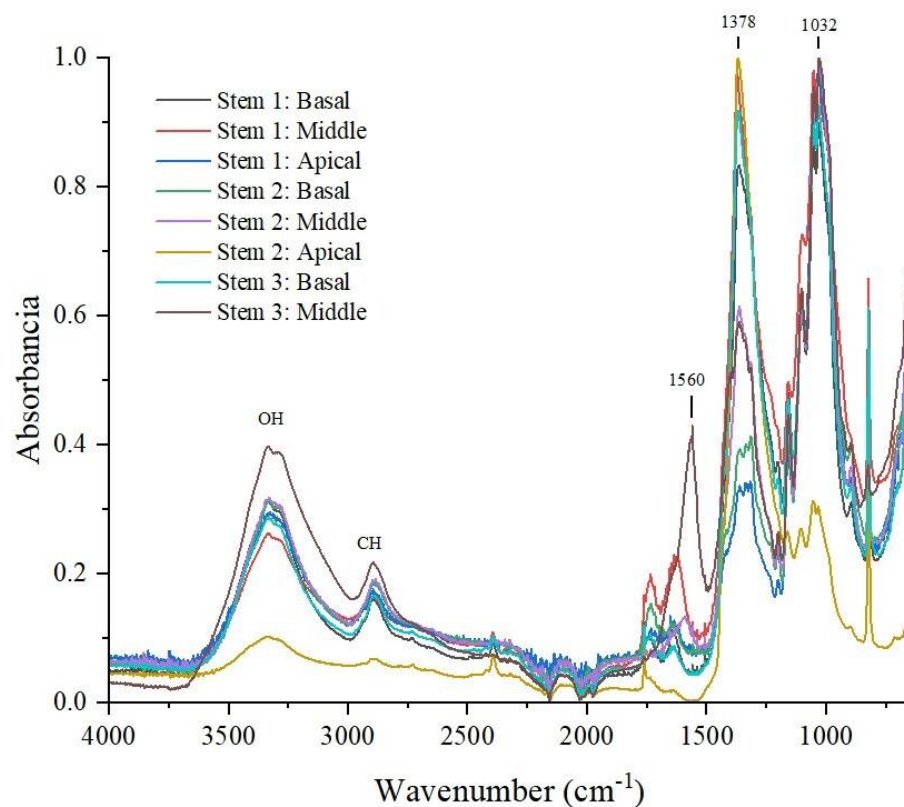


Fig. 1 FTIR spectrum of cellulose in the *B. mexicana* stem

The crystallinity indices (Table 5) indicated a predominance of crystalline cellulose in the three areas studied. The lowest TCI figures were observed in the middle area and the highest in the

apical area. With respect to HBI, high amounts were seen in the apical area and lower values in the middle region; however, there was no significant difference between each of the sections (Table 6).

A direct relationship was found between the total crystallinity indices (TCI) and the percentage of crystalline cellulose; as the TCI value increased, so did the percentage of crystalline cellulose [38]. The lowest TCI figures in the stipe were observed in the middle zone and the highest in the apical zone, suggesting a higher presence of crystalline cellulose compared to the other sections, which could indicate a more ordered cellulose structure in the upper part of the stipe. In comparison with other palm genera, the indices recorded exceeded those documented for *Phoenix dactylifera* L., with a TCI of 0.94. It was highlighted that the discrepancies could have originated because X-ray techniques were employed, focusing specifically on the rachis of the plant [53]. In *Dictyosperma album* (Bory) Scheff., a value of 0.79 was recorded; in *Hyophorbe lagenicaulis* (L.H.Bailey), 0.65. For species such as *Acanthophoenix rubra* (Bory) H.Wendl., and *Latania loddigessii* Mart., the values were 0.59 and 0.27, respectively. It should be noted that this study focused on the analysis of leaves. [70]. Thus, there is a difference between the type of cellulose harbored.

LOI reflects the order of crystalline cellulose. [62] If the value of this index decreases, so does the crystallinity of the cellulose [71]. In the stem of the species, low values were observed in the basal area, indicating a greater presence of type I crystalline cellulose, and the highest values were preserved in the basal area.

Table 2 Crystallinity indexes: Total crystallinity index (TCI); Lateral order index (LOI); Hydrogen bonding intensity.

Zone	TCI (A1370/A2900 cm ⁻¹)	LOI (A1430/A893 A2900cm ⁻¹)	HBI (A3400/A1315 cm ⁻¹)
Apical	4.43±6.66	0.57±0.09	0.37±0.18
Media	3.96±1.54	0.63±0.23	0.22±0.11
Basal	5.98±2.19	0.55±0.06	0.24±0.11

* Mean ± standard deviation

Table 3. Kruskal-Wallis analysis for the crystalline indexes and hydrogen bond index

Crystallinity indexes	χ^2	DF	<i>p</i> – Valor
TCI	1.53839	2	0.46339
LOI	0.18348	2	0.91234
HBI	3.71542	2	0.15603

Lignin composition and S/G ratio

Figure 3 illustrates the characteristic lignin peaks identified by FTIR; in the spectrum, cellulose and hemicellulose residues were detected in the bands 1107 cm^{-1} , 1160 cm^{-1} , 1319 cm^{-1} . According to Rashid et al. (Rashid et al., 2018b), the band at 1326 cm^{-1} is associated with syringyl (S) units, while 1269 cm^{-1} corresponds to guaiacyl (G) units, which are present in the spectrum. At wavelength 1735 cm^{-1} the groups present are carbonyl groups. The bands assigned to lignin are represented by 1655 cm^{-1} , 1590 cm^{-1} , 1420 cm^{-1} , 1232 cm^{-1} , 1034 cm^{-1} and 1232 cm^{-1} which reflect vibration or stretching movements of the aromatic rings with the presence of S or G as well as the presence of harbored carbohydrates, table 7 shows in detail some of the bands with the assigned movements.

Table 4. Assignment of FTIR peaks in lignin spectra

Wavenumber (cm^{-1})	Assignments	Sources
1735	Stretching in unconjugated ketone, carboxyl, and ester groups	[68, 69, 73]
1600	Aromatic ring vibration of lignin and extractives	[68]
1595	Stretching vibrations in aromatic structure C=C	[69]
1500	Aromatic ring vibration C=C of syringyl and guaiacyl monomers	[62]
1425-1428	Aromatic skeletal combined with C-H in plane deforming and stretching	[68, 69, 74]
1375	Symmetric and asymmetric bending of CH groups	[69]
1325	Breathing of the ring of syringyl and C-O stretching	[62, 69]
1225-1271	Symmetric vibration of C-O and the glucopyranose cycle of guaiacyl and syringyl	[62]
1160	Asymmetric stretching of C-O and C-C	[69]
1035-1050	Stretching of C-O	[68, 69]

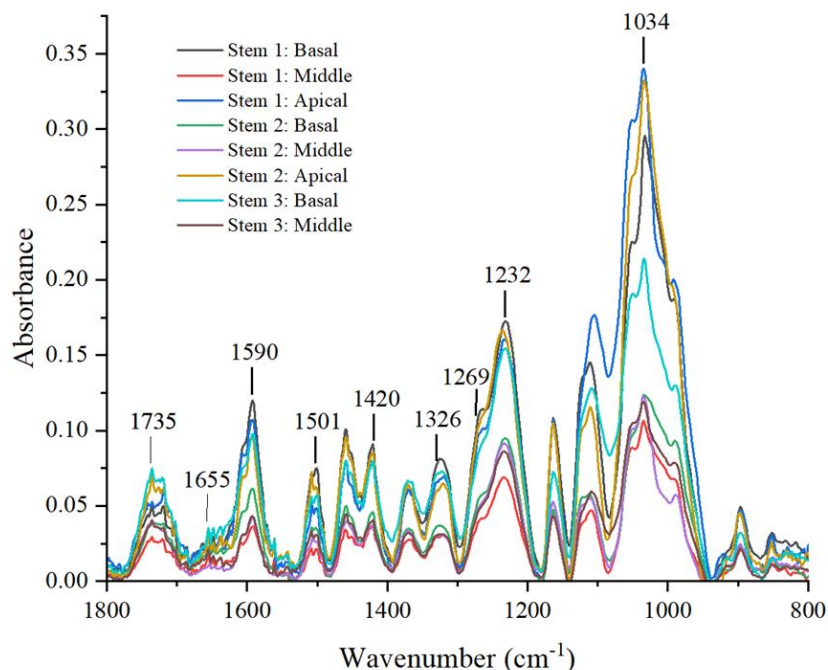


Fig. 2 FTIR spectrum of lignin from the stem of *B. mexicana*.

In the analyzed species, a predominance of guaiacyl units was found in the lignin structure, as evidenced in Figure 3. The absorption of this unit is characteristic of gymnosperms [75]. The presence of guaiacyl in higher concentrations leads to complications in delignification through biological methods, attributed to its condensed structure [76]. Both the basal and apical regions showed comparable indices (Table 9). The apical region presented the highest guaiacyl concentrations, reflecting a decreasing S/G ratio in contrast to other areas (Table 8). The highest S/G concentrations were in the middle zone. However, in trees such as *Liquidambar styraciflua* L., this ratio tends to be 2.3; *Eucalyptus* L'Hér. with 3.6 indicating reduced processing times in paper production [77].

The lignin present in the stipe has potential for bioethanol production, extracted using various chemical or biological methods. One of them is pyrolysis, a thermochemical technique that subjects lignin to controlled heating in anoxic environments, with temperatures ranging from 300 °C to 600 °C, the exclusion of oxygen being crucial to inhibit total conversion to carbon dioxide. This makes it a viable option for *B. mexicana* and its subsequent conversion to energy. One of the biological agents would be the fungus *Ceriporiopsis subvermispota* (Pilát) Gilb. & Ryvarden which can separate cellulose and hemicellulose with glucose yields of 25% to 56%. [78], enhances the enzymatic saccharification of lignocellulosic substrates. [79] however, this can be affected by the presence of G [76, 77].

On the other hand, acid hydrolysis represents an efficient chemical option that has the ability to modify lignin structures and hydrolyze cellulose and hemicellulose into sugars. Davison et al.[80] investigated tree stems of a hybrid *Populus* family, in those stems with lower S/G ratios, approximately 1.8, showed improvements in the hydrolysis process, resulting in increased xylose production. These findings suggest a potential in the stipe of *B. mexicana* for obtaining biofuels. A promising alternative for the utilization of guaiac-type lignin from stipe is its conversion into phenolic groups. A clear example is the production of vanillin (synthetic vanilla) through alkaline oxidation. In this method, the biopolymer is subjected to an oxidizing environment and high temperatures, which causes its depolymerization, resulting in vanillin in its raw state. Although this vanillin may contain other compounds, such as acetovanillone and syringaldehyde, which are challenging to separate, it has been shown that it is possible to produce vanillin using this approach [81].

Lignin also has potential in the manufacture of phenol-formaldehyde resins or adhesives. [82]. The G-type and p-hydroxyphenyl units of lignin have the ability to interact with formaldehyde and this interaction is facilitated by the electrophilic substitution at an ortho-free position of the phenolic hydroxyl group, making it possible to obtain such a compound [83] Finally, the strength of the material provided by crystalline cellulose and guaiac-type lignin is favorable for its application in the production of non-wood products such as those reported by Mendoza et al. [84].

Table 5. Percentage of Syringyl (S), Guaiacyl (G), and S/G ratio in the three zones

2.	Zone	3.	Syringyl (%)	4.	Guaiacyl (%)	5.	S/G ratio
6.	Apical	7.	41.13±4	8.	60.72±4	9.	0.65±0.12
10.	Middle	11.	45.64±15.55	12.	54.37±15.55	13.	1.09±1.07
14.	Basal	15.	40.90±2.30	16.	58.87±2.30	17.	0.70±0.07

* Mean ± standard deviation.

Table 9. Kruskal-Wallis analysis for the phenolic units and S/G ratio

Units	χ^2	DF	p – Valor
Syringyl	2.8900	2	0.2357
Guaiacyl	2.8900	2	0.2357
S/G ratio	2.9532	2	0.2284

Distribution of lignin and cellulose with epifluorescence microscopy

The shades for the chalcofluorine stain stood out in blue colorations and the acridine orange stain provided contrast to the lignified walls [38, 85] In this case, they are observed in orange-yellowish

shades. In the basal section of the stipe corresponding to Figure 3A and 3B, crystalline and amorphous cellulose was identified predominantly in the phloem fibers, parenchyma and brachysclereids surrounding the vessels, possibly because the species rich in lignin G rapidly thicken [75]. Tannins (marked with red dyes) were detected embedded in parenchyma located longitudinally in the stem both with the presence of what could be S. The metaxylem shows two prominent spots, which could indicate a greater accumulation of G-type lignin.

The middle region of the stipe is distinguished by an abundance of tannins surrounding the vascular bundle and a concentration of crystalline cellulose in the phloem. In the metaxylem there is a combination of S and G, with softer shades, while G appears in the protoxylem. The parenchyma is coated with G lignin, in conjunction with crystalline cellulose. Several foci of lignification are detected in both the metaxylem and protoxylem, related to increased resistance in this area. Likewise, the vascular bundle is composed of the emergence of new bundles generally surrounded by cellulose. Tannins embedded in parenchyma circumscribe the vascular bundle and permeate adjacent cells.

In the apical area, there is a predominance of both crystalline and amorphous cellulose. Lignins G and S are prominently distributed in the protoxylem and metaxylem. Foci of lignification in process and an intensely cellulosic phloem can be distinguished. From a longitudinal perspective, the parenchyma is enveloped by S-type lignin and cellulose-rich fibers. The presence of tannins in the parenchyma is maintained.

This change in the shades in the apical zone may be mainly due to the meristematic activity that favors the development of the palm, so a greater amount of lignin G that covers the protoxylem and S with G that have the function of protecting the vessels in the growth process is seen.

The distribution observed in the stipe of *Bactris* could be interpreted as an adaptation to the flooded soils in which it commonly grows. The presence of lignin, a water-resistant biopolymer is related not only to defense against pests and pathogenic microorganisms, but also to its ability to respond to environmental challenges [86]. As for the crystalline cellulose harbored mostly in the apical

zone, this is possibly because it provides structural resistance and regulates cell expansion during plant development [87].

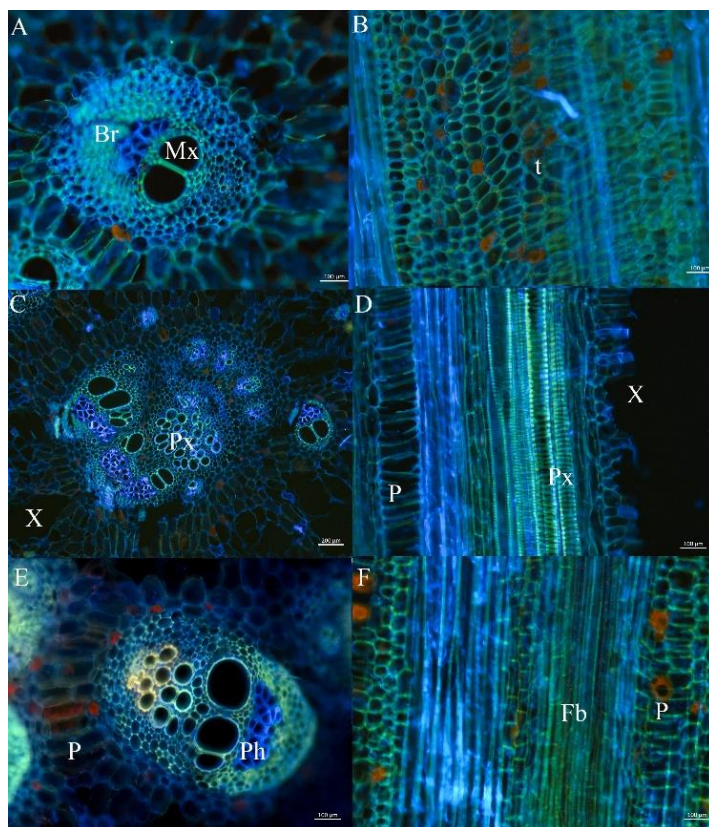


Fig. 3 Transverse and longitudinal sections of the stipe of *B. mexicana* taken with fluorescence microscopy at 10x. A. Transversal section of the vascular bundle belonging to the basal zone; B. Longitudinal section of the basal zone; C. Cross section of the vascular bundle belonging to the middle zone; D. Longitudinal section of the middle zone; E. Cross section of the apical zone; F. Longitudinal section of the apical zone t. Tannins; X spaces; Br. Brachysclereids; P. Parenchyma; Px. Protoxylem; Mx. Metaxylem; Fb. Fibers; Ph. Phloem.

Conclusions

The extractions show the capacity to solubilize various compounds present in the palm stem, including sugars, indicating a wide variety of elements that can be converted into ethanol through a fermentation process using enzymes or fungi. Although there is a slight variation in chemical composition along the stipe, with higher percentages of total extractables in the apical part compared to the basal zone, it is important to note that any zone of the stem is usable.

The stipe of *B. mexicana* has potential as a source of biofuel according to the results. The application of hydrolysis and fermentation techniques are necessary to obtain ethanol and other biofuels. However, it is essential to take into account that the chemical composition may be altered

due to several factors such as: the plant organ, the habitat of the species, the site of the collection, the age of the specimen and physiological stage.

The population studied grew in a flooded area and with stress caused by anthropogenic activity, this could have altered the results obtaining high amounts of lignin G attributed to resistance against pathogens, it is possible that populations developed in more stable areas have lower results.

Statements and Declarations

The authors declare that they have no financial or non-financial interests that are directly or indirectly related to the work submitted for publication. There are no conflicts of interest in relation to this article.

References

1. Ragauskas AJ, Williams CK, Davison BH, et al (2006) The path forward for biofuels and biomaterials. *Science* 311:484–489. <https://doi.org/10.1126/science.1114736>
2. Saravanan A, Senthil Kumar P, Jeevanantham S, et al (2022) Recent advances and sustainable development of biofuels production from lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol* 344:126203. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126203>
3. Priya, Deora PS, Verma Y, et al (2022) Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. *Mater Today Proc* 48:1178–1184. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.227>
4. Isikgor FH, Becer CR (2015) Lignocellulosic biomass: a sustainable platform for the production of bio-based chemicals and polymers. *Polym Chem* 6:4497–4559. <https://doi.org/10.1039/C5PY00263J>
5. Gupta PK, Raghunath SS, Prasanna DV, et al (2019) An update on overview of cellulose, its structure and applications. In: Pascual AR, Martín MEE (eds) *Cellulose*. IntechOpen, Rijeka
6. Sethupathy S, Murillo Morales G, Gao L, et al (2022) Lignin valorization: Status, challenges and opportunities. *Bioresour Technol* 347:126696. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126696>
7. Sugiarto S, Leow Y, Tan CL, et al (2022) How far is lignin from being a biomedical material? *Bioact Mater* 8:71–94. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.06.023>
8. Panthapulakkal S, Raghunanan L, Sain M, et al (2017) 4 - Natural fiber and hybrid fiber thermoplastic composites: Advancements in lightweighting applications. In: Baillie C, Jayasinghe R (eds) *Green composites* (Second edition). Woodhead Publishing, pp 39–72

9. Wang Y, Lu C, Cao X, et al (2022) Porous carbon spheres derived from hemicelluloses for supercapacitor application. *Int J Mol Sci* 23:1-13. <https://doi.org/10.3390/ijms23137101>
10. Huang LZ, Ma MG, Ji XX, et al (2021) Recent developments and applications of hemicellulose from wheat straw: A review. *Front Bioeng Biotechnol* 9:690773. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2021.690773>
11. Xu Y, Liu K, Yang Y, et al (2023) Hemicellulose-based hydrogels for advanced applications. *Front Bioeng Biotechnol* 10: 1-18. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1110004>
12. Macedo JVC, Martins JR, Abe MM, et al (2022) Hemicellulose application for the production of bioplastics and biomaterials. In: Brienzo M (ed) *Hemicellulose biorefinery: a sustainable solution for value addition to bio-based products and bioenergy*. Springer Nature Singapore, Singapore, pp 231–273
13. Elseify LA, Midani M, El-Badawy A, Jawaid M (2021) Natural fiber composite qualification in the automotive industry. In: *Manufacturing automotive components from sustainable natural fiber composites*, pp 53–65
14. Mayorga MA, López M, López CA, et al (2020) Production of aviation biofuel from palm kernel oil. *Chem Eng Trans* 80:319–324. <https://doi.org/10.3303/CET2080054>
15. Kooprasertying P, Vanichsiratana W, Sirisansaneeyakul S, et al (2022) ethanol production through optimized alkaline pretreated *Elaeis guineensis* frond waste from Krabi province, Thailand. *Fermentation* 8. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110648>
16. Sierra Márquez J, Sierra Márquez L, Olivero-Verbel J (2017) Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agronomía Mesoamericana* 28:523. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25927>
17. Madrid De la Rosa JM, Mendoza Meza D, Fontalvo Gómez M (2021) Producción de biodiesel a partir del aceite extraído de almendra del corozo *Bactris guineensis* asistida mediante ultrasonido de sonda directa. *Tecnura* 25:51–75. <https://doi.org/10.14483/22487638.15809>
18. Franco TS, Potulski DC, Viana LC, et al (2019) Nanocellulose obtained from residues of peach palm extraction (*Bactris gasipaes*). *Carbohydr Polym* 218:8–19. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.04.035>
19. Madrigal Redondo GL, Vargas Zúñiga R, Carazo Berrocal G, et al (2019) Phytochemical characterization of extracts of the mesocarp of *Bactris gasipaes* and evaluation of its antioxidant power for pharmaceutical dermal formulations. *Int J Herb Med* 7:56–67

20. de Cássia Spacki K, Corrêa RCG, Uber TM, et al (2022) Full exploitation of peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth): state of the art and perspectives. *Plants* 11:3175. <https://doi.org/10.3390/PLANTS11223175>
21. Galiwango E, Abdel Rahman NS, Al-Marzouqi AH, et al (2019) Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. *Heliyon* 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02937>
22. Gurunathan T, Mohanty S, Nayak SK (2015) A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 77:1–25. <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESA.2015.06.007>
23. Tahri I, Devin IZ, Ruelle J, et al (2016) Extraction and Characterization of Fibers from Palm Tree. *Bioresources* 11:7016–7025. <https://doi.org/10.15376/BIORES.11.3.7016-7025>
24. Bellot S, Lu Y, Antonelli A, et al (2022) The likely extinction of hundreds of palm species threatens their contributions to people and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution* 6:1710–1722. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01858-0>
25. Machuca Machuca K, Martínez Salas E, Quero H, Samain M-S (2022) *Bactris mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T58405443A59431655.en>
26. Pulido-Silva MT, Quero H, Hodel D, Lopez-Toledo L (2022) Richness, endemism and floristic affinities of the palms of Mexico. *Botanical Review*. <https://doi.org/10.1007/S12229-022-09284-4/FIGURES/5>
27. Henderson A (2000) *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica* 79:1–183
28. Quero HJ (1994) PALMAE. *Flora de Veracruz*. <https://doi.org/10.21829/FV.399.1994.81>
29. Sanders RW (1991) Cladistics of *Bactris* (palmae): survey of characters and refutation of burret's classification. *Selbyana* 12:105–133
30. Ramos CMB, Gil GO, Cerino CMA (2009) notas sobre el género *Bactris* (Arecaceae) en el estado de Tabasco, México. *Kuxulkab'* 16. <https://doi.org/10.19136/KUXULKAB.A16N29.433>
31. INEGI (2010) Compendio de información geográfica municipal 2010. Huimanguillo, Tabasco
32. García AE (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen
33. Garcia R et al (2022) Population fluctuation of the pineapple mealybug in two pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) varieties in Huimanguillo Tabasco, Mexico. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i10.2236>

34. INEGI (2015) Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie V (continuo nacional). <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s5ugw.html>. Consultado el 19 Jul 2023
35. Salgado-García S et al (2017) Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. *Agro Productividad* 10:16–21
36. Acheampong JB et al (2022) Physical properties of palmyra palm wood for sustainable utilization as a structural material. *Maderas Ciencia y tecnología* 24. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100408>
37. Reyes-Rivera J, Terrazas T (2017) Lignin analysis by HPLC and FTIR. *Methods in Molecular Biology* 1544:193–299. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6722-3_14/COVER
38. Maceda A et al (2022) Cellulose in Secondary Xylem of Cactaceae: Crystalline Composition and Anatomical Distribution. *Polymers* 14:4840. <https://doi.org/10.3390/POLYM14224840>
39. Maceda A et al (2018) Chemical Composition of Cacti Wood and Comparison with the Wood of Other Taxonomic Groups. *Chem Biodivers* 15: e1700574. <https://doi.org/10.1002/CBDV.201700574>
40. Li R et al (2017) The Characterization of Hemicellulose Extract from Corn Stalk with Stepwise Alkali Extraction. *Journal of Korea TAPPI* 49:29–40. <https://doi.org/10.7584/JKTAPPI.2017.08.49.4.29>
41. Pandey KK (2005) Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polym Degrad Stab* 90:9–20. <https://doi.org/10.1016/J.POLYMDEGRADSTAB.2005.02.009>
42. Maceda A, Terrazas T (2022) Fluorescence Microscopy Methods for the Analysis and Characterization of Lignin. *Polymers (Basel)* 14. <https://doi.org/10.3390/polym14050961>
43. Nakaba S et al (2015) Three-dimensional imaging of cambium and secondary xylem cells by confocal laser scanning microscopy. In: Yeung ECT et al (eds) *Plant microtechniques and protocols*. Springer, Cham, pp 431–465
44. Oliveira AIT de et al (2016) Chemical composition and antimicrobial potential of palm leaf extracts from Babaçu (*Attalea speciosa*), Buriti (*Mauritia flexuosa*), and Macaúba (*Acrocomia aculeata*). *The Scientific World Journal* 2016:1–5. <https://doi.org/10.1155/2016/9734181>
45. Tomlinson PB et al (2011) *The anatomy of palms: Arecaceae - palmae*. Oxford University Press

46. Tomimura Y (1992) Chemical characteristics and utilization of oil palm trunks. *Jarq-japan Agricultural Research Quarterly* 25:283–288
47. Kosugi A et al (2010) Ethanol and lactic acid production using sap squeezed from old oil palm trunks felled for replanting. *J Biosci Bioeng* 110:322–325. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2010.03.001>
48. Saka S et al (2008) Chemical constituents of the different anatomical parts of the oil palm (*Elaeis guineensis*) for Their Sustainable Utilization. *viXra*
49. Sabarinathan P et al (2020) Characterization on chemical and mechanical properties of silane treated fish tail palm fibres. *Int J Biol Macromol* 163:2457–2464. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.09.159>
50. Zrelli A et al (2022) Valorization of date palm wastes by lignin extraction to be used for the improvement of polymeric membrane characteristics. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 66:70–81. <https://doi.org/10.3311/PPCH.18273>
51. Elseify LA et al (2019) Review on cellulosic fibers extracted from date palms (*Phoenix dactylifera* L.) and their applications. *Cellulose* 26:2209–2232. <https://doi.org/10.1007/S10570-019-02259-6/FIGURES/8>
52. Haddadou I et al (2015) Characterization of cellulose prepared from some Algerian lignocellulosic materials (zeen oak wood, Aleppo pine wood and date palm rachis). *Holz als Roh- und Werkstoff* 73. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0903-3>
53. Megashah LN et al (2018) Properties of cellulose extract from different types of oil palm biomass. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng* 368:12049. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/368/1/012049>
54. Chen JH, Xu JK, Huang PL, Sun RC (2016) Effect of alkaline pretreatment on the preparation of regenerated lignocellulose fibers from bamboo stem. *Cellulose* 23:2727–2739. <https://doi.org/10.1007/S10570-016-0983-1>
55. Espiñeira JM, Novo Uzal E, Gómez Ros LV, et al (2011) Distribution of lignin monomers and the evolution of lignification among lower plants. *Plant Biol* 13:59–68. <https://doi.org/10.1111/J.1438-8677.2010.00345.X>
56. Ishak MR, Leman Z, Sapuan SM, et al (2013) Chemical composition and FT-IR spectra of Sugar palm (*Arenga pinnata*) fibers obtained from different heights. *Journal of Natural Fibers* 10:83–97. <https://doi.org/10.1080/15440478.2012.733517>
57. Wan Daud WR, Law K-N (2010) Oil palm fibers as papermaking material: potentials and challenges. *Bioresources* 6:901–917. <https://doi.org/10.15376/biores.6.1.901-917>

58. Soloi S, Hou EKZ (2019) The potential of oil palm leaf fibre in paper-making industry. *J Phys Conf Ser* 1358:012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1358/1/012005>
59. Šíroký J, Blackburn RS, Bechtold T, et al (2010) Attenuated total reflectance Fourier-transform Infrared spectroscopy analysis of crystallinity changes in lyocell following continuous treatment with sodium hydroxide. *Cellulose* 17:103–115. <https://doi.org/10.1007/s10570-009-9378-x>
60. Boukir A, Fellak S, Doumenq P (2019) Structural characterization of *Argania spinosa* Moroccan wooden artifacts during natural degradation progress using infrared spectroscopy (ATR-FTIR) and X-Ray diffraction (XRD). *Heliyon* 5: e02477. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02477>
61. Maceda A, Soto-Hernández M, Terrazas T (2022) Chemical-anatomical characterization of stems of Asparagaceae species with potential use for lignocellulosic fibers and biofuels. *Forests* 13: 1-18. <https://doi.org/10.3390/f13111853>
62. Kumar A, Singh Negi Y, Choudhary V, Kant Bhardwaj N (2020) Characterization of cellulose nanocrystals produced by acid-hydrolysis from sugarcane bagasse as agro-waste. *Journal of Materials Physics and Chemistry* 2:1–8. <https://doi.org/10.12691/jmpc-2-1-1>
63. Escócio V, Pacheco E, Maria F, et al (2017) Study of natural fibers from waste from sponge gourd, peach palm tree and papaya pseudstem. *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* 3:11–24
64. Yasmeen S, Kabiraz M, Saha B, et al (2016) Chromium (VI) ions removal from tannery effluent using chitosan-microcrystalline cellulose composite as adsorbent. *Int Res J Pure Appl Chem* 10:1–14. <https://doi.org/10.9734/IRJPAC/2016/23315>
65. Hospodarova V, Singovszka E, Stevulova N, et al (2018) Characterization of cellulosic fibers by FTIR spectroscopy for their further implementation to building materials. *Am J Analyt Chem* 9:303–310. <https://doi.org/10.4236/AJAC.2018.96023>
66. Kurian JK, Garipey Y, Orsat V, Raghavan GSV (2015) Microwave-assisted lime treatment and recovery of lignin from hydrothermally treated sweet sorghum bagasse. *Biofuels* 6:341–355. <https://doi.org/10.1080/17597269.2015.1110775>
67. Javier-Astete R, Jimenez-Davalos J, Zolla G (2021) Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) K. Schum. and *Guazuma crinita* Lam. *PLoS One* 16: e0256559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256559>
68. Moosavinejad SM, Madhoushi M, Vakili M, Rasouli D (2019) Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using FT-IR and FT-Raman

- vibrational spectroscopy. *Maderas Ciencia y tecnología*. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000310>
69. Ramasawmy H, Chummun J, Florens FBV, Joyram H (2019) Palm leaves as potential natural-fibre source for a tropical island developing state. *Journal of Natural Fibers*. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1642823>
 70. Kljun A, Benians TAS, Goubet F, et al (2011) Comparative analysis of crystallinity changes in cellulose i polymers using ATR-FTIR, X-ray diffraction, and carbohydrate-binding module probes. *Biomacromolecules* 12:4121–4126. <https://doi.org/10.1021/bm201176m>
 71. Rashid T, Gnanasundaram N, Appusamy A, et al (2018) Enhanced lignin extraction from different species of oil palm biomass: kinetics and optimization of extraction conditions. *Ind Crops Prod* 116:122–136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.056>
 72. Stark NM, Yelle DJ, Agarwal UP (2016) Techniques for characterizing lignin. In: *Lignin in Polymer Composites*, Elsevier, 49–66
 73. Shi J, Xing D, Lia J (2012) FTIR Studies of the changes in wood chemistry from wood forming tissue under inclined treatment. *Energy Procedia* 16:758–762. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.122>
 74. Maceda A, Soto-Hernández M, Peña-Valdivia CB, et al (2021) Lignina: composición, síntesis y evolución. *Madera y Bosques* 27:e2722137. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
 75. Santos RB, Capanema EA, Balakshin MYu, et al (2011) Effect of hardwoods characteristics on kraft pulping process: Emphasis on lignin structure. *Bioresources* 6:3623–3637. <https://doi.org/10.15376/biores.6.4.3623-3637>
 76. Jardim JM, Hart PW, Lucia LA, et al (2022) The effect of the kraft pulping process, wood species, and pH on lignin recovery from black liquor. *Fibers* 10:16. <https://doi.org/10.3390/fib10020016>
 77. Welker C, Balasubramanian V, Petti C, et al (2015) Engineering plant biomass lignin content and composition for biofuels and bioproducts. *Energies (Basel)* 8:7654–7676. <https://doi.org/10.3390/en8087654>
 78. Aguiar A, Ferraz A (2012) Effects of exogenous calcium or oxalic acid on pinus taeda treatment with the white-rot fungus *Ceriporiopsis subvermispora*. *Int Biodeterior Biodegradation* 72:88–93. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.05.009>
 79. Davison BH, Drescher SR, Tuskan GA, et al (2006) Variation of S/G ratio and lignin content in a *Populus* family influences the release of xylose by dilute acid hydrolysis. *Appl Biochem Biotechnol* 130:427–435. <https://doi.org/10.1385/ABAB:130:1:427>

80. Ciriminna R, Fidalgo A, Meneguzzo F, et al (2019) Vanillin: The case for greener production driven by sustainability megatrend. *Chemistry Open* 8:660–667. <https://doi.org/10.1002/open.201900083>
81. Rosado MJ, Rencoret J, Marques G, et al (2021) Structural characteristics of the guaiacyl-rich lignins from rice (*Oryza sativa* L.) Husks and Straw. *Front Plant Sci* 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.640475>
82. Xu C, Ferdosian F (2017) Lignin-based phenol– formaldehyde (LPF) resins/adhesives. 91–109
83. Mendoza V, Sandoval D, Hellmuth N (2022) Huiscoyol palms, *Bactris major* and *Bactris mexicana*. *FLAAR Mesooamérica*, 31–32
84. Kitin P, Nakaba S, Hunt CG, et al (2020) Direct fluorescence imaging of lignocellulosic and suberized cell walls in roots and stems. *AoB Plants* 12. <https://doi.org/10.1093/AOBPLA/PLAA032>
85. Liu Q, Luo L, Zheng L (2018) Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. *Int J Mol Sci* 19:335. <https://doi.org/10.3390/ijms19020335>
86. Hayashi T, Yoshida K, Woopark Y, et al (2005) Cellulose metabolism in plants. *Int Rev Cytol* 247:1–34. [https://doi.org/10.1016/S0074-7696\(05\)47001-1](https://doi.org/10.1016/S0074-7696(05)47001-1)

V. XILOTECNIA DEL ESTÍPITE DE *Bactris mexicana* MART. (ARECACEAE)⁴

XILOTECNIA OF THE STEM OF *Bactris mexicana* Mart. (ARECACEAE)

Belem Alejandro-Jardon¹

<https://orcid.org/0000-0003-4959-8245>

Ma.Amparo Máxima Borja-de la Rosa^{1*}

<http://orcid.org/0000-0002-6127-050>

Roberto Machuca Velasco¹

<http://orcid.org/0000-0001-9840-7439>

Alejandro Corona Ambriz¹

<http://orcid.org/0000-0003-0005-7480>

Liliana Cuapio Hernández¹

<http://orcid.org/0000-0003-0952-8525>

Resumen

Este estudio investiga las propiedades anatómicas y algunas propiedades físicas del estípite de *B. mexicana*, palmera nativa de regiones tropicales. Se analizan dos poblaciones distintas, destacando diferencias en la estructura vascular, la densidad de los haces vasculares, y la proporción de esclerénquima en zonas apicales, medias y basales. Los hallazgos revelan que la Población 1, encontrada en áreas bajas e inundables, exhibe una mayor contracción en la zona apical y una estructura vascular adaptada a altas presiones hidráulicas. Por otro lado, la Población 2, ubicada en regiones elevadas, muestra patrones de contracción y densidad distintos, posiblemente influenciados por el clima. Estos resultados sugieren que el estípite posee un gran potencial para aplicaciones en la fabricación de tableros compuestos de madera-plástico (WPC), y posiblemente MDF, así como en artesanías, aprovechando su ligereza y resistencia.

Palabras clave: Anatomía del estípite, densidad básica, contracción volumétrica, palmeras, jahuacte.

Abstract

⁴ Este capítulo está en proceso de revisión para su publicación en la revista científica Maderas, Ciencia y tecnología

¹ Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Texcoco, México.

* Autor de correspondencia: mborjad@chapingo.mx

This study explores the anatomical properties and some physical properties of the *B. mexicana* stipe, a palm native to tropical regions. Two distinct populations are analyzed, highlighting differences in vascular structure, vascular bundle density, and the proportion of sclerenchyma in apical, medial, and basal zones. The findings reveal that Population 1, found in low-lying and flood-prone areas, exhibits greater contraction in the apical zone and a vascular structure adapted to high hydraulic pressures. On the other hand, Population 2, located in elevated regions, displays different contraction and density patterns, possibly influenced by the climate. These results suggest that the stipe has significant potential for applications in the wood-plastic composites (WPC), and possibly medium-density fiberboard (MDF), as well as in crafts, capitalizing on its lightness and durability.

Keywords: Anatomy of the stem, basic density, volumetric shrinkage, palms, jahuacte.

INTRODUCCIÓN

La familia Arecaceae tiene una distribución en regiones tropicales y subtropicales. Es una de las familias de angiospermas más relevantes económicamente a nivel mundial junto con la Poaceae y la Fabaceae (Dransfield et al., 2008). Siguiendo la clasificación de Dransfield et al. (2008) esta comprende cinco subfamilias, 28 tribus, 181 géneros y alrededor de 2600 especies. En la región de Centroamérica, que incluye a México, cuenta con tres subfamilias, seis tribus, 22 géneros y aproximadamente 100 especies de palmeras (Pulido-Silva et al., 2022).

El estudio de la anatomía de la madera en las Arecaceae plantea retos metodológicos particulares cuando se trata de géneros espinosos (Tomlinson et al., 2011b). El género *Bactris* jacq. ex scop., de la subtribu Bactridinae (Arecaceae, Arecoideae, Cocoseae), es un grupo monofilético que abarca 73 especies, con una distribución en Centroamérica, Sudamérica, las Antillas y algunas zonas de los Andes, notable por las características espinas presentes en sus tallos (Briceño et al., 2023; Henderson, 2000).

Investigaciones anteriores sobre la anatomía del género han incluido el trabajo de Orellana et al., (1999), quienes realizaron un estudio comparativo entre *B. major* y *B. mexicana* con *Calamus manan* Miq. Por su parte, Magellan et. al., (2015) aportaron un análisis paleobotánico al examinar 17 tallos fósiles pertenecientes al género *Bactris*. Sin

embargo, es importante señalar que de la revisión bibliográfica realizada hasta el momento no se ha identificado aún un estudio que aborde de manera específica la estructura anatómica de *B. mexicana*.

México cuenta con dos géneros silvestres: *B. mexicana* Mart., y *B. major* Jacq. (Dransfield et al., 2008; Henderson, 2000; Quero, 1994a). La primera se distribuye en Tabasco, Chiapas, Quintana Roo (Machuca Machuca et al., 2022a). La segunda se encuentra en los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Puebla, Quintana Roo, Veracruz y Campeche (Machuca Machuca et al., 2022b). En el estado de Tabasco tienen presencia en los municipios de Cárdenas, Huimanguillo, región centro, Macuspana, Tenosique, Tacotalpa y Teapa (Ramos et al., 2009b).

Los usos de las especies del género *Bactris* son diversos: en Brasil, las hojas de *B. setosa* Mart. se aprovechan para tejer canastos y la fabricación de redes de pesca; los frutos son consumidos y se emplean en la elaboración de licores, a menudo combinados con caña de azúcar (Elias et al., 2019).

En Ecuador la utilización de las fibras obtenidas de las hojas secas de *Bactris gasipaes* Kunth., comúnmente conocida como pejibaye o pupunha, se extiende principalmente a la fabricación artesanal de cestas, los frutos sirven como fuente de aceites empleados en la cocina y la producción de e harina utilizada en la alimentación de ganado, en la acuicultura y en la preparación de tortillas. Adicionalmente la zona apical del tallo se consume a nivel mundial y es denominado popularmente como “palmito” “ampliamente apreciado en la gastronomía (Montúfar & Rosas, 2013).

En Colombia, se utilizaba el cogollo de *B. humilis* (Wallace) Burret y el tallo de *B. fissifrons* Mart. para la fabricación artesanal de "sal de monte". Esta sal se distingue por ser una mezcla de sales alcalinas enriquecidas con potasio y microelementos, caracterizados por su bajo contenido en sodio, siendo valiosa desde un punto de vista nutricional y culinario (Echeverri et al., 2001).

En México, específicamente Yucatán, los estípites de *B. major* se utilizan tradicionalmente para delimitar propiedades, funcionando como cercas vivas en los terrenos y la elaboración de cestos; el fruto es apto para el consumo tanto humano y animal (M. P. García & Domínguez, 2008). Para *B. mexicana*., se registra uso del tallo para

material de construcción, los frutos como alimento, tratamiento de enfermedades respiratorias y analgésico (Pérez et al., 2009).

A pesar de los usos y aplicaciones conocidos para diversas especies de *Bactris*, la información detallada sobre la estructura anatómica del *B. mexicana* sigue siendo escasa en comparación con otras especies. Adicionalmente, existe una limitada comprensión de sus propiedades físicas. Por esta razón el objetivo de este estudio es determinar las características anatómicas y propiedades físicas del estípite de *B. mexicana*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La zona de estudio limita con el río Coatajapa en el Ejido La Esperanza, ubicado en el municipio de Huimanguillo, estado de Tabasco (figura 1). El área se encuentra al comienzo de una franja de vegetación perennifolia que alberga especies como: *Pachira aquatica* Aubl., *Andira galeottiana* Standl., *Sabal* Adans., y *Zanthoxylum rhoifolium* Lam. Además, se encuentra parcialmente rodeada por campos de cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y limón (*Citrus × latifolia* (Yu.Tanaka) Yu.Tanaka.). Los suelos en esta región corresponden al tipo acrisol úmbrico Cutánico (ACumct) según lo descrito por Salgado-García et al. (2017); tipo de clima cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano (Cfa) y cálido-húmedo con lluvias durante todo el año (Af) y precipitación anual de 2251 mm con temperatura media anual de 26 °C (García, 2004; INEGI, 2010^a).

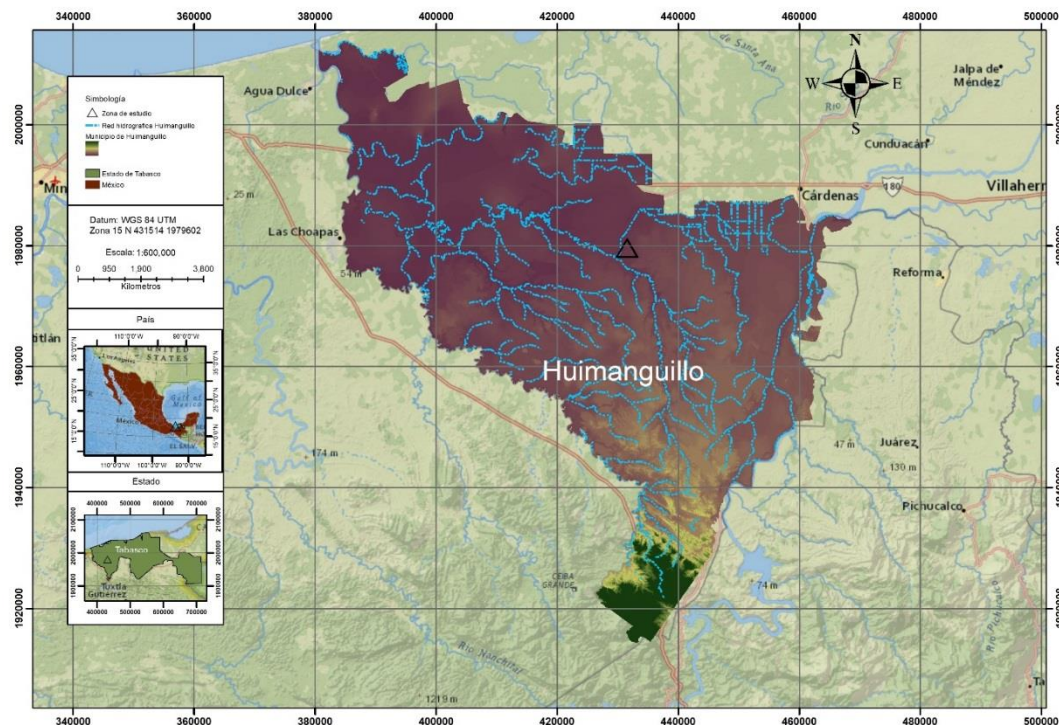


Figura 1. Ubicación del área de estudio en el Ejido la Esperanza, municipio de Huimanguillo, Tabasco, México.

Colecta del material vegetal

Estas palmeras se caracterizan por tallos con espinas en los entrenudos con longitudes en la zona basal de 4.1 cm, media de 3.3 cm y apical con 2.5 cm (figura 2), diámetros de 3-6 cm y alturas promedio que oscila entre 2-8 m; hojas pinnadas, raquis de 30 a 60 cm de largo; pinnas en grupos de 25 a cada lado del raquis, con longitudes que oscilan entre 30 y 60 cm, verde oscuro en el haz y ligeramente blanquecinas en el envés; raquis densamente espinoso en la parte inferior; vaina grande y espinosa; espádice de 24 cm de forma acuminada; fruto subgloboso con pericarpo irregular (V. Mendoza et al., 2022; Quero, 1992; Ramos et al., 2009a).



Figura 2. Características morfológicas de *B. mexicana*: A. población de *B. mexicana*; B: longitud de espinas; C. tallo con espinas; D: espinas en la zona apical; E: hojas; F: espinas en el raquis de las hojas.

Dentro del área de estudio se seleccionaron al azar dos poblaciones de *B. mexicana*, libres de patógenos y sin daños mecánicos. Los estípites de las palmeras fueron cortados con una motosierra al nivel del suelo, se registraron: diámetro y altura del tallo, número y largo de hojas, con la finalidad de generar un reporte para la identificación de la especie, el material vegetal fue trasladado al herbario CHAP y laboratorio de Anatomía y Tecnología de la madera de la División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo en Texcoco, México.

Pretratamiento de muestras

Para facilitar la manipulación de las muestras, fue necesario eliminar las espinas del estípite utilizando una cuchilla. Posteriormente los tallos se dividieron en tres zonas (figura 3): basal: comprende la base del estípite hasta una altura de 1.30 m; la sección

media: abarca desde 1.30 m hasta 2.60 m de altura; sección apical: para los estípites 3 y 5 fue de 2.60 m a 2.98 m de altura y para los tallos 1, 2, 3 y 4 de 2.98 m a 3.90 m de altura.

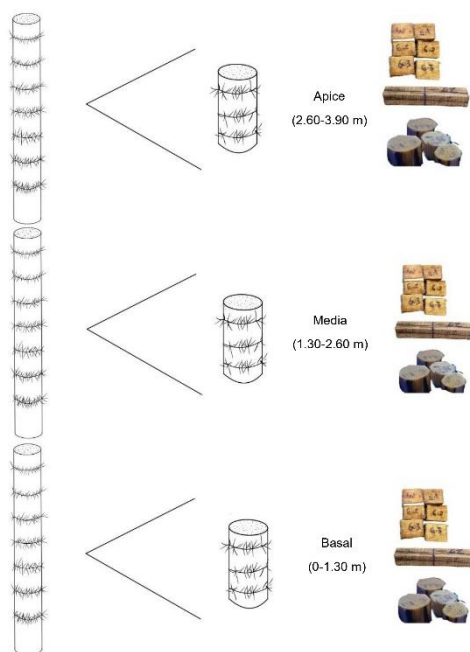


Figura 3. Seccionamiento del estípite de *B. mexicana*. Fuente: Elaboración propia

Método para estudio de anatomía del estípite

Para cada sección (basal, media y apical) se cortaron tres repeticiones, en total se obtuvieron 18 segmentos de 20 mm de longitud.

Los segmentos se depositaron en polietilenglicol (PEG) con punto de fusión a 50 °C y peso molecular de 1500 g/mol. Por un periodo de tres horas se aplicando un ciclo de vacío en intervalos de 20 min manteniendo la temperatura constante. Posteriormente, las probetas se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 24 a 72 h, con la finalidad que solidifiquen.

Se empleó un microtomo Leica modelo SM 2000 R para la obtención de laminillas de los planos transversal y longitudinal de 20-35 µm de grosor de los segmentos impregnados con PEG. A continuación, se sometieron a un proceso de tinción con pardo de Bismarck durante 25 a 30 min, se lavaron con agua destilada para eliminar residuos del

tinte y el polímero. Para el montaje los cortes de tejido se deshidrataron con etanol etanol al 96 y 100% durante 5 minutos respectivamente, se dejaron reposar 10 segundos en sustituto de Xilol, se aplicó resina Entellan para la fijación permanente, en total se obtuvieron 100 preparaciones histológica.

Por último, se obtuvieron imágenes de fluorescencia para identificar los biopolímeros y compuestos albergados en el estípide, con el uso de un Microscopio Confocal Invertido con cámara espectral incluida (Nikon Eclipse Ti-E) del Laboratorio Nacional de Investigación y Servicios Agroalimentarios y Forestales (LANISAF) y un microscopio de fluorescencia de campo amplio Zeiss Axio Imager Z2, con una cámara axiocam MRc 5. Las imágenes capturadas con este microscopio fueron procesadas utilizando el software Zen Blue 3.5, 093.00002 de Zeiss (Jena, Alemania), haciendo ligeras correcciones en contraste (Dhakal & Macreadie, 2022).

Para observar los compuestos del estípide se realizó una tinción alternativa siguiendo el protocolo de Kitin et al. (2020) con cambios en los tiempos de tinción. Para esto las laminillas fueron sumergidas en naranja de acridina durante 5 min, seguido de tres lavados con agua destilada, se tiñeron con calcoflúor y se deshidrataron con etanol en concentraciones de 25%, 50, 75 y 96% durante 5 min respectivamente, se realizó la rehidratación de las muestras en etanol al 75, 50 y 25% en ciclos de 5 min.

Descripción de elementos anatómicos y cuantificación de esclerénquima

Para la caracterización anatómica se analizó en el plano transversal y longitudinal del estípide, se empleó la guía de la International Association of Wood Anatomists (IAWA), donde se clasifica de manera ordenada los elementos anatómicos para *Calamus* (Weiner & Liese, 1993). Dado que no existe una guía para palmeras y existe semejanza en las estructuras. Además, se empleó la base de datos Palm ID desarrollada por Thomas (2011), que permite identificar los tallos de las palmas a nivel anatómico. Así como la descripción anatómica para la subtribu Bactridinae propuesta por Tomlinson et. al (2011) y los datos proporcionados sobre la estructura anatómica en la investigación de Magellan et. al., (2015).

La cuantificación de los elementos anatómicos se llevo a cabo con imágenes capturadas con el microscopio DM3000 (Leica Microsystems CMS GmbH, Wetzlar, Alemania) con cámara. Las fotografías fueron procesadas en la función "Analysis" del

software Leica Application Suite (versión 3.8.0, 2003-2011). Las mediciones se realizaron en el córtex, se midió número de haces vasculares, área del haz vascular (longitud y ancho del haz), diámetro del metaxilema y porcentaje de esclerénquima.

El porcentaje de esclerénquima en los haces vasculares se estimó con la siguiente formula:

$$\% \text{ Esclerénquima} = \left(\frac{\text{Área esclerénquima}}{\text{Área haz}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Determinación de densidad básica

La densidad básica se define como la relación entre la masa (m) en gr y el volumen (V) en centímetros cúbicos (gr/cm³). En otras palabras, la densidad representa la cantidad de material leñoso contenida en una unidad de volumen (Suirezs & Berger, 2010), esta varía dependiendo de la especie, condiciones climáticas, dureza, peso, resistencia al impacto, abrasión, cantidad y tipos de elementos celulares que la componen (Ordóñez Díaz et al., 2015a). Es una propiedad física que se utiliza como indicador de calidad de la madera (Riesco Muñoz et al., 2019).

De las tres zonas de crecimiento (basal, media y apical). Se cortaron probetas con dimensiones de 2 cm × 2 cm × 2 cm, de acuerdo con la norma American Society for Testing and Materials (ASTM) D2395-14. Se calculó el volumen saturado por el método de desplazamiento de agua, las probetas se metieron a una estufa de secado memmert a 103°C±1 hasta lograr el peso constate. A continuación, se obtuvo el peso en una balanza analítica (0.00). La fórmula empleada para estimar la densidad:

$$DB = \frac{P_0}{V_v}$$

Donde:

DB= Densidad básica (g/cm³)

P₀= Peso anhidro (g)

V= Volumen (cm³)

Método contracciones

Para la contracción volumétrica se elaboraron probeta de las tres zonas de análisis (basal, media y apical) con las siguientes dimensiones 2.5 cm× 10 cm × 2.5 cm de acuerdo con los métodos de prueba de American Society for Testing and Materials (ASTM) D143-94 (2000) ^{e1}, con modificación en la longitud. Se midieron en estado saturado y las

contracciones tangencial, radial y longitudinal, se dejaron secar a temperatura ambiente durante 7 días para llegar al peso constante en punto de equilibrio. Enseguida se colocaron en la estufa de secado a 103° C hasta lograr peso constante. Se tomaron las medidas en cada estado correspondiente.

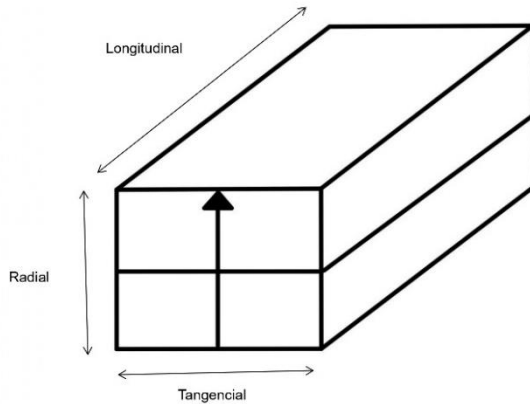


Figura 4. Esquema de medición de las contracciones

Las contracciones radial, tangencial y axial se estimaron empleando las fórmulas propuestas por Acheampong et al., (2022) para palmeras:

$$\beta_T = \frac{ct_v - ct_0}{ct_v} * 100 \quad (1)$$

$$\beta_R = \frac{cr_v - cr_0}{cr_v} * 100 \quad (2)$$

$$\beta_L = \frac{cl_v - cl_0}{cl_v} * 100 \quad (3)$$

Donde:

β_T = Contracción transversal

β_L = Contracción axial

ct_v = Contracción transversal en verde

ct_0 = Contracción transversal anhidro

cl_v = Contracción axial en verde

cl_0 = Contracción axial anhidro

$$\beta V = \frac{L_s \times T_s \times R_s - L_0 \times T_0 \times R_0}{L_s \times T_s \times R_s} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

βV = Contracción de volumétrica (%)

L_s = Dimensión longitudinal de la muestra saturada (cm)

R_s = Dimensión radial de la muestra saturada (cm)

T_s = Dimensión tangencial de la muestra saturada (cm)

L_o = Dimensión longitudinal de la muestra seca (cm)

R_o = Dimensión radial de la muestra seca (cm)

T_o = Dimensión tangencial de la muestra seca (cm)

Análisis estadístico

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los conjuntos de datos, lo cual indicó distribuciones no normales ($p < 0.05$). Para el análisis estadístico comparativo se empleó la prueba U de Mann-Whitney. El análisis de los datos relacionados con la anatomía y las propiedades físicas se llevó a cabo mediante el software estadístico R, versión 4.3.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Datos morfométricos de los estípites

Los especímenes de *B. mexicana* muestran variabilidad en altura de 2.90 a 5.50 m, en promedio de 3.98 m. Los tallos espinosos en los entrenudos, el diámetro promedio es de 4.25 cm, la longitud de las espinas varía entre 1.40 y 6.00 cm. Cada individuo posee en promedio cinco hojas, la longitud de la lámina foliar es de 1.66 m en promedio con 35 pinnas por hoja aproximadamente. En el momento de la colecta las palmas poseían frutos de tipo racimo (tabla 1).

Liu et al (2020) en otras palmas *Daemonorops lewisiana* (Griff.) Mart., la longitud de las espinas en promedio es de 4.30 cm, mientras que en *Korthalsia scortechinii* Becc. son de 3.17 cm (ambos ratanes). La coloración de las espinas, varía entre especies, podría sugerir una función aposemática, donde las espinas no solo actúan como una barrera física, sino que también podrían ser una señal visual de advertencia, lo cual añade una capa adicional de protección al evitar que el ápice sea consumido o dañado durante su crecimiento.

Tabla 1. Características morfológicas de *B. mexicana*.

Estadístico	Altura (m)	Diámetro del estípite (cm)	Longitud de espinas (cm)	Numero de hojas	Longitud de lámina foliar (m)	Numero de Pinnas
N	6	6	18	6	6	6
Media	3.98	4.25	3.30	5	1.66	34.83
Desviación estándar	0.94	0.91	1.41	0.89	0.33	5.49
Mínimo	2.90	3.53	1.40	4.00	1.10	27.00
Máximo	5.50	6.05	6.00	6.00	2.00	40.00
Coeficiente de variación (%)	23.68	21.31	42.75	17.89	20.10	15.77

Disposición y cuantificación de elementos anatómicos

De acuerdo con la descripción de Tomlinson et al (2011b), el tallo de *B. mexicana* cesa su ensanchamiento tras su desarrollo. Los haces vasculares predominan en la región subcortical, los cuales están circundados por secciones fibrosas de tipo flecha (sagitada), antecediendo a un área de transición que conduce al cilindro central. Cada uno de estos haces en *B. mexicana* se compone de esclerénquima, floema, metaxilema y protoxilema.

En *Calamus* existe cuatro tipos de haces vasculares, catalogados como: a) Haz vascular con un campo de floema y un vaso de metaxilema; b) haz vascular con dos campos de floema y un vaso de metaxilema; c) haz vascular con un campo de floema y dos vasos de metaxilema; d) haz vascular con dos campos de floema que tienen disposiciones uniseriadas y biseriadas de tubos cribosos y un vaso de metaxilema (Dewi et al., 2019). En *B. mexicana* se observó que el haz vascular corresponde al tipo c (figura 5).

Ápice

En la zona apical de ambas poblaciones la proporción de parénquima es mayor, con estructuras esféricas y células alargadas compactas, que envuelve los haces vasculares tal como se ilustra en la figura 5. Los haces vasculares exhiben un incremento de tamaño

en la población 2 (tabla 3). Se aprecian diámetros menores en los vasos de metaxilema en comparación con otras regiones del tallo, como se especifica en la tabla 6. Aledaño a estos vasos se encuentra un campo de floema circundado por tejido esclerenquimático de tipo braquiesclereidas de forma sagitada, observándose en la figura 5 A. Esto concuerda con lo descrito por Thomas & De Franceschi (2013) para 151 palmeras, los haces están constituidos por dos áreas diferenciadas: una vascular, que incluye los elementos del protoxilema y los vasos del metaxilema, así como un campo de floema; y otra fibrosa, que se forma exteriormente al floema, creando una cubierta que rodea parcial o completamente a los haces.

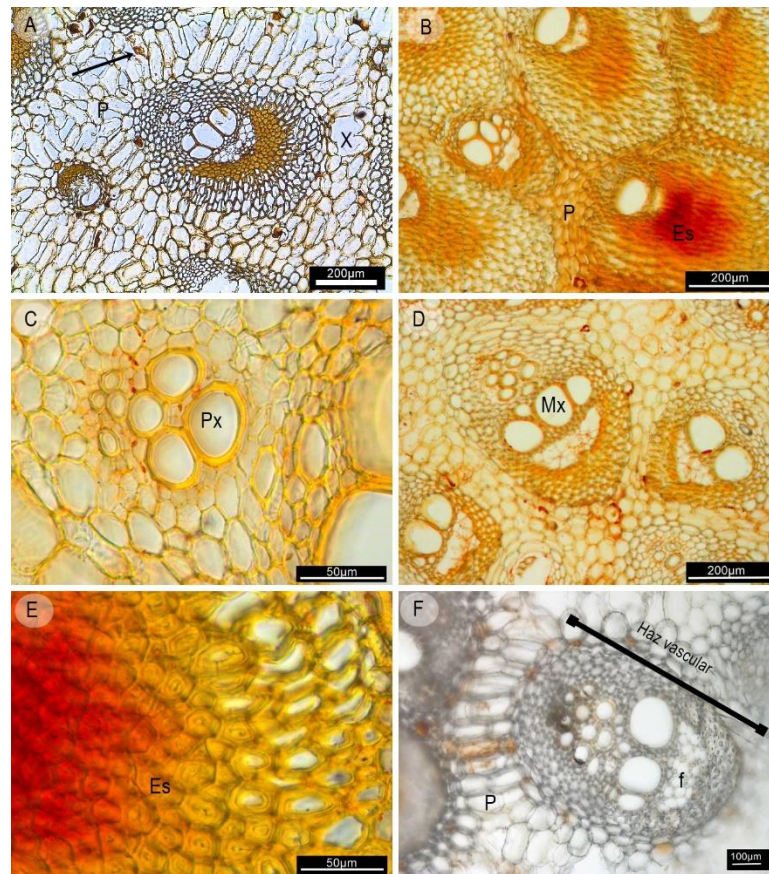


Figura 5. Zonas apicales del estípote de *B. mexicana*. A: haz vascular en la región del cilindro central alojado en parénquima; B: región subcortical con mayor densidad de haces vasculares; C: protoxilema del haz vascular a 40x; D: Haces vasculares en desarrollo en región del cilindro central; E: Esclerenquima de tipo braquiesclereida; F: Haz vascular sin

tinción, con taninos presentes en color marrón. X: espacio intercelular; P: parénquima; Es: esclerénquima; Px: protoxilema; Mx: metaxilema; f: floema; flecha: taninos.

Media

La zona media mostro valores altos en parénquima en ambas poblaciones, al igual que la zona apical. El haz vascular alojado en parénquima tiene mayor tamaño en la población 2, su estructura sigue el patrón antes mencionado y se observan haces de fibras en el tejido, así como taninos (figura 6 D). El diámetro de metaxilema en la población 1 es de 144.81 μm . Los porcentajes de esclerénquima son menores a los apicales (tabla 7).

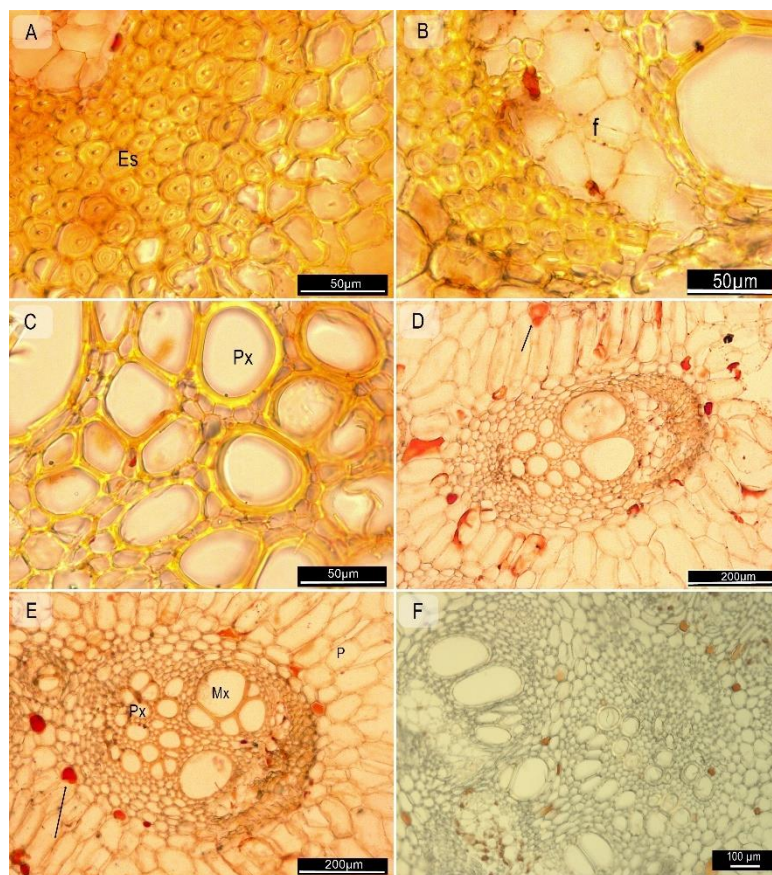


Figura 6. Zonas medias del estípide de *B. mexicana*. A: esclerénquima en haz vascular; B: floema rodeado de esclerénquima; C: protoxilema de los haces vasculares; D: haz vascular alojado en parénquima con presencia de taninos y fibras de tipo sagitada; E: haz vascular; F: corte transversal sin tinción y taninos en color marrón. P: parénquima; Es: esclerénquima; Px: protoxilema; Mx: metaxilema; f: floema; flecha: taninos.

Base

La evaluación de la región basal de las dos poblaciones indica una reducción en el área ocupada por el parénquima, el cual aparece más compacto en esta zona. Además, los haces vasculares presentan un mayor tamaño, pero una menor frecuencia, con un promedio de 16 a 18 haces en un área de $10,401,132 \mu\text{m}^2$. En la población 1 los diámetros del metaxilema son más pequeños en la zona basal en comparación con la segunda población 2, lo cual es evidente en la figura 7. En cuanto a la proporción de parénquima, se observan porcentajes inferiores en la zona basal. Estos datos están detallados en las tablas 3 a 6.

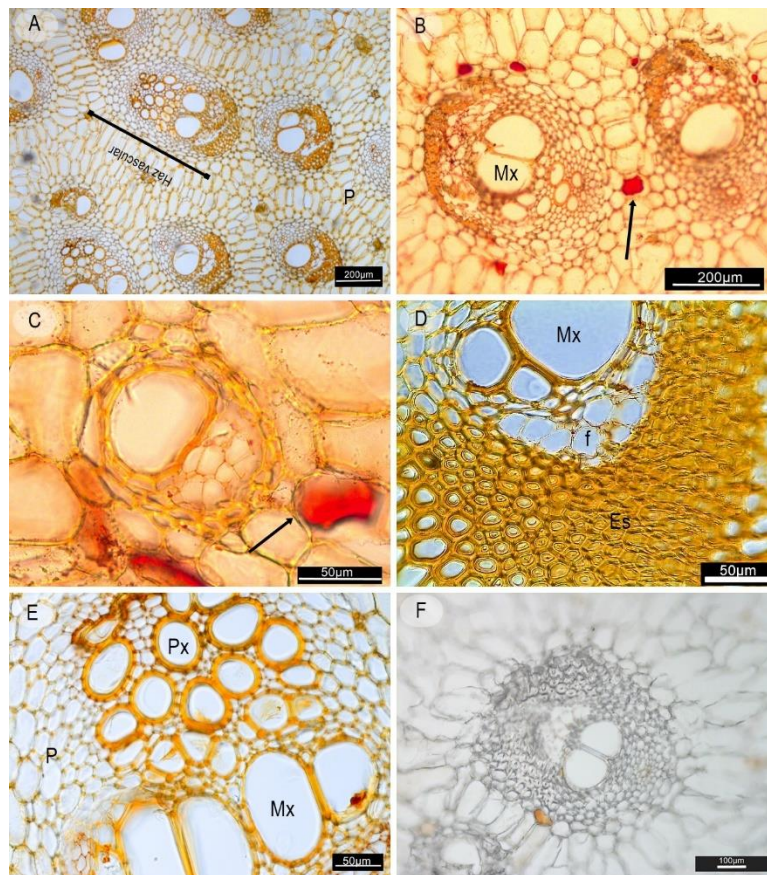


Figura 7: Zonas basales del estípite de *Bactris mexicana*. A: corte transversal de haces vasculares con presencia de haces fibrovasculares; B:haz vascular incrustado en parénquima; C: haz fibrovascular con presencia de floema y una capa en esclerénquima; D:esclerénquima de un haz vascular de la zona subcortical del estípite; E: Vasos de metaxilema y protofloema; F: haz vascular sin tinción con taninos. P: parénquima; Es: esclerénquima; Px: protoxilema; Mx: metaxilema; f: floema; flecha: taninos.

Diferenciación entre poblaciones

La población 1, ubicada en una zona baja y frecuentemente inundada cercana a un río, muestra haces vasculares de menor tamaño. Carlquist (2012) indica que en las monocotiledóneas suelen ocupar aproximadamente una cuarta parte de sus estructuras en vasos. Sin embargo, *B. mexicana* no sigue este patrón; sus haces vasculares abarcan solo una séptima parte de la superficie examinada, y los vasos del metaxilema son notablemente estrechos que los de la población 2 (tabla 6). Tal particularidad podría atribuirse a una elevada resistencia de los vasos frente a la presión hidráulica, lo que les permite evitar la formación de cavitaciones, un fenómeno común en angiospermas que prosperan en entornos húmedos (Carlquist, 2012).

El ancho y alto promedio del haz vascular para *B. mexicana* en la población 1 y 2 se muestra en la tabla 3, lo cual es diferente de lo mostrado por Orellana et al (1999) con valores de 953 (largo) y 87.4 μm (ancho). Estos valores se pueden ver influenciados por el sitio, edad y alturas ya que en este estudio se evaluaron a tres alturas distintas del estípite mientras que Orellana et al (1999) evaluó solo a 3 metros. Mientras tanto el esclerénquima es el primero en engrosar sus paredes y lignificarse de adentro a fuera (Tomlinson & Huggett, 2012), por lo que los porcentajes son mayores en las zonas apicales y esto se observó en los haces fibrovasculares agrupados en las zonas subcorticales (figura 5B). Las placas de perforación presentes en ambas poblaciones son escalariformes (figura 8), esto comúnmente observados en monocotiledóneas por capacidad de resistencia a la cavitación de cada especie, vitales para la supervivencia en ambientes húmedos (Carlquist, 2012).

A lo largo del tallo se registraron porcentajes consistentes de esclerénquima en las zonas basales y apicales de *B. mexicana* el cual es esencial para contrarrestar torsión, alta presión y estiramiento (Quiroz et al., 2008). Una característica particular de las fibras vasculares en el tallo de la palmera es su capacidad para engrosar y fortalecer sus paredes con el tiempo, otorgando mayor resistencia al tallo durante su crecimiento sin tener aumento en diámetro (Tomlinson et al., 2011b).

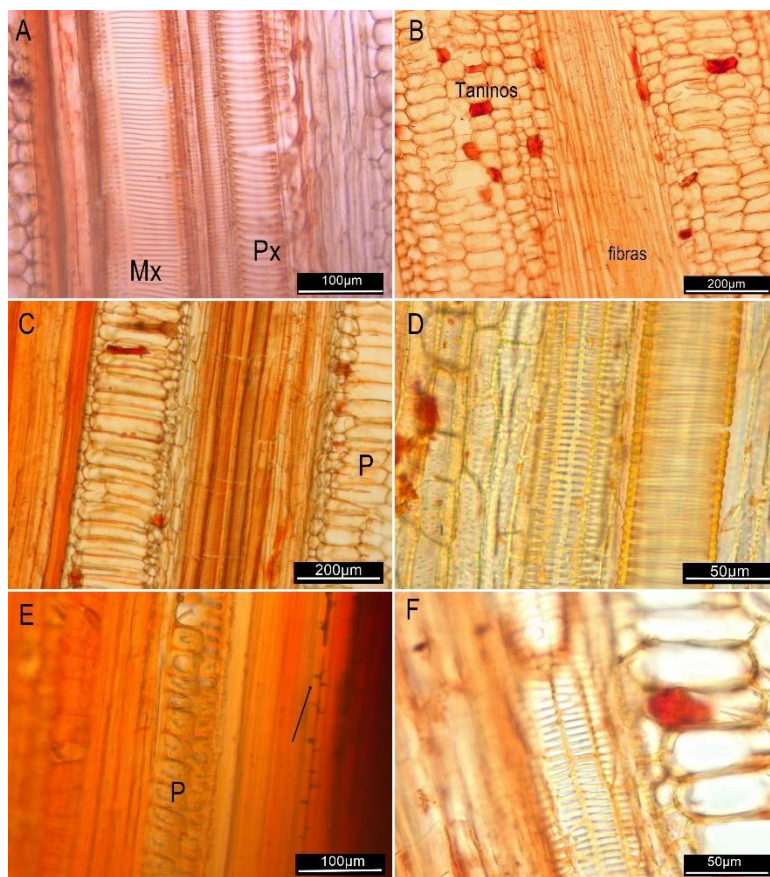


Figura 8. Corte longitudinal del estípite de *B. mexicana*. A: Placa de perforación escalariforme correspondiente al metaxilema y protoxilema con engrosamiento escalariforme; B: parenquima de tipo c; C: parenquima entre fibras; D: placa de perforación escalariforme; E: parénquima con paredes engrosadas perteneciente a la corteza del tallo; F: traqueidas escalariformes.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos para el parénquima

Población	Zona	n	Parénquima (µm)	Desviación estándar	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	54	10369272.74	21249.50	10303792.27	10398862.75	0.20
	Media	23	10369803.78	14391.75	10342415.11	10383334.41	0.14
	Basal	23	10347934.44	37959.12	10252500.97	10392948.14	0.37
	Promedio	100	10364283.11	26368.86	10252500.97	10398862.75	0.25
2	Ápice	25	10358840.02	27472.03	10268040.01	10379526.83	0.27
	Media	26	10365950.11	22362.81	10321584.45	10396046.20	0.22
	Basal	18	10355979.35	29162.19	10282999.52	10378438.17	0.28
	Promedio	69					0.25

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el Área del haz vascular

Población	Zona	n	Área haz (μm^2)	Desviación estándar	Mínimo (μm^2)	Máximo (μm^2)	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	54	139216.61	120083.15	50235.14	113228.1	1.16
	Media	23	137193.77	50832.59	76048.70	121493.2	2.70
	Basal	23	207156.00	96284.89	94794.12	187243.0	2.15
	Promedio	100	154550.99	106207.90	50235.14	815927.06	1.46
2	Ápice	25	168141.22	85518.63	87308.95	149817.2	1.97
	Media	26	155408.14	68642.52	65877.09	149318.9	2.26
	Basal	18	210362.03	104757.51	89432.10	163967.0	2.01
	Promedio	69	174357.38	86900.35	65877.09	505021.62	2.01

Tabla 4. Estadísticos básicos y longitud promedio del haz vascular

Población	Zona	n	Longitud Haz (μm)	Desviación estándar	Mínimo (μm)	Máximo (μm)	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	87	541.77	148.79	321.16	1091.49	27.46
	Media	46	659.12	169.76	458.47	1098.47	25.76
	Basal	46	525.31	115.50	365.38	951.85	21.99
	Promedio	179	567.70	155.91	321.16	1098.472	27.46
2	Ápice	45	399.98	118.64	221.09	795.93	29.66
	Media	71	431.30	118.28	251.35	809.89	27.42
	Basal	46	405.06	142.13	139.35	651.64	35.09
	Promedio	162	609.98	201.40	304.87	1741.67	33.02

Tabla 5. Estadísticos básicos ancho promedio del haz vascular

Población	Zona	n	Ancho Haz (μm)	Desviación estándar	Mínimo (μm)	Máximo (μm)	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	87	401.12	132.62	202.47	930.91	33.06
	Media	46	474.61	148.66	235.05	884.36	31.32
	Basal	46	388.25	99.20	230.40	809.89	25.55
	Promedio	179	416.70	133.29	202.47	930.91	31.99
2	Ápice	45	399.98	118.64	221.09	795.93	29.66
	Media	71	431.30	118.28	251.35	809.89	27.42
	Basal	46	405.06	142.13	139.35	651.64	35.09
	Promedio	162	415.15	201.40	304.87	1741.67	48.51

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para el diámetro del metaxilema

Población	Zona	n	Diámetro Metaxilema (µm)	Desviación estándar	Mínimo (µm)	Máximo (µm)	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	149	70.43	34.65	25.60	243.25	49.20
	Media	82	144.81	49.74	61	245.08	34.35
	Basal	216	87.36	40.82	40	287.38	46.73
	Promedio	447	228.93	24.03	130.37	254.83	10.49
2	Ápice	141	57.93	20.81	16.08	132.75	35.92
	Media	170	116.51	47.54	34.97	249.77	40.80
	Basal	84	133.51	40.19	50	225.42	30.10
	Promedio	395	232.39	19.7620333	133.295	254.375	8.50

Tabla 7. Estadísticos descriptivos para el porcentaje de esclerénquima

Población	Zona	n	Esclerénquima (%)	Desviación estándar	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	54	28.09	18.10	1.68	78.69	64.44
	Media	23	25.59	14.66	6.39	53.00	57.29
	Basal	23	25.27	12.46	10.50	52.50	49.31
	Promedio	100	27.01	16.12	1.68	78.69	59.70
2	Ápice	25	26.89	11.86	10.44	49.35	44.10
	Media	26	22.27	11.43	7.49	47.39	51.32
	Basal	18	21.86	6.41	9.13	31.68	29.32
	Promedio	69	23.84	10.65	7.49	49.35	44.65

Tabla 8. Estadísticos básicos del número de haces por zona

Población	Zona	n	N° Haces	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Coeficiente de variación (%)
1	Ápice	9	28.40	11.28	16.00	45.00	0.40
	Media	9	14.62	6.72	6.00	23.00	0.46
	Basal	9	11.78	3.87	6.00	17.00	0.33
	Promedio	27	18.78	10.89	6.00	45.00	0.58
2	Ápice	9	22.44	6.48	15.00	35.00	0.29
	Media	9	15.22	6.44	7.00	24.00	0.42
	Basal	9	11.00	4.77	5.00	18.00	0.43
	Promedio	27	16.76	7.48	5.00	5.00	0.45

Tabla 9. Prueba U de Mann-Whitney en los elementos anatómicos

Estructura	W	p-valor ()
Área de parénquima	3888	0.1281
Área haz vascular	2631	0.01148*
Ancho haz	13904	0.5131
Largo haz	12910	0.08065
Diámetro metaxilema	76540	0.0283*
%Esclerénquima	3611.5	0.5285
Numero de haces	396	0.5912

Nota. W: Prueba U de Mann-Whitney. El subíndice * indica diferencias significativas

Propiedades físicas

Densidad básica

La densidad básica muestra variabilidad entre las zonas de ambas poblaciones, en la Población 1, la densidad es homogénea a lo largo de las distintas zonas, con una ligera variación en el ápice, esto se observa en el coeficiente de variación. Por su parte, la Población 2 exhibe una mayor densidad en la zona media, seguida por la apical y la basal (tabla 10).

Comparando a *B. mexicana* con otras especies como *Calamus manan* Miq., exhibe variaciones significativas en la densidad a diferentes alturas (0.62 kg/m^3), otras especies documentan densidades que oscilan entre de 0.22 y 0.46 g/cm^3 (tabla 11). *B. mexicana* evidencia patrones de densidad que podrían estar influenciados por factores intrínsecos como la edad o las condiciones de crecimiento (Wahab et al., 2004).

Los valores de densidad básica para *B. mexicana* le confiere propiedades comparables a la madera, bajo ciertas condiciones, lo que podría ser aprovechado en la industria para la producción de tableros, aunque estas no son las ideales para uso directo en productos maderables (Dirkes et al., 2021), algunas secciones del estípite podrían ser utilizadas para fabricar MDF o contrachapados; respaldado por los datos de *Elaeis guineensis* Jacq., cuyas zonas apicales (0.17 g/cm^3), medias (0.19 g/cm^3) y basales (0.16 g/cm^3) presentan densidades que permiten su clasificación como madera ligera (Plaza, 2023) y su viabilidad para MDF de acuerdo con Nuryawan et al (2022). Actualmente el estípite *E. guineensis* se utiliza como subproducto base en la producción de biocompuestos

plásticos, con aplicaciones específicas en la fabricación de pizarras o tableros (Sierra Márquez et al., 2017b).

La investigación realizada con la palmera *Astrocaryum malybo* H.Karst., sugiere un pronóstico alentador para la adaptación en materiales compuestos (Mora-Espinosa & Ramón-Valencia, 2018). Esta perspectiva concuerda con el desarrollo actual de compuestos de madera y plástico (WPC, por sus siglas en inglés), los cuales se distinguen por adición de fibras vegetales y se caracterizan por su durabilidad en partes automotrices favoreciendo la disminución del peso vehicular y menor consumo energético (Ashori, 2008).

Tabla 10. Estadísticos básicos de la densidad en el estípite de *B. mexicana*

Población	Zona	n	Densidad (g/cm ³)	Desviación estándar	Mínimo (g/cm ³)	Máximo (g/cm ³)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	8	0.15	0.01	0.13	0.17	15
	Media	6	0.14	0.02	0.12	0.17	7
	Basal	6	0.14	0.02	0.12	0.17	7
	Promedio	20	0.15	0.02	0.12	0.17	7.5
2	Ápice	8	0.20	0.02	0.18	0.22	10
	Media	6	0.22	0.08	0.14	0.31	2.75
	Basal	6	0.17	0.02	0.14	0.21	8.5
	Promedio	20	0.20	0.05	0.14	0.31	4

Nota: Subíndice * indica diferencia significativa.

Tabla 11. Parámetros de densidad básica en diversas especies de palmeras

Especie	Densidad básica g/cm ³	Referencia
<i>Cocos nucifera</i> L.	0.460	(Rana et al., 2015)
<i>Calamus manan</i>	0.62 kg/m ³	(Wahab et al., 2004)
<i>Calamus zollingeri</i> Becc.	0.348	(Ahmed et al., 2022)
<i>Calamus ornatus</i> Blume	0.289	(Ahmed et al., 2022)
<i>Roystonea regia</i> (Kunth) O.F.Cook	0.516	(Guerra et al., 2018)
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	0.222-0.404	(Nuryawan et al., 2022)
<i>Sabal mexicana</i> Mart.	0.46	(Ordóñez Díaz et al., 2015b)
<i>Roystonea</i> sp.	0.46	(Ordóñez Díaz et al., 2015b)

<i>Washingtonia</i> H. Wendl.	<i>robusta</i>	0.46	(Ordóñez Díaz et al., 2015b)
----------------------------------	----------------	------	------------------------------

Contracción

Los resultados en la población 1 mostraron valores homogéneos mientras que en la población 2 hay una variación (tablas 12 a 15). La tendencia en la población 1 de la contracción axial indica un valor alto en la zona apical, decreciendo hacia las zonas media y basal. En las contracciones radiales y tangenciales, se observan los valores más altos en el ápice, con una disminución marcada conforme se avanza hacia la zona media y se aumenta en la zona basal. Respecto a la contracción volumétrica se destaca por ser superior en el ápice, contrastando con una reducción en la zona media y un leve repunte en la basal, de manera general las mayores contracciones se presentan en la población 1. La variación en las contracciones ven afectadas por la cantidad de haces vasculares en el cilindro central de la zona apical (Nuryawan et al., 2022), que es mayor comparada con otras zonas. Además, se relacionan con la proporción de esclerénquima y la reducción del grosor de las paredes celulares de estas, así como con el estrechamiento del parénquima durante el proceso de secado, de manera similar a lo reportado para *Phyllostachys edulis* (Carriere) J. Houzeau (Yuan et al., 2023). En términos de propiedades se ha observado que *Bambusa blumeana* Schultes. comparte algunas características con otra palmera como *E. guineensis* (Srivaro et al., 2018).

La Población 2 muestra un patrón distinto donde la contracción axial que es más pronunciada en la zona media. Las contracciones radiales alcanzan su mayor porcentaje en la zona basal. Las tangenciales siguen un patrón similar a la longitudinal con valores altos en la zona media seguido por la apical y basal. La contracción volumétrica destaca particularmente en la zona basal, mostrando una tendencia de aumento hacia la base (tabla 12-15).

La variabilidad en los resultados de la Población 2 puede explicarse por la correlación inversa observada entre la precipitación y las propiedades mecánicas de la madera. Incrementos en la pluviometría pueden deteriorar estas propiedades, mientras que temperaturas más elevadas parecen beneficiarlas (You et al., 2021). Este fenómeno podría justificar las menores contracciones registradas en la Población 2.

Tabla 12. Estadísticos básicos de contracción axial

Población	Zona	n	β Axial (%)	Desviación estándar	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	9	1.07	0.97	0.06	3.23	90.65
	Media	9	0.94	0.65	0.01	1.64	69.15
	Basal	9	0.75	0.33	0.46	1.46	44.00
	Promedio	27	0.93	0.70	0.01	3.23	75.22
2	Ápice	9	0.69	0.35	0.25	1.17	50.72
	Media	9	1.37	1.87	0.49	6.32	136.50
	Basal	9	0.46	0.29	0.19	1.03	63.04
	Promedio	27	0.86	0.31	0.19	1.17	36.09

Tabla 13. Estadísticos básicos de contracción radial

Población	Zona	n	β radial (%)	Desviación estándar	Mínimo	Máximo (%)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	9	17.59	7.67	3.7	29.44	43.60
	Media	9	6.34	2.69	2.99	11.01	42.43
	Basal	9	13.34	11.12	3.54	41.54	83.36
	Promedio	27	12.61	8.99	2.99	41.54	71.31
2	Ápice	9	8.60	3.11	5.55	14.57	36.16
	Media	9	10.89	9.1	3.29	29.2	83.56
	Basal	9	14.86	13.26	3.95	42.68	89.23
	Promedio	27	11.11	9.13	3.29	42.68	82.16

Tabla 14. Estadísticos básicos de contracción tangencial

Población	Zona	n	β tangencial (%)	Desviación estándar	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	9	15.03	7.64	4.36	24.13	50.83
	Media	9	4.49	1.07	3.01	6.79	23.83
	Basal	9	10.41	3.66	5.93	15.3	35.16
	Promedio	27	10.16	6.58	2.99	41.54	64.80
2	Ápice	9	8.43	3.68	3.76	16.39	43.65
	Media	9	9.54	6.06	3.04	20.80	63.52
	Basal	9	8.20	5.65	2.97	18.41	68.90
	Promedio	27	11.11	9.13	3.29	42.68	82.16

Tabla 15. Estadísticos básicos de contracción volumétrica

Población	Zona	n	β volumetrica (%)	Desviación estándar	Mínimo (%)	Máximo (%)	Coefficiente de variación (%)
1	Ápice	9	30.29	12.28	9.22	46.67	40.54
	Media	9	11.33	3.2	7.25	16.54	28.24
	Basal	9	22.8	11.46	10.36	49.36	50.26
	Promedio	27	22.25	12.47	7.25	49.36	56.03
2	Ápice	9	16.8	5.74	10.42	29.29	34.17
	Media	9	20.2	11.84	9.47	41.21	58.61
	Basal	9	22.11	14.03	7.29	44.78	63.46
	Promedio	27	18.92	10.41	7.29	44.78	55.00

Tabla 16. Prueba U para la densidad y contracciones

Propiedad física	W	p-valor ($\alpha < 0.05$)
Densidad	49.5	0.0004572*
β_L	427.5	0.2753
β_R	408	0.4514
β_T	391.5	0.6402
β_V	397	0.5737

El subíndice * indica diferencias significativas.

CONCLUSIONES

B. mexicana comparte similitud entre las características anatómicas de especies de la familia Arecaceae, el tamaño de los haces vasculares es su característica distintiva, por ser más cortos en longitud y más anchos en comparación con los de géneros *Calamus*, *Desmoncus* y *Rhapis*.

La densidad básica del estípide de *B. mexicana* se asemeja a la *Elaeis guineensis* y *Astrocaryum malybo*, ambas especies con alto potencial productivo, en cuanto a las contracciones son pronunciadas en las zonas apicales del tallo, debido a la densidad y configuración del esclerénquima y parénquima, pero sigue un patrón similar a otras palmeras; por tanto se confirma que la especie mexicana tiene buenas posibilidades de uso industrial como: la fabricación de tableros y materiales compuestos y a nivel semimanual en la confección de artesanías.

Las propiedades físicas y características anatómicas de *B. mexicana* se relacionan con las condiciones ambientales de los sitios de recolección, destacando una mayor

presencia de esclerénquima y contracciones elevadas en poblaciones situadas en zonas inundadas.

En futuras investigaciones, se recomienda líneas de estudio en la propagación de la especie, manejo de la especie en sistemas de plantaciones forestales no maderables, estudios de densidad poblacional e incluir otras enfocadas a la ingeniería de materiales para contemplar el estudio de ensayos de torsión y módulo de elasticidad y aspectos socioeconómicos.

CONTRIBUCIONES DE AUTORÍA

Conceptualización, investigación, metodología, manejo de datos, escritura, borrador original: Belem Alejandro Jardon; Análisis formal, Supervisión, Adquisición de financiación, Investigación, Metodología, revisión, edición y Administración de proyecto: Ma. Amparo Borja de la Rosa; Análisis formal, Validación, Supervisión, Investigación, Metodología, revisión y edición: Liliana Cuapio Hernández; Análisis formal, Supervisión, Validación, Visualización, revisión: Roberto Machuca Velasco; Análisis formal, Supervisión, Validación, Visualización, revisión: Alejandro Corona Ambriz

REFERENCIAS

- Acheampong, J. B.; Effah, B.; Antwi, K.; Achana, E. W. 2022.** Physical properties of palmyra palm wood for sustainable utilization as a structural material. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 24(08): 1-14. DOI: [DOI:https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100408](https://doi.org/10.4067/S0718-221X2022000100408)
- Ahmed, S. A.; Hosseinpourpia, R.; Brischke, C.; Adamopoulos, S. 2022.** Anatomical, Physical, Chemical, and Biological Durability Properties of Two Rattan Species of Different Diameter Classes. *Forests* 13(1): 132. DOI: [DOI:https://doi.org/10.3390/F13010132](https://doi.org/10.3390/F13010132)
- Ashori, A. 2008.** Wood–plastic composites as promising green-composites for automotive industries!. *Bioresource Technology* 99(11): 4661–4667. DOI: [DOI:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.043](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.043)
- Briceño, A.; de Mendonça, M. S.; Jáuregui, D. 2023.** Structure and ontogeny of inflorescence and flower of *Bactris acanthocarpoides* Barb. Rodr. and *Bactris hirta* Mart. (Arecaceae, Arecoideae, Bactridinae). *Flora* 305: 152347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152347>
- Carlquist, S. 2012.** How wood evolves: A new synthesis. *Botany* 90(10): 901–940. DOI: <https://doi.org/10.1139/B2012-048/ASSET/IMAGES/LARGE/B2012-048F14.JPEG>
- Dransfield, J.; Uhl, N. W.; Asmussen, C. B.; Baker, W. J.; Harley, M. M.; Lewis, C. E. 2008.** *Genera Palmarum. The evolution and classification of the palms.* 2nd ed. Kew Publishing, Royal Botanic Gardens: Kew.
- Echeverri, J. A.; Jitdutjaño, O. R.; Román, S. 2001.** La sal de monte: Un ensayo de “halofitogenografía” uitoto. In C. Franky C. Zárate (Eds.): *Imani Mundo: Estudios en la Amazonia colombiana* (Primera edición, pp. 397–477).
- Elias, G. A.; Guislon, A. V.; Gonçalves, T. M.; Santos, R. dos. 2019.** Traditional use of palms (Arecaceae) in the Atlantic Forest in Southern Santa Catarina, Brazil. *Floresta e Ambiente* 26(2): 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.048217>
- García, A. E. 2004.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. In Instituto de Geografía.

García, M. P.; Domínguez, S. R. 2008. Formas de aprovechamiento de algunas palmas de la Península de Yucatán. *ContactoS* 69, 53–60. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n69ne/palmas.pdf>

Guerra, N.; Villegas, D.; Lopez, P.; Castaño, F.; González Estrada, O. 2018. Characterization of the physical and mechanical properties in the transversal section of the trunk of the royal palm *Roystonea regia* (Kunth) O. F. Cook. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22815.87201>

Henderson, A. (2000). *Bactris* (Palmae). *Flora Neotropica*, 79, 1–183. DOI:<https://www.jstor.org/stable/4393893>

INEGI. 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Huimanguillo, Tabasco. www.inafed.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia

Liu, K.; Mansor, A.; Ruppert, N.; Fadzly, N. 2020. Rattan spines as deterrence? A spinescence study on different species of rattans. *Plant Signaling Behavior* 15(10): 1795393. DOI: <https://doi.org/10.1080/15592324.2020.1795393>

Machuca Machuca, K.; Martínez Salas, E.; Quero, H.; Samain, M.-S. 2022a. *Bactris* major. The IUCN Red List of Threatened Species 2022: E.T55947862A55947887. DOI:<https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T55947862A55947887.en>

Machuca Machuca, K.; Martínez Salas, E.; Quero, H.; Samain, M.-S. 2022b. *Bactris mexicana*. The IUCN Red List of Threatened Species. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2022-1.RLTS.T58405443A59431655.en>

Magellan, T. M.; Tomlinson, P. B.; Huggett, B. A. 2015. Stem anatomy in the spiny american palm *Bactris* (Arecaceae-Bactridinae). *Hoehnea* 42(3): 567–579. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906-18/2015>

Mendoza, V.; Sandoval, D.; Hellmuth, N. 2022. Huiscoyol Palms, *Bactris* major and *Bactris mexicana*. *FLAAR Mesooamérica* 31–32.

Montúfar, R.; Rosas, J. 2013. Chontaduro/Chontilla (*Bactris gasipaes*). In R. Valencia, R. Montúfar, H. Navarrete, H. Balslev (Eds.): *Palmas ecuatorianas: biología y uso sostenible* (Primera edición, pp. 77–89).

Mora-Espinosa, W. J.; Ramón-Valencia, B. A. 2018. Caracterización térmica, mecánica y morfológica de fibras naturales colombianas con potencial como refuerzo de

biocompuestos. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41(161): 479. DOI:<https://doi.org/10.18257/raccefyn.525>

Nuryawan, A.; Sutiawan, J.; Rahmawaty, Masruchin, N.; Bekhta, P. 2022. Panel Products Made of Oil Palm Trunk: A Review of Potency, Environmental Aspect, and Comparison with Wood-Based Composites. *Polymers* 14(9): 1758. DOI:<https://doi.org/10.3390/polym14091758>

Ordóñez Díaz, J. A. B.; Galicia Naranjo, A.; Venegas Mancera, N. J.; Hernández Tejeda, T.; Ordóñez Díaz, M. de J.; Dávalos-Sotelo, R. 2015. Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21. DOI:<https://doi.org/10.21829/myb.2015.210428>

Orellana, R.; Herrera, P.; Rebollar, S.; Escalante, J.; López, G.; Escalante, S.; Gus, L. 1999. Studies on the potential uses of some native palms of the Yucatan Peninsula (Mexico) as substitutes of rattan. *Acta Horticulturae* 486: 291–295. DOI:<https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.1999.486.43>

Pérez, P. M. 2009. Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. *Revista Digital Universitaria* 10 (10): 1607 - 6079. <https://www.ru.tic.unam.mx/xmlui/handle/123456789/1549>

Pulido-Silva, M. T.; Quero, H.; Hodel, D.; Lopez-Toledo, L. 2022. Richness, Endemism and Floristic Affinities of the Palms of Mexico. *Botanical Review* 1–25. DOI:<https://doi.org/10.1007/S12229-022-09284-4/FIGURES/5>

Quero, H. J. 1992. Las palmas silvestres de la Península de Yucatán. *Publicaciones Especiales Del Instituto de Biología. UNAM* 10, 9–63.

Quero, H. J. 1994. Las palmas de México: presente y futuro. *Botanical Sciences* 55(55): 123–127. DOI:<https://doi.org/10.17129/BOTSCI.1455>

Quiroz, J.; Orellana, R.; Canto, G.; Rebollar, S.; Herrera-Franco, P. 2008. Stem anatomical characteristics of the climbing palm *Desmoncus orthacanthos* (Arecaceae) under two natural growth conditions in a tropical forest. *Revista de Biología Tropical* 56(2): 937–949. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0034-77442008000200040lng=en&lng=en

Ramos, C. M. B.; Gil, G. O.; Cerino, C. M. A. 2009. Notas sobre el género *Bactris* (Arecaceae) en el estado de Tabasco, México. *Kuxulkab'* 16(29). DOI:<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a16n29.433>

Rana, M.; Das, A.; Ashaduzzaman, M. 2015. Physical and mechanical properties of coconut palm (*Cocos nucifera*) stem. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* 50(1): 39–46. DOI:<https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i1.23808>

Riesco Muñoz, G.; Imaña Encinas, J.; De Paula, J. E. 2019. Densidad de la madera de 59 especies del orden Sapindales procedentes de bosques naturales brasileños. *Madera y Bosques* 25(2). DOI:<https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521817>

Salgado-García, S.; Palma-López, D. J.; Zavala-Cruz, J.; Ortiz-García, C. F.; Lagunes-Espinoza, L. C.; Ortiz-Ceballos, A. I.; Córdova-Sánchez, S.; Salgado-Velázquez, S. 2017. Los suelos ácidos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. *Agro Productividad* 10(11): 16–21. DOI:<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/31>

Sierra Márquez, J.; Sierra Márquez, L.; Olivero-Verbel, J. 2017. Potencial económico de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agronomía Mesoamericana* 28(2): 523. DOI:<https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25927>

Srivaro, S.; Rattanarat, J.; Noothong, P. 2018. Comparison of the anatomical characteristics and physical and mechanical properties of oil palm and bamboo trunks. *Journal of Wood Science* 64(3): 186–192. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10086-017-1687-3>

Suirezs, T. maría, Berger, G. 2010. Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera (1a ed). Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones (EdUNaM).

Thomas, R. 2011. Palm-ID, a database to identify the palm stem anatomy with an expert system (Xper2). Université Paris 6 – Muséum National d'Histoire Naturelle. <http://www.infosyslab.fr/Palm-ID/>

Thomas, R.; De Franceschi, D. 2013. Palm stem anatomy and computer-aided identification: The Coryphoideae (Arecaceae). *American Journal of Botany* 100(2): 289–313. DOI:<https://doi.org/10.3732/ajb.1200242>

Tomlinson, P. B.; Horn, J. W.; Fisher, J. B. 2011. The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. In The Anatomy of Palms: Arecaceae - Palmae. Oxford University Press. DOI:<https://doi.org/10.1093/ACPROF:OSOBL/9780199558926.001.0001>

Tomlinson, P. B.; Huggett, B. A. 2012. Cell longevity and sustained primary growth in palm stems. *American Journal of Botany* 99(12): 1891–1902. DOI:<https://doi.org/10.3732/ajb.1200089>

Wahab, Samsi, Sulaiman. 2004. Basic density and strength properties of cultivated Calamus manan. *Journal of Bamboo and Rattan* 3(1): 35–43. DOI:<https://doi.org/10.1163/156915904772875626>

Weiner, G.; Liese, W. 1993. Generic identification key to rattan palms based on stem anatomical characters. *IAWA Journal (Netherlands)* 14(1): 55–61. DOI:<https://doi.org/10.1163/22941932-90000576>

Yang, H.-S.; Kim, D.-J.; Kim, H.-J. 2003. Rice straw–wood particle composite for sound absorbing wooden construction materials. *Bioresource Technology* 86(2): 117–121. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00163-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00163-3)

You, R.; Zhu, N.; Deng, X.; Wang, J.; Liu, F. 2021. Variation in wood physical properties and effects of climate for different geographic sources of Chinese fir in subtropical area of China. *Scientific Reports* 11(1): 1–11. DOI:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-83500-w>

Yuan, J.; Chen, L.; Mi, B.; Lei, Y.; Yan, L.; Fei, B. 2023. Synergistic effects of bamboo cells during shrinkage process. *Industrial Crops and Products* 193, 116232. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116232>

VI. CONCLUSIONES GENERALES

El género *Bactris* ha sido estudiado a nivel morfológico, botánico y anatómico en materiales fósiles, así como en especímenes de la era actual con la finalidad de valorar a las especies por sus propiedades, especialmente las hojas aun cuando a pesar de que el estípite posee mayor biomasa.

El estípite de *B. mexicana* posee las cualidades anatómicas, bioquímicas y físicas para el desarrollo de acciones productivas industriales o artesanales, al poseer un alto potencial como material para la fabricación de biocombustibles y adhesivos, la densidad básica y contracciones aseguran puede ser una buena materia prima en la manufactura empleándose como materia prima o sustituto o en combinación con otros en la industria de tableros. Además, los usos documentados en la literatura científica concuerdan estrechamente con las aplicaciones prácticas reales observadas para la especie.

Se recomienda hacer futuros ensayos con materiales derivados de la transformación del estípite, con el objetivo de definir con precisión su comportamiento e integración en la industria. Así como el análisis de la corteza que es usualmente muy dura y las espinas que podrían tener aplicaciones como artesanías por último estudios edafológicos para correlacionar sus propiedades físicas con el medio ambiente y evaluar su uso en el contexto del cambio climático.