



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE INGENIERÍA
CIVIL Y LA FACULTAD DE BIOLOGÍA.**

“Aprovechamiento del Endocarpio de Mango para la Extracción de Pulpas Celulósicas y Primera Aproximación en Acetilación”

Tesis presentada por:

Jaquelin Tovar Escobedo

A la División de Estudios de Posgrado de la Maestría en Ciencias en
Ingeniería Ambiental, como requisito para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Director: **Dr. José Apolinar Cortés**

Morelia, Michoacán de Ocampo, México

Enero 2026

Índice

Resumen.....	8
Abstract	9
Introducción	10
Marco teórico	11
Residuos	11
Celulosa.....	15
Hemicelulosas	15
Lignina	15
Compuestos inorgánicos o cenizas.....	16
Compuestos solubles o extraíbles	17
El mango	18
Deslignificación.	21
Demanda de celulosa en México.....	24
Acetato de celulosa.....	25
Antecedentes	27
Planteamiento del problema.....	31
Justificación	32
Hipótesis	33
Objetivo general.....	33
Objetivos específicos	33
Metodología	34
1. Recolección de los endocarpios de mango.	34
2. Caracterización del endocarpio de mango.	34
2.1 Humedad.....	34

2.2 Cenizas.....	35
2.3 Composición química.....	35
2.4 Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM).....	35
3. Deslignificación ácida a nivel laboratorio.	36
4. Caracterización de las pulpas.....	37
4.1 Rendimiento.....	37
4.2 No. de Kappa	37
5. Deslignificación a escala piloto	38
6. Caracterización de las pulpas celulósicas	40
6.1 Rendimiento.....	40
6.2 No. de Kappa	40
6.3 Índice de calidad de las pulpas	40
6.4 Composición química.....	41
6.5 Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM).....	42
6.6 Blancura y opacidad	42
7. Acetilación	42
8. Caracterización del acetato de celulosa	43
8.1 Porcentaje de grupos acetilo	43
8.2 Análisis FTIR	43
Resultados y discusión.....	44
Caracterización del endocarpio de mango.	44
Humedad y cenizas.....	44
9. Composición química del endocarpio de mango.....	44
10. Imágenes SEM.....	45
Deslignificación a nivel laboratorio	48

Rendimiento.....	48
No. de Kappa	49
Análisis del diseño factorial	50
Deslignificación a escala piloto.....	52
Curvas de calentamiento.....	52
Rendimiento y No. de Kappa	54
Índice de calidad de las pulpas	55
Composición química de las pulpas	56
Imágenes SEM.....	56
Blancura y opacidad	60
Acetilación	64
Caracterización del acetato de celulosa	64
Porcentaje de grupos acetilo	64
Conclusión	68
Referencias.....	69

Índice de Figuras

Figura 1.	Clasificación de los residuos. Fuente: LGPGIR (2003).....	11
Figura 2.	Proceso de degradación del material orgánico en condiciones anaeróbicas. Fuente: Bermúdez et al., (1988).....	13
Figura 3.	Estructura de la celulosa. Fuente: Datta (2024).....	15
Figura 4.	Composición y arreglo de sustratos lignocelulósicos. Fuente: Brethauer <i>et al.</i> , (2020).....	16
Figura 5.	Entidades federativas de mayor producción en México.	18
Figura 6.	Proceso general en la extracción de celulosa. Fuente: Schieppati <i>et al.</i> , (2023). ...	21
Figura 7.	Seguimiento de la deslignificación Kraft.....	22
Figura 8.	Estados de mayor compra de celulosa. Fuente: Secretaría de Economía (s.f.).....	24
Figura 9.	Proceso de acetilación en monómeros de celulosa. Fuente: Baghdad (2025).	25
Figura 10.	Microcelulosa proveniente del endocarpio de mango. Fuente: Lorenzo-Santiago & Rendón-Villalobos (2020).	27
Figura 11.	Pulpa celulósica obtenida por Henrique <i>et al.</i> , (2013).....	28
Figura 12.	Acetilación de residuos lignocelulósicos en función al tiempo. Fuente: Zakaria <i>et al.</i> , (2021).....	29
Figura 13.	Digestor rotatorio, marca METROTEC.....	38
Figura 14.	Digestor WERKE LR 2.ST marca IKA.....	39
Figura 15.	Imagen SEM del espacio rugoso del endocarpio visto a 250 x.	46
Figura 16.	Estructura fibrosa del endocarpio vista a 500 x.	47
Figura 17.	Fibras de celulosa vistas a 1000x.....	48
Figura 18.	Diagrama de significancia de las variables.	51
Figura 19.	Condiciones de cocción de mayor influencia en la deslignificación del endocarpio.....	51
Figura 20.	Influencia de temperatura en el reactor al utilizar agua.	52

Figura 21.	Curva de calentamiento del agua y el endocarpio.	53
Figura 22.	Comportamiento del endocarpio y el licor de cocción al aumento de temperatura.	54
Figura 23.	Pulpas celulósicas obtenidas del endocarpio de mango, vistas a 250 aumentos. ...	57
Figura 24.	Pulpas celulósicas a 500 aumentos.	58
Figura 25.	Estructura de la celulosa del endocarpio de mango después de la extracción química con ácido peracético.	59
Figura 26.	Fibras de celulosa nativas del endocarpio. Fuente: Lorenzo-Santiago y Rendón-Villalobos (2020).	60
Figura 27.	Hoja Tappi generada a partir de pulpas celulósicas del endocarpio para la medición de blancura y opacidad.	61
Figura 28.	Proceso industrial de extracción química de celulosa.	63
Figura 29.	Proceso de deslignificación con ácido peracético.	64
Figura 30.	Acetatos de celulosa, en la izquierda es posible observar el acetato proveniente del endocarpio de mango, mientras que a la derecha se observa el acetato recuperado por Lamanna <i>et al.</i> , (2024).	65
Figura 31.	Análisis FTIR del acetato de celulosa proveniente del endocarpio de mango.	66
Figura 32.	Grupos funcionales del acetato de celulosa. Fuente: Raza <i>et al.</i> , (2021).	67

Índice de tablas

Tabla 1.	Peso específico de los residuos.....	14
Tabla 2.	Estados productores y su temporada de producción.....	19
Tabla 3.	Variedades de mango por Estado.	19
Tabla 4.	Grados de sustitución del acetato de celulosa.	25
Tabla 5.	Productos a base de acetato de celulosa	26
Tabla 6.	Acondicionamiento de los endocarpios de mango.	34
Tabla 7.	Variables utilizadas para el diseño de experimentos.....	36
Tabla 8.	Corridas emitidas por el diseño de experimentos factorial 2^2	36
Tabla 9.	Condiciones de cocción para ambos sistemas.	40
Tabla 10.	Porcentaje de humedad y cenizas en endocarpios.	44
Tabla 11.	Composición química del endocarpio de mango.....	45
Tabla 12.	Rendimiento de obtención de fibra del diseño factorial 2^2	49
Tabla 13.	No. de Kappa del diseño factorial 2^2	50
Tabla 14.	Análisis de varianza del diseño de experimentos Factorial 2^2	50
Tabla 15.	Rendimiento y No. de Kappa a escala piloto.....	55
Tabla 16.	Dimensiones e índice de calidad de las fibras.	55
Tabla 17.	Composición química de las pulpas celulósicas.	56
Tabla 18.	Blancura y opacidad de pulpas obtenidas con ácido peracético.	61
Tabla 19.	Acetato generado de fibras provenientes del endocarpio de mango.....	64

Resumen

Los residuos de mango en Michoacán, han generado un especial interés en el marco normativo sobre el manejo de residuos, al ser materiales generados en cantidades estimadas en 207 toneladas por día, en las que se pueden encontrar subproductos ricos en elementos de alta demanda, como es la celulosa, donde su satisfacción requiere de la compra internacional desde 1991. Especialmente, el endocarpio de mango posee una estructura lignocelulósica resistente a procesos de degradación, mismo que es indicativo de su potencial como materia prima en procesos de deslignificación, por lo cual, el presente trabajo evaluó su uso para la extracción de celulosa, mediante ácido peracético producido a partir de reactivos de grado analítico como, peróxido de hidrógeno al 30 %, ácido acético glacial y agua, a partir de un diseño de experimentos factorial 2^2 a nivel laboratorio, en el que las mejores condiciones, se replicaron en reactores de construcción industrial para su escalamiento. Una vez obtenida la pulpa celulósica, fue utilizada para la síntesis del acetato de celulosa, derivado químico ampliamente utilizado para la producción de plástico, membranas y textiles. Los resultados demostraron la capacidad oxidativa del método ácido, en donde se obtuvieron rendimientos superiores al 50 %, además de bajos números de Kappa (No. de Kappa) (>0.4 y <8.6), con índice de calidad de las pulpas cuyas características las clasifican como fibras de longitud corta (700 μm), de pared gruesa y lumen poco desarrollado. Los resultados del análisis de composición básica indicaron que la extracción con ácido peracético, generó pulpas ricas en holocelulosa (>90 %) y bajos contenidos de lignina (1.07 %). Finalmente, el acetato producido corresponde a un diacetato de celulosa generado después de 14 h de reacción. En conclusión, es posible obtener celulosa de alta pureza con bajo contenido de lignina y alta blancura a partir del residuo de endocarpio de mango, al utilizar ácido peracético como licor de cocción en reactores escala piloto, donde las pulpas obtenidas pueden ser utilizadas para la producción de acetato de celulosa.

Palabras clave: Residuos, Celulosa, Economía Circular.

Abstract

Mango waste in Michoacán has generated particular interest within the regulatory framework for waste management, as it is generated in quantities estimated at 207 tons per day. This waste contains byproducts rich in high-demand elements, such as cellulose, for which international purchases have been necessary since 1991. Mango endocarp, in particular, possesses a lignocellulosic structure resistant to degradation processes, indicating its potential as a raw material in delignification processes. Therefore, this study evaluated its use for cellulose extraction using peracetic acid produced from analytical-grade reagents such as 30% hydrogen peroxide, glacial acetic acid, and water. A 2² factorial experimental design was used at the laboratory level, and the best conditions were replicated in industrially constructed reactors for scaling up. Once the cellulose pulp was obtained, it was used for the synthesis of cellulose acetate, a chemical derivative widely used in the production of plastics, membranes, and textiles. The results demonstrated the oxidative capacity of the acid method, yielding results greater than 50%, along with low Kappa numbers (>0.4 and <8.6). The pulp quality index indicates characteristics such as short fiber length (700 µm), thick walls, and a poorly developed lumen. The basic composition analysis showed that extraction with peracetic acid produced pulps rich in holocellulose (>90%) and with low lignin content (1.07%). Finally, the acetate produced was cellulose diacetate, generated after a 14-hour reaction. In conclusion, it is possible to obtain high purity cellulose with low lignin content and high whiteness from mango endocarp residue, using peracetic acid as the cooking liquor in pilot-scale reactors, where the pulps obtained can be used for the production of cellulose acetate.

Keywords: Waste, Cellulose, Circular Economy.

Introducción

El mango es un fruto popular entre las sociedades del mundo a consecuencia de su sabor y valor nutrimental (Mendoza-Hernández *et al.*, 2020). En México, la producción de este fruto es superior a dos millones de toneladas anuales, razón por la cual, está posicionado entre los principales países productores (Martínez *et al.*, 2023). Particularmente, Michoacán es identificado como uno de los estados más importantes desde 2019 en la producción de mango, además, en el estado se cuenta con infraestructura dedicada al procesamiento de este fruto para la obtención de pulpa, la cual posee un elevado valor comercial (Gallegos *et al.*, 2020; Chávez-Román, 2022). Como resultado del proceso de industrialización del mango, se generan los residuos de epicarpio, mesocarpio, endocarpio y semilla, los cuales pueden alcanzar hasta un 60 % en peso, mismos que son trasladados a rellenos sanitarios para su confinamiento, donde su recepción, así como su transporte representa un coste importante para el sector industrial (Sanou *et al.*, 2024; Manhongo *et al.*, 2021). Especialmente, el endocarpio de mango está compuesto por una estructura lignocelulósica resistente a procesos de biotransformación (Fadeyi *et al.*, 2020), es por esta razón que se compromete la capacidad de confinamiento de los rellenos sanitarios, aunado a esto, la legislación aplicada en materia de residuos clasifica a estos materiales como de manejo especial. En la búsqueda de un plan de manejo que garantice la gestión de estos materiales lignocelulósicos, se propone evitar el traslado y confinamiento de estos residuos, y se sugiere su aprovechamiento como materia prima para la extracción de celulosa, como alternativa para la reducción en la dependencia de fuentes maderables. Los procesos convencionales de obtención de pulpas celulósicas que se han utilizado en la deslignificación, tienen la característica de generar aguas residuales clasificadas como peligrosas debido a su nivel de corrosividad, toxicidad y reactividad (Ali & Sreekrishnan, 2001; Sharma & Singh, 2021). Con el fin de evitar este tipo de efluentes, en los últimos años se han generado procesos clasificados como “verdes”, en los que se utilizan diferentes agentes oxidantes como licor de cocción, tal es el caso del ácido peracético que es un compuesto fuertemente oxidante capaz de romper las estructuras lignínicas y liberar la celulosa blanqueada, sin la generación de agentes tóxicos residuales (Mayta *et al.*, 2024; Hu *et al.*, 2022). Donde la celulosa blanqueada obtenida del proceso verde puede ser utilizada como plataforma para la síntesis de compuestos con valor agregado como el acetato de celulosa.

Marco teórico

El actual interés científico enfocado en el uso de residuos lignocelulósicos para la obtención de materias primas, no busca sólo minimizar la presión sobre los recursos naturales del planeta, sino también, promover una economía circular que garantice satisfacer las demandas de bienes y servicios ambientales (Blasi *et al.*, 2023; Madadi *et al.*, 2025). Por lo que el presente marco teórico tiene por objetivo abordar los fundamentos básicos necesarios para la comprensión del tema de investigación.

Residuos

Los residuos, de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral (LGPGIR) (2003), son **materiales** que pueden encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso, **susceptibles de una valorización, tratamiento o disposición final**. Dependiendo de sus características, los residuos se pueden clasificar en tres grupos: sólidos urbanos, peligrosos y de manejo especial (Figura 1).

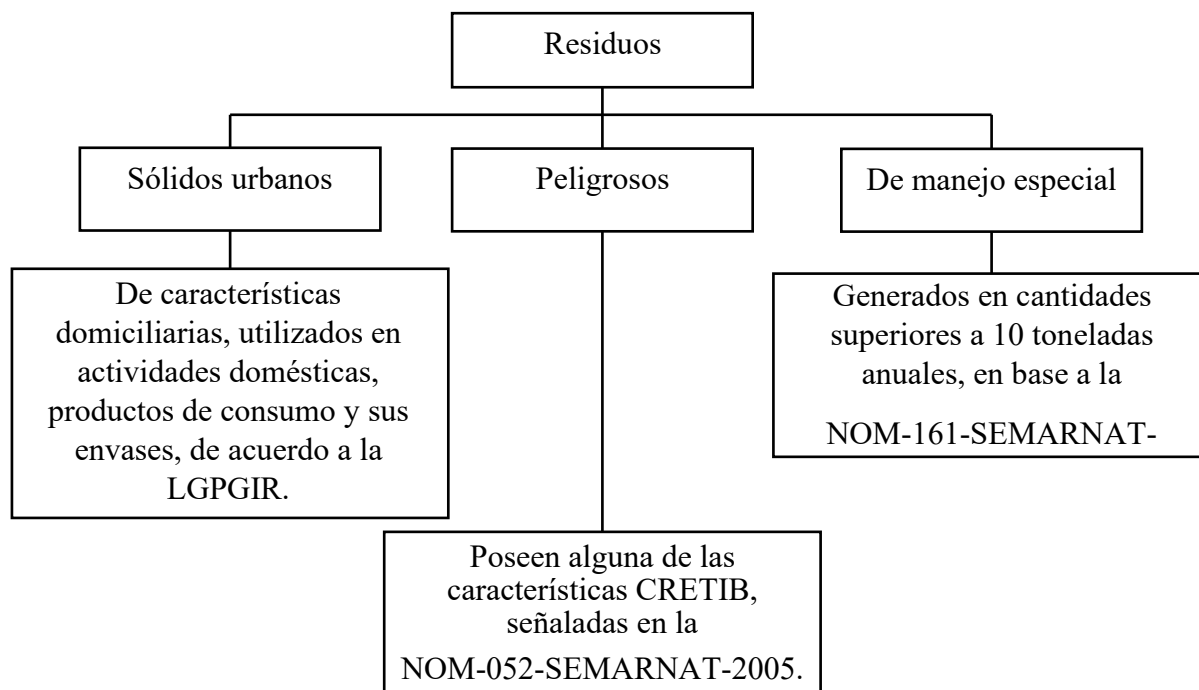


Figura 1. Clasificación de los residuos. Fuente: LGPGIR (2003).

La valorización, de acuerdo al reglamento de la LGPGIR (2003), tiene como objetivo rescatar el valor o el poder calorífico de los residuos, mediante su reincorporación a cadenas

productivas bajo criterios de responsabilidad. El tratamiento en cambio, consiste en aplicar procedimientos químicos, físicos, térmicos o biológicos con la finalidad de reducir el volumen o peligrosidad de los materiales. Finalmente, la disposición consiste en confinar a los residuos en instalaciones adecuadas, que permitan prevenir su liberación al ambiente, así como sus posibles consecuencias sobre la salud humana, ecosistemas y elementos naturales.

A nivel mundial, según Mousania *et al.*, (2023), se generan más de 2,000 millones de toneladas anuales de residuos sólidos urbanos, de los cuales el 57 % son orgánicos. El Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, elaborado por SEMARNAT (2020), señala que, en México la generación diaria es de 120,128 ton, de las cuales su composición porcentual promedio corresponde mayormente a residuos orgánicos, entre un 40 y 54 %, el proceso de degradación anaerobio de estos materiales en rellenos sanitarios está descrito por Czatzkowska *et al.*, (2020), el cual consta de cuatro fases; hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Figura 2).

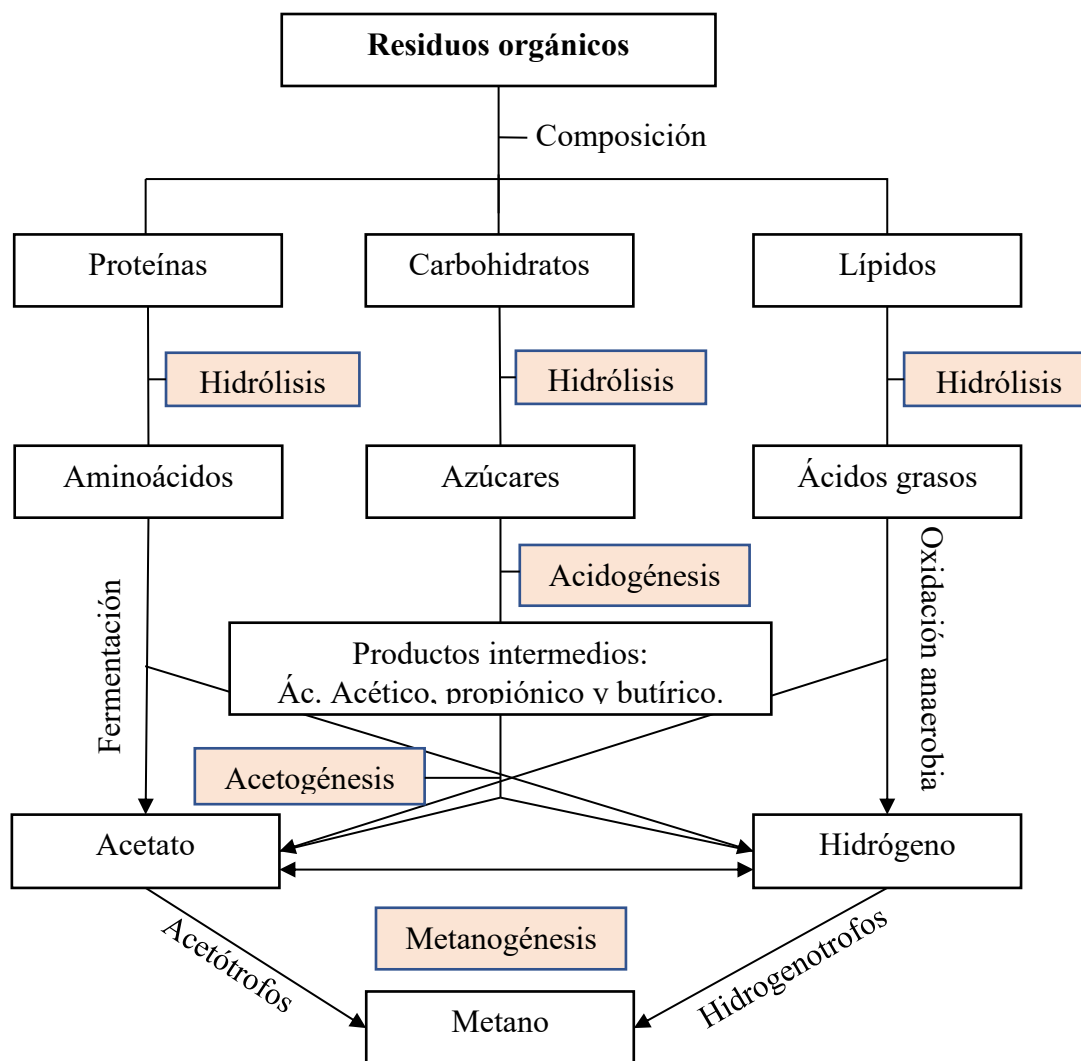


Figura 2. Proceso de degradación del material orgánico en condiciones anaeróbicas. Fuente: Bermúdez et al., (1988).

Durante la primera fase los sustratos de compuestos complejos (proteínas, lípidos y carbohidratos) son hidrolizados en moléculas orgánicas solubles (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos) por acción enzimática (Xiao *et al.*, 2022). La segunda etapa descrita por Li *et al.*, (2024), mencionan que durante la acidogénesis los productos de la etapa anterior son transformados en ácidos grasos volátiles (VFA) como son el ácido acético, propiónico y butírico, mismos que acidifican el medio de reacción. En la tercera etapa de acuerdo con Su *et al.*, (2023), las bacterias acetogénicas utilizan los VFA para transformarlos en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono para finalmente dar lugar a la cuarta etapa, que emite como residuo final, gases de efecto invernadero

(Zhang *et al.*, 2022), que están compuestos principalmente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y trazas de ácido sulfhídrico (H₂S). Las concentraciones de metano generadas se encuentran entre 45 y 60 % (Wang *et al.*, 2023). En el estudio publicado por Mousania *et al.*, (2023), señalan que la molécula de metano posee un potencial de calentamiento 20 veces superior al del dióxido de carbono, mismo que, en consecuencia, incrementa el efecto del calentamiento a nivel global. Aunado al proceso de acidificación generado durante la etapa de acidogénesis, el elevado contenido de humedad de los residuos orgánicos, propicia la generación de lixiviados, que de acuerdo a la LGPGIR (2003), pueden contaminar suelos y cuerpos de agua, provocando su deterioro y potencial riesgo sobre la salud. En la Tabla 1 se describen algunos residuos y su peso específico (γ), el cual aumenta o disminuye en función a su contenido de humedad, por esta razón los residuos orgánicos presentan los pesos específicos más elevados que varían entre 101 a 540 kg/m³ (SEDEMA, 2009).

Tabla 1. Peso específico de los residuos.

Tipo	Peso específico (γ) (kg/m ³)
Papel	89
Cartón	50
Plástico	65
Jardín	101
Comida húmeda	540
Residuos mezclados	160

Fuente: SEDEMA (2009).

Otra característica importante de los residuos orgánicos es su estructura lignocelulósica, compuesta principalmente por celulosa (40 – 60 %), hemicelulosas (20 – 40 %) y lignina (10 – 25 %) (Sheng *et al.*, 2020; Datta, 2024). De acuerdo con Ong *et al.*, (2021), la distribución de estos componentes es desigual y por consecuencia, proporcionan complejidad estructural resistente a mecanismos de biotransformación (Shakeel *et al.*, 2024).

Celulosa

La celulosa es un homopolímero en forma de cadena compuesto por unidades de D-glucosa, unidos entre sí por enlaces glucosídicos β 1-4 (Etale *et al.*, 2023), además, en el estudio publicado por Riseh *et al.*, (2024), señalan que la celulosa posee un grupo hidroxilo primario que permite la unión entre monómeros de la misma cadena, y dos grupos hidroxilos secundarios, que propician la unión entre cadenas de celulosa, para formar estructuras cristalinas insolubles identificadas como fibrillas elementales. La acumulación de estas fibrillas forma estructuras micrométricas (microfibras) que mantienen los enlaces de hidrógeno entre grupos hidroxilo (Figura 3), proporcionando así, resistencia mecánica y estabilidad química (Deng *et al.*, 2022).

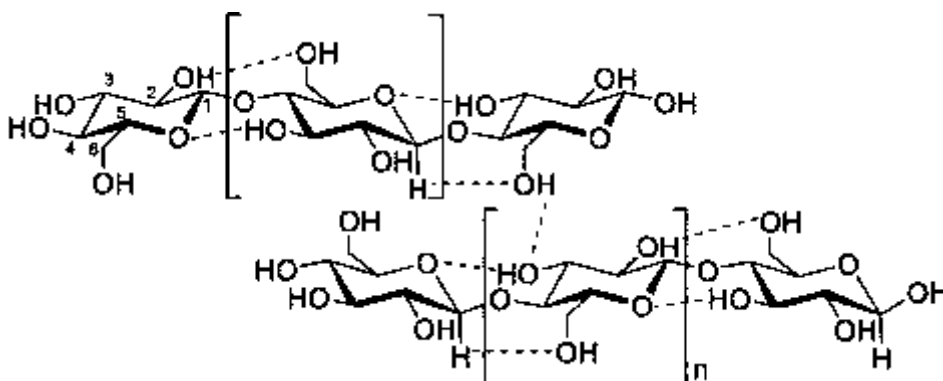


Figura 3. Estructura de la celulosa. Fuente: Datta (2024).

Hemicelulosas

Las hemicelulosas de acuerdo con Lu *et al.*, (2021), son polímeros de carbohidratos compuesto por polisacáridos, en los que es posible encontrar D-manosa, D-xilosa, L-arabinosa, D-galactosa y 4-ácido metil-D-glucurónico (Huang *et al.*, (2021). Su presencia en la estructura lignocelulósica proporciona estabilidad entre la celulosa y lignina, mejorando así, la adhesión de componentes (Lan *et al.*, 2023).

Lignina

La lignina es, de acuerdo con Wang & Deuss (2023), un componente importante en la biomasa lignocelulósica, al ser una fuente abundante en compuestos aromáticos, encontrando

principalmente tres unidades de fenilpropano, que incluye al guayacilo (Lignina tipo G), siringilo (Lignina tipo S) y *p*- hidroxifenilo (Lignina de tipo H) (Lu & Gu, 2023), que, en base a lo descrito por Huang *et al.*, (2021) inhibe procesos enzimáticos hidrolíticos que afectan a la celulosa. En la Figura 4, se muestra de manera descriptiva el arreglo de la celulosa, hemicelulosas y lignina presentes en sustratos lignocelulósicos.

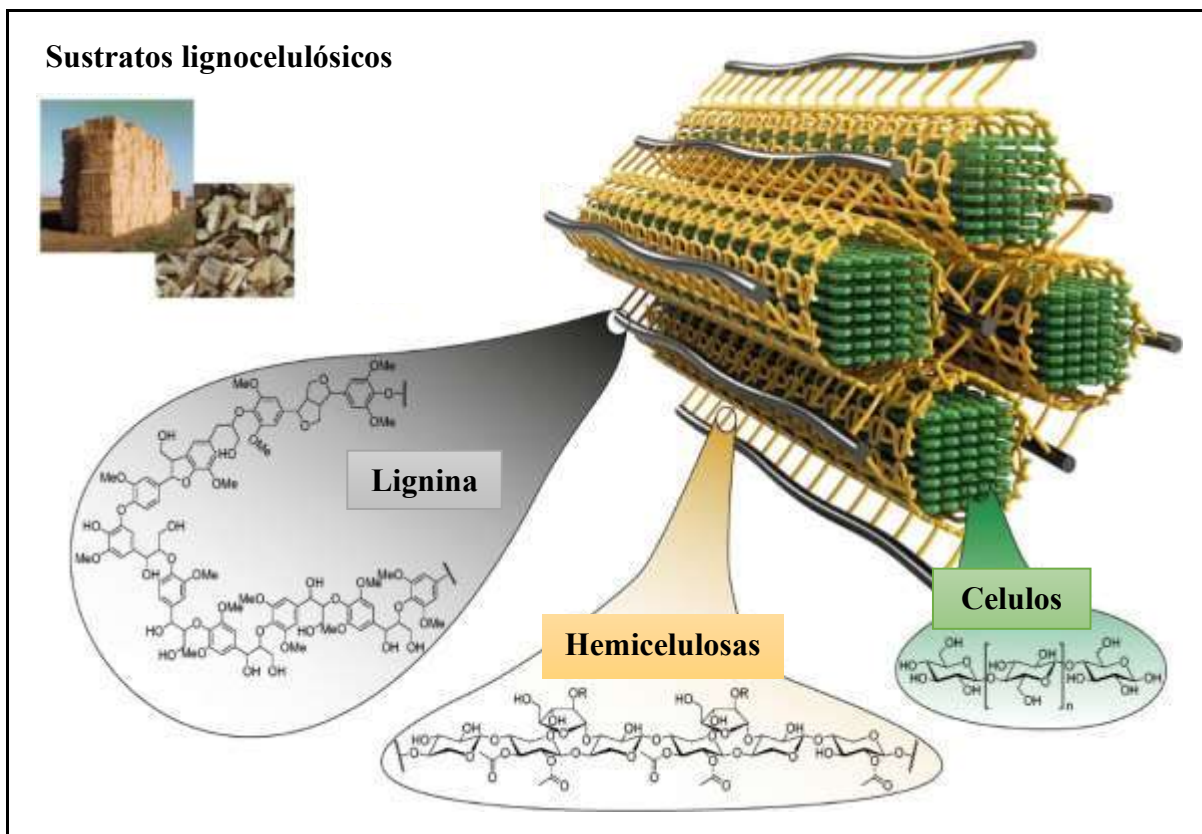


Figura 4. Composición y arreglo de sustratos lignocelulósicos. Fuente: Brethauer *et al.*, (2020).

Compuestos inorgánicos o cenizas

Se presentan entre un 6 a 10 % en estructuras lignocelulósicas dependiendo de su origen (Siddique, 2012), su presencia inhibe la actividad enzimática que promueve la descomposición de sustratos lignocelulósicos (Park *et al.*, 2022). La cuantificación de estos materiales se realiza mediante la quema del material de origen que genera como residuo, el material inorgánico conocido también como cenizas, que varía en composición y proporción (Ercan *et al.*, 2023; Fitria *et al.*, 2023). Estos materiales están siendo implementados recientemente en la fabricación de

hormigón en la industria de la construcción y como enriquecedor de suelos para procesos agrícolas (Puri *et al.*, 2024).

Compuestos solubles o extraíbles

En materiales lignocelulósicos existen componentes químicos no estructurales identificados como extractos o compuestos solubles, resultantes del proceso de envejecimiento o como respuesta ante el estrés ambiental (Keržič *et al.*, 2023), su presencia inhibe la aparición de insectos, bacterias u hongos que afectan la durabilidad de la madera (Kirker *et al.*, 2013). A pesar de su efecto positivo en entornos ambientales y como productos de carpintería (Kirker *et al.*, 2024), su presencia en maderas destinadas a procesos de extracción química afecta significativamente, por ejemplo: el elevado contenido de extraíbles provoca la formación de depósitos de brea, mismos que se adhieren en los equipos de proceso, provocando el bloqueo de tuberías y el cierre de operaciones (Del Río *et al.*, 2000), mientras que en las pulpas obtenidas, forman manchas, motas o rayaduras oscuras que reducen la blanqueabilidad, condición que afecta la calidad del producto final; por lo que su remoción en etapas de pretratamiento es esencial para la obtención de un producto de calidad (Lehr *et al.*, 2021).

El mango

El mango es un fruto predominante de zonas tropicales (Muñoz-Redondo *et al.*, 2021), es característico por sus propiedades organolépticas y valor nutricional asociado a sus componentes biológicamente activos como son los antioxidantes, vitaminas y compuestos fenólicos (Datir & Regan, 2022; Labaky *et al.*, 2021). Botánicamente, la estructura del mango corresponde a una drupa carnosa comprimida (Bini *et al.*, 2024), compuesta por cáscara (epicarpio), pulpa (mesocarpio), endocarpio y semilla (Lebaka *et al.*, 2021).

Actualmente, el mango es considerado el rey de las frutas en términos de producción y consumo (Wongkaew *et al.*, 2021) ya que su producción global anual supera los 55 millones de toneladas (Manhongo *et al.*, 2021), ubicando al mango como el mayor cultivo tropical presente en más de 100 países (Spina *et al.*, 2023), donde tan solo India, China, Tailandia, Indonesia y México, concentran más del 60 % de la producción mundial (Rajan, 2021).

Datos publicados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022), señalan que, en México, la producción de mango durante el 2022 fue de 2,176,046 toneladas, obtenidas de entidades federativas como (Figura 5): Guerrero, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, Veracruz y Colima, entre otros.

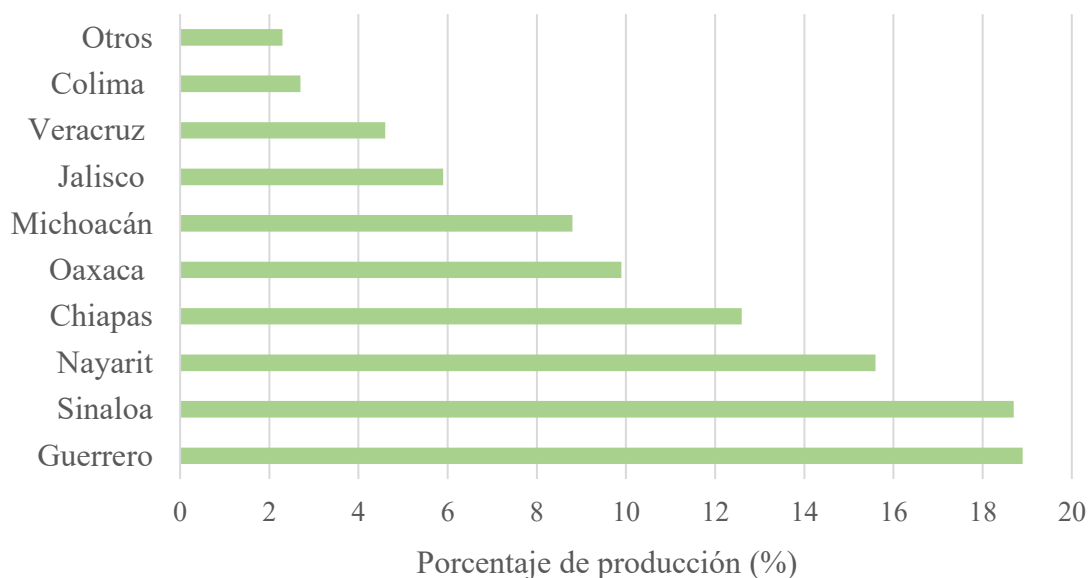


Figura 5. Entidades federativas de mayor producción en México.

Las temporadas de producción, así como las variedades cultivadas se muestran en la Tabla 2 y 3, las cuales identifican al mango Ataulfo en un 30.2 %, Kent (14.8 %), Manila (14.2 %), Tommy Atkins (13.7 %), Haden (10.1 %), Keitt (6.5 %) y otros (10.4 %).

Tabla 2. Estados productores y su temporada de producción.

Estado	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.
Guerrero			X	X	X	X			
Sinaloa			X	X	X	X	X	X	X
Nayarit	X	X	X	X	X	X			
Chiapas	X	X	X	X	X	X			
Oaxaca		X	X	X	X	X	X	X	
Michoacán				X	X	X	X	X	
Colima					X	X	X		

Fuente: EMEX (2023).

Tabla 3. Variedades de mango por Estado.

Variedad Estado	Kent	Keitt	Tommy Atkins	Haden	Manila	Ataulfo
Guerrero	X		X			X
Sinaloa	X	X	X	X	X	X
Nayarit	X	X	X	X	X	X
Chiapas	X		X	X	X	X
Oaxaca	X	X	X	X		X
Michoacán	X	X	X	X		X
Colima		X	X	X		X

Fuente: EMEX (2023).

A nivel nacional, México exporta el 24 % de su producción de mango (Pacheco-Jiménez *et al.*, 2022), mientras que el 20 % se industrializa para la obtención de productos (Manhongo *et al.*, 2021), como mermeladas, jaleas, jugos, rodajas enlatadas, encurtidos y productos congelados (García-Mahecha *et al.*, 2023). Durante el procesamiento del mango, se genera hasta un 60 % de

subproductos compuestos por cáscara, endocarpio y semilla que se descartan en forma de residuos (Choudhary *et al.*, 2022).

La cáscara, de acuerdo a Marçal & Pintado (2021), es una rica fuente de fibra (36 - 78 g/100 g de mango en peso seco), vitaminas (E y C) y compuestos fenólicos que pueden integrarse a productos de panadería, pastas y jaleas para mejorar su actividad antioxidante e índice glucémico, asociados a la mejora en la salud intestinal (Tariq *et al.*, 2023). El estudio publicado por Choudhary *et al.*, (2022), mencionan que la semilla de mango posee fitoquímicos de propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas, antidiabéticas y antiplaquetarias, mientras que, Coral-Velasco & Cuesta-González (2019), aseguran que el uso de harinas provenientes de semillas de mango triplica la vida útil de galletas de consumo humano, además de aportar minerales como calcio, hierro y proteínas. Finalmente, el endocarpio de mango, ha sido estudiado por Wickramaarachchi *et al.*, (2021), para su implementación como materia prima en la obtención de carbón activado, a su vez, Fadeyi & Akiode, (2023), demostraron que el endocarpio de mango está compuesto por celulosa (45.84 %), hemicelulosas (19.38 %) y lignina (28.87 %), lo que demuestra que los residuos agroindustriales del mango poseen elementos que se pueden extraer e incorporar en la producción de materiales de valor agregado (Kamzari *et al.*, 2021).

Deslignificación.

La deslignificación de acuerdo a Singh *et al.*, (2014), es el método químico, físico, biológico, fisicoquímico o combinado conocido como pulpeo, utilizado para remover los componentes (lignina y hemicelulosas) que forman parte de la estructura lignocelulósica (Figura 6), la finalidad de este proceso es obtener una fase sólida rica en celulosa, debido a su interés comercial (Jamaldeen *et al.*, 2021), que de acuerdo con Małachowska *et al.*, (2020) tiene una demanda global superior a 180 millones de toneladas anuales.



Figura 6. Proceso general en la extracción de celulosa. Fuente: Schieppati *et al.*, (2023).

A pesar que existen muchos materiales lignocelulósicos, la realidad es que pocos de ellos pueden ser utilizados en procesos de extracción de celulosa, ya que los principales requisitos mencionados por Sanjuan-Dueñas (1997) para una biomasa potencial de uso, consisten en la existencia de un suministro constante y seguro, además de que los materiales deben ser resistentes a procesos de degradación, por esta razón, la madera es utilizada hasta en un 77 % para la extracción química de celulosa a nivel mundial (Sixta, 2006).

De acuerdo con Henriksson *et al.*, (2024), el proceso de deslignificación más utilizado pese a la diversidad existente, es el método Kraft, el cual, según Santos *et al.*, (2011), promueve una

remoción de lignina en un 60 a 68 % al utilizar hidróxido y sulfuro de sodio como reactivo, según lo establecido por Jardim *et al.*, (2022), este licor es aplicado a las astillas de madera bajo condiciones de presión y alta temperatura para la disolución de la lignina. En base a lo descrito por Rutiaga-Quñones *et al.*, (1998), se sabe que el proceso Kraft posee las etapas de impregnación, purga, penetración y digestión, que varían en función de la presión y temperatura (Figura 7).

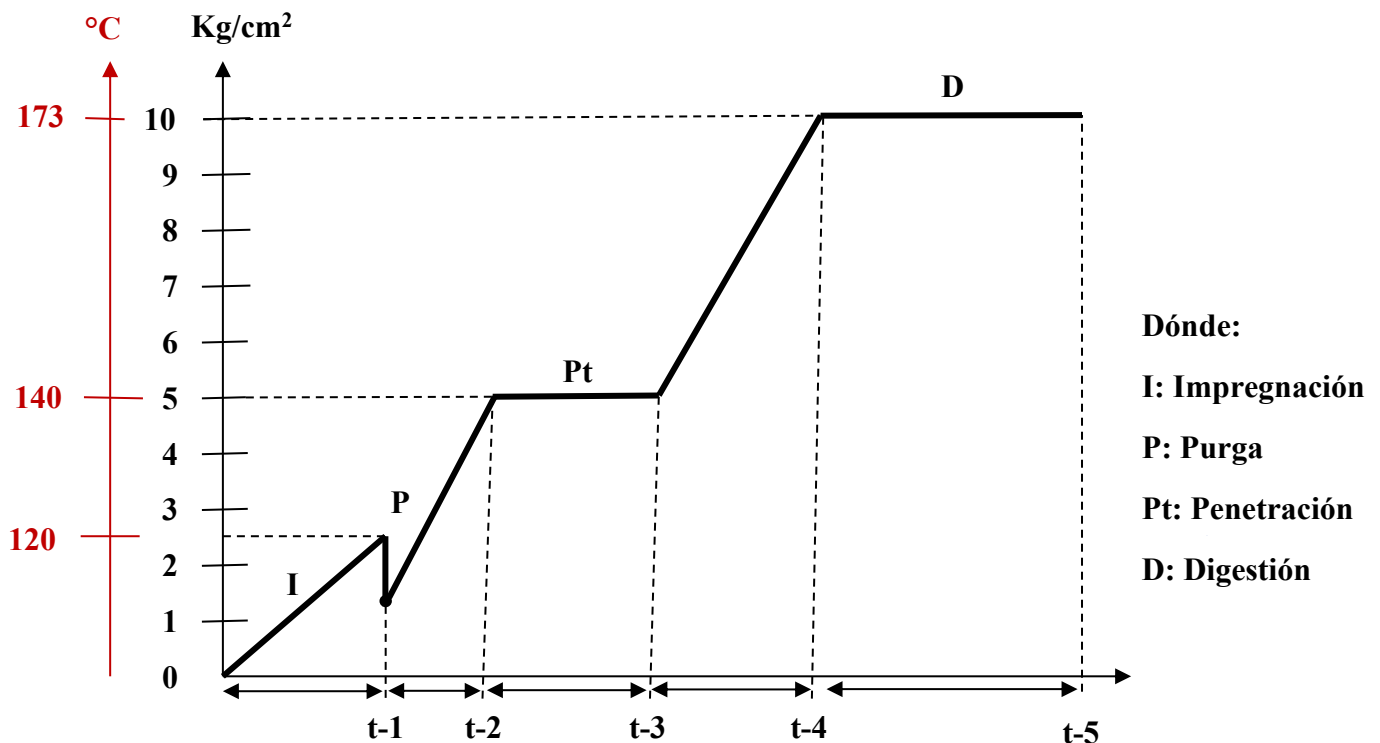


Figura 7. Seguimiento de la deslignificación Kraft.

De acuerdo con Lahtinen *et al.*, (2021) la temperatura de reacción durante la digestión se encuentra en el rango entre los 170 y 180 °C, tal como se muestra en la Figura 7. Debido a la nula selectividad del proceso Kraft en la deslignificación, Małachowska *et al.*, (2020) mencionan que cuando se alcanza una remoción alta de lignina, el rendimiento de obtención de fibra se compromete significativamente, hasta el orden del 30 %.

En el proceso descrito por Pintor-Ibarra *et al.*, (2021), se menciona el uso de una etapa de blanqueo, que utiliza como agentes blanqueadores una secuencia de oxígeno, dióxido de cloro, peróxido de oxígeno e hipoclorito de sodio, cuya finalidad consiste en generar pulpas de mayor pureza. La idea de realizar un proceso combinado (pulpeo y blanqueo), además de generar celulosa

de mayor blancura, es aumentar los rendimientos de obtención de fibra en un 37-45 % (Sanjuan-Dueñas, 1997).

En el estudio publicado por Vidal *et al.*, (2021), señalan que los efluentes de aguas residuales Kraft se caracterizan por su contenido elevado de sólidos suspendidos, materia orgánica y color, mismas condiciones que alteran el ambiente acuático sobre el cual es vertido. Otro estudio que señala los impactos de estas aguas residuales, es el publicado por Kostamo *et al.*, (2003), en el que se menciona que los extractivos de madera poseen ácidos resínicos y ácidos grasos insaturados clasificados como tóxicos para los organismos, además, señalan que la presencia de esteroides vegetales tiene efectos endocrinos adversos en la fauna acuática.

Con el fin de disminuir dichos impactos, en el estudio de Yiin *et al.*, (2019), señalan la necesidad de adoptar prácticas de deslignificación “verdes”, de baja toxicidad, costo y demanda energética, que garantice una extracción de celulosa efectiva. La necesidad de procesos más verdes en la extracción de celulosa, se deben a la creciente demanda de este producto (Małachowska *et al.*, (2020).

Demanda de celulosa en México

Particularmente, en México, de acuerdo a la Secretaría de Economía (s.f.), existe una demanda internacional de celulosa correspondiente a 15.5 millones de dólares desde abril del 2025, mientras que las ventas, sólo representan tres punto setenta y tres millones de dólares, donde las entidades federativas de mayor demanda son CDMX, Estado de México, Nuevo León, Michoacán y Jalisco, tal como se muestra en la Figura 8.

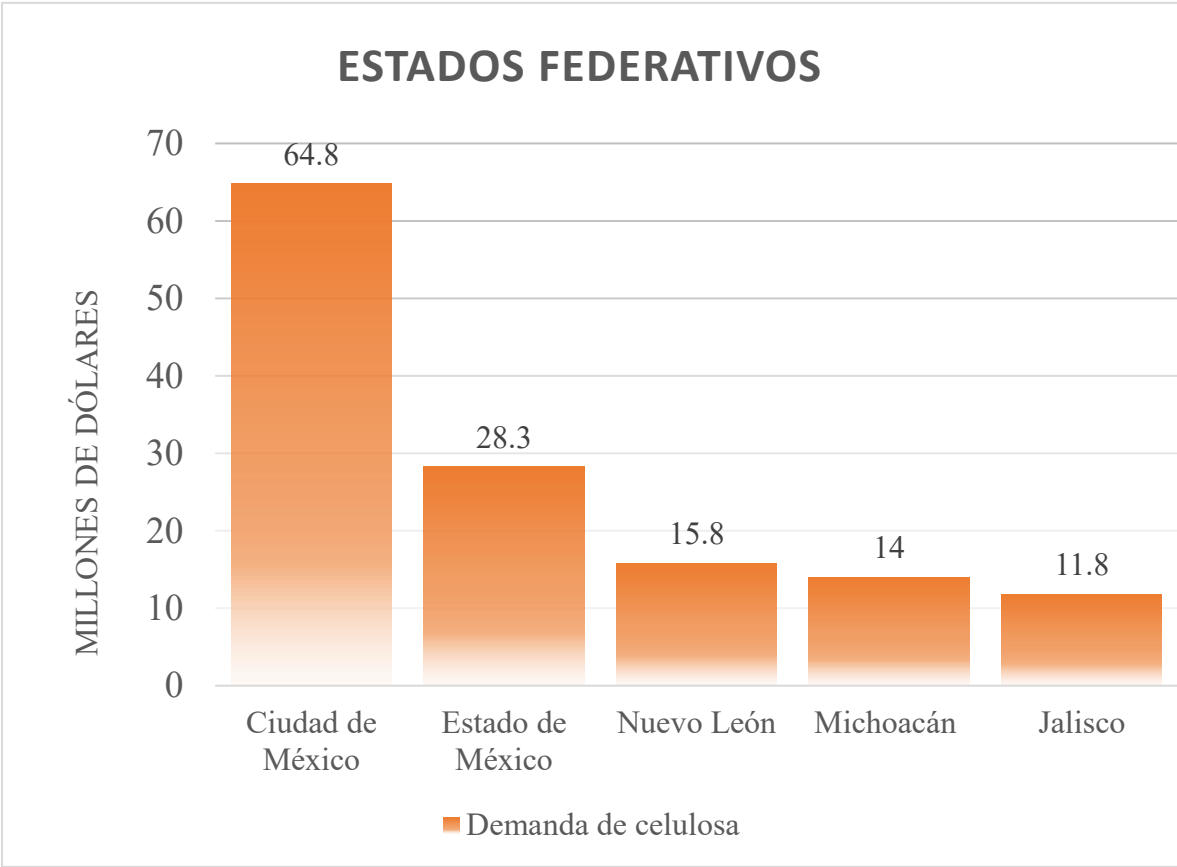


Figura 8. Estados de mayor compra de celulosa. Fuente: Secretaría de Economía (s.f.).

La importación de una gran cantidad de celulosa está asociada a la alta demanda y el déficit del país para solventar dicha necesidad, por esta razón Durán-Saldivar & Sarmiento (1995), mencionan que desde 1991 la industria de celulosa en México ha requerido de la compra internacional de este polímero.

Acetato de celulosa

El acetato de celulosa es un polímero amorfo de características termoplásticas (Herrera-González *et al.*, 2024), que de acuerdo con Fischer *et al.*, (2008) es considerado uno de los ésteres más importantes de la celulosa, donde su transformación química necesita de dos procesos: el primero implica acetilar los grupos hidroxilo primarios y secundarios de la fibra, para dar lugar al triacetato de celulosa (Balser *et al.*, 2004) (Figura 9), a través de un agente acetilante en presencia de un catalizador (Slejko *et al.*, 2023); mientras que la segunda reacción, corresponde a una hidrólisis de los grupos acetilo cuyo objetivo consiste en regenerar los grupos hidroxilo y lograr un grado de sustitución deseado (Wolfs & Meier, 2021).

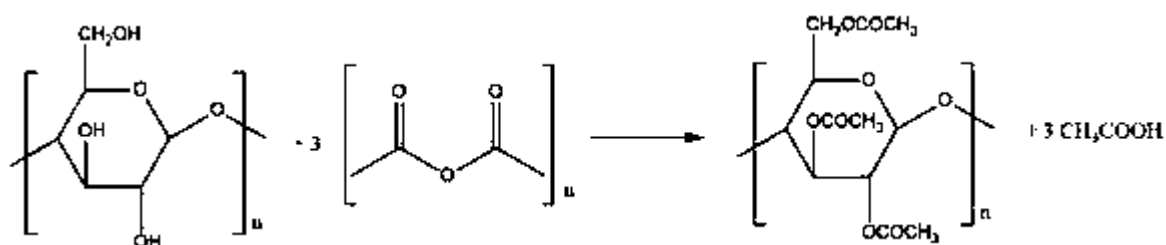


Figura 9. Proceso de acetilación en monómeros de celulosa. Fuente: Baghdad (2025).

Los grados de sustitución, así como la solubilidad del acetato dependen del porcentaje de grupos acetilo presentes en las cadenas de celulosa (Buchanan *et al.*, 1991; Shi *et al.*, 2022), tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Grados de sustitución del acetato de celulosa.

Contenido de grupos acetilo (%)	Grado de sustitución	Solubles en:
13.0 – 18.6	0.6 – 0.9	Agua
22.2 – 32.2	1.2 – 1.8	2-Metoxietanol
36.5 – 42.2	2.2 – 2.7	Acetona
43.0 – 44.8	2.8 -3.0	Cloroformo

Fuente: Fengel & Wegener, (2011).

Las aplicaciones del acetato de celulosa varían desde la industria textil hasta películas plásticas, embalajes o membranas (Tabla 5), dependiendo de su grado de sustitución (Yadav y Hakkarainen, 2020), donde lo más común es 2.5 debido a sus propiedades asociadas a la solubilidad en solventes, que permiten su uso en productos de consumo (Puls *et al.*, 2010).

Tabla 5. Productos a base de acetato de celulosa

Productos derivados del acetato de celulosa	Grado de sustitución recomendado
Recubrimientos y plásticos	2.5
Fibra textil	2.5
Filtros de cigarros	2.5
Membranas	2.5
Pantallas LCD, películas fotográficas y textiles	3

Fuente: (Puls *et al.*, 2010; Júnior *et al.*, 2010).

Actualmente, los acetatos de celulosa han generado un especial interés en la comunidad científica debido a la característica que posee de ser una plataforma para la síntesis de membranas con estabilidad química y mecánica, útiles para el tratamiento de aguas (Vatanpour *et al.*, 2022), y que de acuerdo con Arthanareeswaran *et al.*, (2004), son una opción viable debido a su eficiencia de separación.

Antecedentes

Recientemente, la región de Zamora, Michoacán, se ha convertido en una zona de estudio debido a la gran generación de residuos emitidos por empresas despulpadoras de mango; López-Sosa *et al.*, (2024) mencionan la existencia de 14 naves industriales con la capacidad de generar en su conjunto, 207 toneladas de residuos por día durante cuatro meses de operación. De acuerdo a la NOM-161-SEMARNAT-2011, aquellos residuos orgánicos generados en cantidades superiores a 10 toneladas por año, requieren de un plan de manejo que garantice la minimización de su volumen, así como incentivar la valorización de residuos. Entre los estudios enfocados al aprovechamiento del endocarpio de mango, se tiene el realizado por Lorenzo-Santiago & Rendón-Villalobos (2020), en el que a partir de una etapa de pretratamiento, pulpeo Kraft con prehidrólisis, blanqueo y tratamiento ultrasónico realizaron una extracción de microcelulosa, de 40 a 400 μm de longitud, a pesar de que no mencionan los rendimientos de obtención de fibra, es posible observar en su imagen SEM (Figura 10), la apariencia de las fibras de celulosa obtenidas donde se presenta un lumen desarrollado y pared delgada (Región A), similares a las características comerciales de la celulosa destinada a la producción de papel.

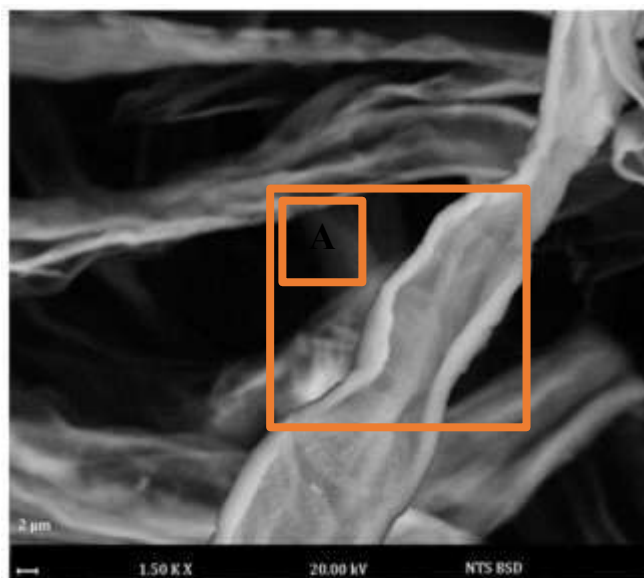


Figura 10. Microcelulosa proveniente del endocarpio de mango. Fuente: Lorenzo-Santiago & Rendón-Villalobos (2020).

Previamente, Henrique *et al.*, (2013) realizaron una extracción de celulosa para la síntesis de nanocristales, en el que se homogeneizó el tamaño del endocarpio de mango con ayuda de un molino, para posteriormente realizar un tratamiento alcalino y aplicar una etapa de blanqueo, sus resultados reportan contenidos de celulosa de $86,1 \pm 3,0$ %, hemicelulosas $9,0 \pm 1,2$ % y lignina $2,41 \pm 0,99$ %, con rendimientos de obtención de fibra del 29 % (Figura 11).



Figura 11. Pulpa celulósica obtenida por Henrique *et al.*, (2013).

De los procesos de deslignificación clasificados como “verdes”, se tiene el elaborado por Westin *et al.*, (2021), en el que utilizaron *ácido peracético* como licor de cocción en astillas de madera, a través del uso exclusivo de la etapa de pulpeo, en condiciones de 70 °C y presión de 5 bars, obteniendo rendimientos superiores al 50 % y números de Kappa de 4.4 a 7.2. Echeverría *et al.*, (2021), señalan que, el proceso de ácido peracético posee una alta selectividad en la remoción de lignina, además de ser un agente que no genera subproductos tóxicos. Otro estudio realizado por García-Mahecha *et al.*, (2023), hacen una comparativa entre la aplicación del método alcalino de NaOH y el ácido peracético en tegumentos de mango, demostrando que el método ácido generó pulpas celulósicas con rendimiento del 47 y 48 %, además de fibras más estables térmicamente (temperatura de descomposición máxima 348–357 °C), que el método alcalino (316–321 °C). Otro estudio realizado por Zhuo *et al.*, (2024) mencionan que la aplicación de ácido peracético en astillas de madera de eucalipto mejora la remoción de lignina.

Sobre los estudios enfocados en procesos de producción de acetato de celulosa, se tiene el reportado por Zakaria *et al.*, (2021), en el que utilizaron residuos lignocelulósicos para determinar el efecto del tiempo de contacto del anhídrido acético, en las propiedades de la celulosa, demostraron que en 24 h de reacción era posible obtener porcentajes altos de grupos acetilo cercanos al 30 %, como se muestra en la Figura 12.

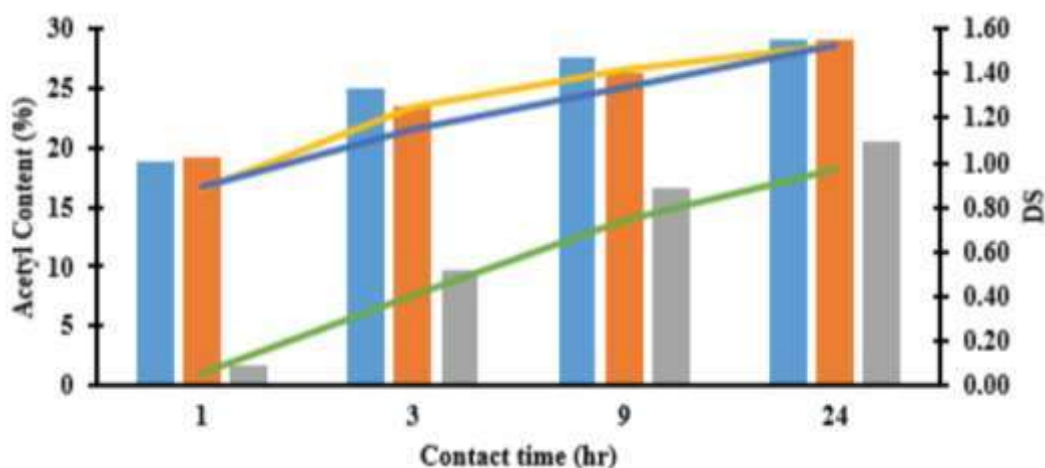


Figura 12. Acetilación de residuos lignocelulósicos en función al tiempo. Fuente: Zakaria *et al.*, (2021).

Años más tarde el estudio de Fernandes *et al.*, (2024), señalaron que aquellas pulpas celulósicas con contenidos inferiores al 19 % de lignina, pueden favorecer la producción de acetato. De acuerdo a Ruiz-Cuilty (2018), la presencia de lignina, extractivos y hemicelulosas influyen directamente al aumentar los tiempos de reacción requeridos para lograr un grado de sustitución adecuado. Este efecto de la composición química de las pulpas se confirma con el estudio de Filho *et al.*, (2007), en el que utilizaron papel periódico con dos diferentes contenidos de lignina (24.6 y 15.5 %), como resultado el periódico sin tratamiento requirió 48 h de reacción para obtener un acetato con grado de sustitución $1,98 \pm 0,02$ correspondiente a un porcentaje de grupos acetilo de 31,9 %, mientras que para el periódico deslignificado, el tiempo de reacción se redujo a 24 h para obtener un grado de sustitución de $2.79 \pm 0,02$ con 42,1 % de grupos acetilo. Finalmente, Júnior *et al.*, (2010) realizaron una extracción química de celulosa acompañada de dos etapas de blanqueo para obtener pulpas celulósicas de reducido contenido de lignina, para después, acetilar la celulosa y obtener un acetato adecuado para la obtención de membranas asimétricas, en el que demuestran que un contenido reducido de lignina puede generar derivados químicos similares a los comercializados. Aunque actualmente se han estudiado nuevas rutas clasificadas

como “verdes” en la acetilación de la celulosa, el estudio de Paiva *et al.*, (2023), demuestra que los acetatos generados sólo alcanzan grados de sustitución ≤ 1.5 mismos que limitan su uso en la obtención de subproductos.

Planteamiento del problema

En México, la producción de mango es superior a dos millones de ton anuales, de las cuales el 20 % es industrializado a nivel nacional para la obtención de pulpas, debido a su valor nutricional y elevado contenido de humedad, convirtiéndolo en una materia prima ideal para la producción de jugos, mermeladas, conservas y productos congelados. El aprovechamiento exclusivo del mesocarpio (pulpa), es la razón por la que se generan hasta un 60 % de residuos, compuestos por cáscara (15 %), endocarpio-semilla (20 %) y pulpa remanente (10-25 %), mismos que poseen un alto contenido de azúcares, aceites, proteínas y fibras, susceptibles de una valorización. Estos residuos considerados como de manejo especial, de acuerdo a la NOM-161-SEMARNAT-2011, son trasladados directamente a los rellenos sanitarios para su confinamiento, razón por la cual, representan una pérdida económica para la industria, al considerar el medio de transporte de estos materiales y su costo de recepción en el sitio de disposición final. Una vez que estos residuos, son confinados permanentemente bajo condiciones anaeróbicas, comienza su proceso de degradación, el cual emite gases de efecto invernadero como: metano (CH_4), ácido sulfhídrico (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2), además de, lixiviados de pH ácido con la capacidad de reaccionar con los metales presentes en los residuos de otra naturaleza. Una característica muy importante de estos materiales, es la estructura lignocelulósica que presenta el endocarpio de mango, ya que promueve una lenta degradación, al ser un material resistente a la acción enzimática, razón por la cual permanece por periodos prolongados, reduciendo significativamente la capacidad de confinamiento de los rellenos sanitarios.

Justificación

El crecimiento poblacional, así como el aumento de las actividades productivas asociadas a la alta demanda de bienes y servicios, ha generado como consecuencia, una gran cantidad de residuos, que han sobrepasado la capacidad de autodepuración que posee el ambiente, impactando directamente sobre los elementos naturales indispensables para el desarrollo de la vida. Con el fin de realizar una valorización enfocada en el aprovechamiento del endocarpio de mango como materia prima para la extracción de celulosa, se promueve diseñar una alternativa para el tratamiento de este residuo agroindustrial, bajo el respaldo de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (2003), Artículo 1º, Fracción VII y XII los cuales establecen la necesidad de fomentar un mercado de subproductos mediante la valorización de residuos y, establecer alternativas de tratamiento enfocadas a procesos productivos más limpios.

Por ello, se establece el uso de ácido peracético como licor de cocción para la extracción de celulosa, con el fin de estudiar una alternativa, ante la demanda interna del país, mediante una deslignificación enfocada en los principios de la química verde, que asegura, generar pulpas celulósicas blanqueadas de mayor rendimiento, además, se propone el uso de estas pulpas para la síntesis de acetato de celulosa, al ser un derivado químico utilizado en una amplia gama industrial.

Hipótesis

1. Es posible obtener celulosa de alta pureza y blancura a partir de residuos del endocarpio de mango mediante un proceso de deslignificación con ácido peracético a condiciones de 70 °C y presión de 1 atmósfera.
2. Con la pulpa celulósica obtenida del endocarpio de mango vía ácido peracético es posible producir un diacetato de celulosa mediante el método anhídrido acético que utiliza ácido sulfúrico como catalizador.

Objetivo general

1. Evaluar el rendimiento, la calidad y la blancura de la pulpa celulosa obtenida a partir del endocarpio de mango al aplicar un proceso de deslignificación a 70 °C y 1 atmósfera de presión al utilizar ácido peracético.
2. Evaluar el grado de sustitución en el diacetato de celulosa obtenido, por el método anhídrido acético y ácido sulfúrico como catalizador, cuando se utiliza como materia prima pulpa celulósica proveniente de la deslignificación del endocarpio de mango.

Objetivos específicos

- Conocer las propiedades físicas y químicas del endocarpio de mango.
- Obtener celulosa blanqueada en reactores a escala piloto.
- Conocer las características físicas y químicas de la pulpa de celulósica obtenida.
- Obtener acetato de celulosa a partir de las pulpas celulósicas del endocarpio de mango.
- Evaluar el porcentaje de grupos acetilo además de identificar los grupos funcionales presente en el acetato de celulosa producido.

Metodología

1. Recolección de los endocarpios de mango.

La recolección de endocarpios se llevó a cabo en sitios de aprovechamiento de pulpas ubicados en las coordenadas 19°59'2'' N y 102°17'00'' W a 1565 msnm, en los que se colectó un total de 105 unidades a las cuales se les realizó un acondicionamiento que consistió en la separación de la pulpa remanente (despulpado) y la semilla. A 85 unidades se les realizó el proceso de secado y se almacenaron en atmósfera ausente de humedad hasta su aprovechamiento, mientras que las 25 unidades restantes fueron analizadas en fresco para determinar su contenido de humedad y cenizas original, tal como se describe en la Tabla 6.

Tabla 6. Acondicionamiento de los endocarpios de mango.

Muestra	No. de endocarpios	Despulpado	Remoción de semilla	Secado
E _S	85	Si	Si	Si
E _F	20	Si	Si	No

Dónde: E_S (endocarpio seco), E_F (endocarpio fresco o húmedo).

2. Caracterización del endocarpio de mango.

2.1 Humedad.

Para ambos muestreos (E_S y E_F) el contenido de humedad se realizó por triplicado de acuerdo a la norma ISO-18134-3:2023 y la Ecuación 1. El proceso de secado llevo a cabo en un horno marca Felisa, modelo Fe-291D programado a 105 °C, el pesaje de las muestras se realizó en una balanza analítica Denver Instrument TP-214.

$$Wm (\%) = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \right) * 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

Wm = Contenido de humedad.

m_1 = masa de la charola de aluminio vacía.

m_2 = masa de la charola de aluminio con muestra de endocarpio húmedo.

m_3 = masa de la charola de aluminio con endocarpio seco.

2.2 Cenizas

El contenido de cenizas se determinó de acuerdo a la norma ISO-18122:2022, donde las muestras fueron calcinadas a 550 °C en una mufla de la marca Felisa, modelo FE-340. Su cuantificación se realizó de acuerdo a la Ecuación (2).

$$Ash (\%) = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) * 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$Ash (\%)$ = Contenido de cenizas.

m_1 = masa de la charola de aluminio vacía.

m_2 = masa de la charola de aluminio con muestra de endocarpio base seca.

m_3 = masa de la charola de aluminio con cenizas de endocarpio.

2.3 Composición química

La composición química básica del endocarpio para la determinación de: celulosas, hemicelulosas, lignina y compuestos solubles, se realizó mediante un equipo de análisis de fibras de la marca ANKOM, modelo AMKON²⁰⁰, de acuerdo al método descrito por Van Soest *et al.*, (1991).

2.4 Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Para conocer la estructura original del endocarpio, se obtuvieron imágenes a 250, 500 y 1000 aumentos en un microscopio electrónico de barrido, de la marca JEOL modelo JSM-7600F.

3. Deslignificación ácida a nivel laboratorio.

Se realizó un diseño de experimentos factorial 2^2 , tomando en cuenta el tiempo de cocción y la concentración estequiométrica de ácido peracético en nivel bajo (-1) y alto (1), tal como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7. Variables utilizadas para el diseño de experimentos.

Variable / Nivel	Bajo	Alto
Tiempo	16 h	21 h
Concentración	15 %	20 %

El diseño factorial se realizó por triplicado obteniendo un total de 12 corridas, mostradas a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Corridas emitidas por el diseño de experimentos factorial 2^2 .

Corrida	Factor A	Factor B
	Tiempo	Concentración
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-1	-1
6	1	-1
7	-1	1
8	1	1
9	-1	-1
10	1	-1
11	-1	1
12	1	1

La variable de respuesta para este experimento fue el No. de Kappa, con el cual se conoce de manera indirecta el contenido de lignina remanente en las pulpas celulósicas.

4. Caracterización de las pulpas.

4.1 Rendimiento

El rendimiento de obtención de fibra, se realizó mediante un análisis gravimétrico base seca de acuerdo a la Ecuación 3.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Pulpa celulósica (g)}}{\text{Biomasa inicial (g)}} * 100 \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

(g) = gramos

4.2 No. de Kappa

El No. de Kappa, se determinó de acuerdo a la norma TAPPI T 236 cm-99 1999. Disgregando 3 g de pulpa celulósica en 400 ml de agua desionizada, integrando ácido sulfúrico (H₂SO₄) 4 N, yoduro de potasio (KI) y almidón, para su titulación con tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) 0.2 N, hasta un vire incoloro.

Las pruebas para determinar el No. de Kappa se realizaron por triplicado, más una corrida en blanco necesaria para la aplicación de la Ecuación 4.

$$\text{No. de Kappa} = \frac{(B - T)}{Ws} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

B= mL de tiosulfato utilizado en el blanco

T= mL de tiosulfato utilizado en la fibra

Ws= Peso seco de la fibra.

Para determinar el peso seco de la fibra, se utilizó la Ecuación 5, señalada por la norma TAPPI T 236 cm-99 1999.

$$W_s = \frac{(1 - \% H)}{100} * W_h \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$\% H$ = Porcentaje de humedad

W_h = Peso húmedo de la pulpa

El porcentaje de humedad se determinó mediante el uso de una termobalanza ADAM PMB 53.

5. Deslignificación a escala piloto

Una vez identificadas las mejores condiciones de cocción, se realizó la digestión en dos reactores de construcción industrial:

- a) Reactor rotatorio tipo Jayme, marca METROTEC, S.A.®, modelo LB-16, mostrado en la Figura 13.



Figura 13. Digestor rotatorio, marca METROTEC.

- b) Reactor IKA® WERKE LR 2.ST (Figura 14, sección a) con baño termo-recirculador la marca ESEVE, modelo FC10. Es importante señalar que el equipo fue acondicionado con un sensor de temperatura interna, sistema aislante y tapones que aseguran una condición hermética del sistema, tal como se muestra en la Figura 14, sección b.

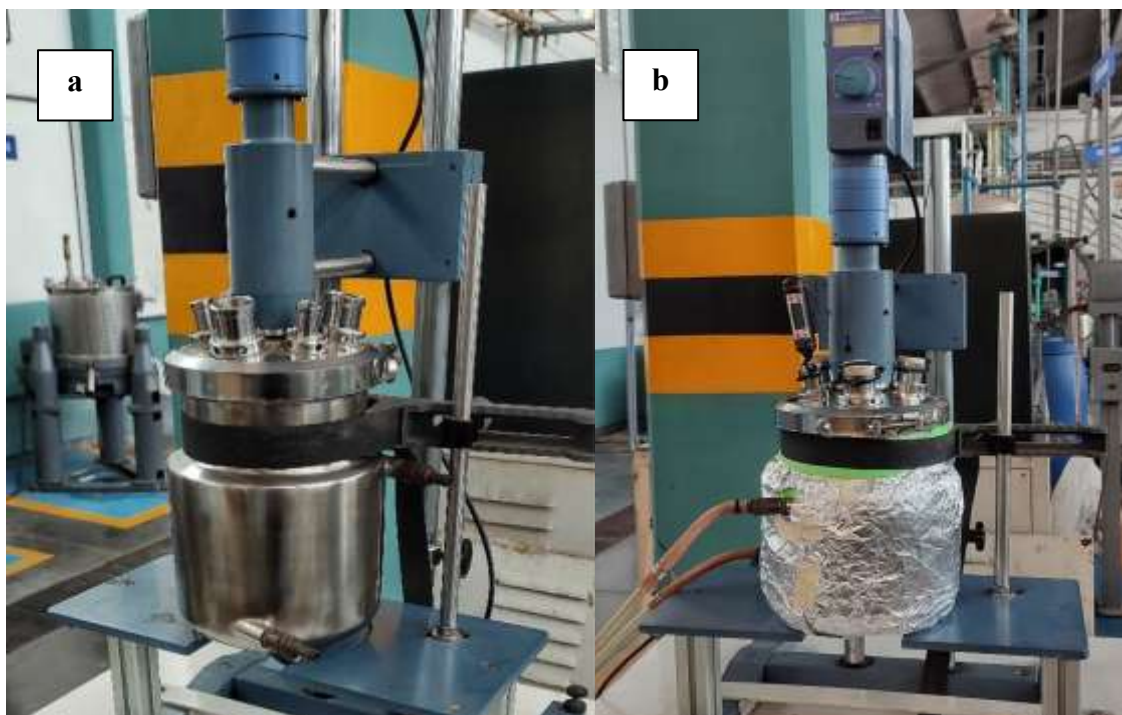


Figura 14. Digestor WERKE LR 2.ST marca IKA.

En el reactor IKA se realizaron 3 pruebas exploratorias para identificar las curvas de calentamiento en: agua, agua-endocarpio y ácido peracético con endocarpio, cuya finalidad fue determinar el tiempo necesario para que el licor de cocción alcance la estabilidad térmica de 70 °C.

Para la deslignificación del endocarpio de mango se utilizaron ambos equipos a condiciones de 70 °C de temperatura, presión de una atmósfera, concentración de ácido peracético al 20 % y tiempos de cocción de 21 h, mientras que el tamaño del endocarpio varió debido al menor volumen de trabajo del reactor IKA, en cambio, las revoluciones por minuto (rpm) fueron distintas en cada reactor ya que la agitación del reactor tipo Jayme es rotatoria y no permitía el contacto continuo entre el endocarpio y el licor de cocción, situación que afectaba el proceso de remoción de lignina, las condiciones de cada proceso se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Condiciones de cocción para ambos sistemas.

Reactor	Temperatura (°C)	Tiempo de cocción	Tamaño del endocarpio		Agitación	Presión
			Largo (cm)	Ancho (cm)		
JAYME	70	21 h	4.4 ± 0.42	5.1 ± 0.58	0 rpm	1 atmósfera
IKA	70	21 h	2.8 ± 0.41	2.6 ± 0.20	60 rpm	1 atmósfera

Nota: El tamaño del endocarpio varió debido al menor volumen de trabajo del reactor IKA.

Las pulpas obtenidas en ambos reactores fueron separadas del licor de cocción, mismo que fue almacenado en contenedores para su posterior análisis, mientras que las pulpas se lavaron con agua desionizada.

6. Caracterización de las pulpas celulósicas

6.1 Rendimiento

El rendimiento de obtención de fibra a escala piloto se realizó con el mismo procedimiento de la escala laboratorio como se describe en la Ecuación 3 del apartado 4.1.

6.2 No. de Kappa

El número de Kappa se realizó mediante la metodología establecida en la norma TAPPI T 236 cm-99 1999 mencionada en el apartado 4.2 en la escala laboratorio.

6.3 Índice de calidad de las pulpas

El índice de calidad se realizó midiendo la longitud, diámetro, pared secundaria y lumen de 100 fibras teñidas con pardo de Bismark, esto de acuerdo a la metodología señalada por Morales-Hernández (2016). Para la medición se utilizó un microscopio óptico de la marca IROSCOPE, modelo MG-30PL, No. 140006, el cual tiene incorporado una regla de medición en

el lente ocular y las Ecuaciones 6, 7, 8 y 9 señaladas por Tamaris-Urias (2016) y Villaseñor-Araiza & Rutiaga-Quñones (2016).

Índice de rigidez (I.R)

Ecuación (6)

$$I.R = \frac{2w}{D}$$

Coeficiente de flexibilidad (C.F)

Ecuación (7)

$$C.F = \frac{l}{D}$$

Índice de esbeltez (I.E)

Ecuación (8)

$$I.E = \frac{L}{D}$$

Relación Runkel (R.R)

Ecuación (9)

$$R.R = \frac{2w}{l}$$

Donde:

D = diámetro de la fibra

L = longitud de la fibra

l = diámetro del lumen

w = grosor de la pared de la fibra

6.4 Composición química

La composición química de las pulpas obtenidas en la deslignificación con ácido peracético a escala piloto, se realizó mediante la técnica señalada en el apartado 2.3 en la caracterización del endocarpio de mango.

6.5 Imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Con la finalidad de apreciar la estructura de las pulpas celulósicas obtenidas, se realizó una microscopía electrónica de barrido a 250, 500, 1,000 y 2,500 aumentos, con el equipo señalado en el apartado 2.4.

6.6 Blancura y opacidad

Para el análisis fue necesario el uso de una licuadora comercial Waring (Pulper), modelo 34BL22 marca TLS, y un desintegrador de pulpa de papel modelo DI-05 de la marca TLS, con el fin de obtener una pasta de celulosa necesaria para la formación de hojas. Los métodos técnicos utilizados para determinar la blancura y opacidad, se realizaron de acuerdo a la norma TAPPI T 452 om-02 2002 y TAPPI T 519 om-02 2002, respectivamente.

7. Acetilación

Las pulpas celulósicas obtenidas después de la extracción química con ácido peracético pasaron por una etapa de homogeneización de tamaño, realizada mediante el uso de un molino de la marca Moreka, modelo Output: molino café eléctrico. Después, se utilizó una malla No. 10 (2 mm), marca W.S. Tyler, serie 150616562 para tamizar las pulpas generadas después de la molienda.

Para la acetilación, se utilizaron frascos herméticos de la marca Pyrex de 250 mL de volumen, una parrilla con agitación Cimarec+, Thermo Scientific modelo no. sp131325 y un agitador magnético. Los reactivos utilizados fueron agua desionizada, ácido sulfúrico concentrado marca Alyt, ácido acético glacial marca J.T.Baker, anhídrido acético marca Alyt, todos de grado analítico.

Inicialmente, se extrajo una muestra de 2 g de celulosa base seca que fue almacenada en un frasco hermético de 250 mL, después, se adicionaron 50 mL de ácido acético, la mezcla se agitó durante 30 minutos a temperatura ambiente y posteriormente, se agregaron 0.16 mL de ácido sulfúrico y 18 mL de ácido acético, y se continuó la agitación por 25 minutos, finalmente, se adicionaron 64 mL de anhídrido acético, y se agitó durante 30 minutos más, para después dejar reposar durante 14 h a temperatura ambiente. Después del tiempo de reacción, la mezcla se vertió

en una cama de agua, donde el producto de la acetilación se precipitó, el material generado se filtró al vacío para separar la fase sólida del medio líquido. El acetato obtenido se lavó agua desionizada y se dejó secar a 60 °C durante 48 h.

8. Caracterización del acetato de celulosa

8.1 Porcentaje de grupos acetilo

El porcentaje de grupos acetilo se determinó mediante una titulación ácido-base (Ecuación 10) señalada por Filho *et al.*, (2007), en la metodología descrita se extrae una muestra de acetato de 0.1 g, a la cual se le adicionan 5 mL de NaOH a 0.25 mol/L de concentración y 5 mL de etanol absoluto. Después de 24 h, se agregaron 10 mL de ácido clorhídrico a 0.25 mol/L de NaOH, la mezcla se dejó reposar por 30 minutos, para después, añadir fenolftaleína como indicador y titular con NaOH estandarizado con biftalato de potasio.

$$\% GA = \frac{[(Vb_i + Vb_f)\mu_b - (V_a \cdot \mu_a)]M \cdot 100}{m_{ac}} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

% GA: Contenido de grupos acetilo.

V_{bi}: Volumen de NaOH añadido al inicio

V_{bf}: Volumen de NaOH gastado en la titulación

μ_b: Concentración molar del NaOH

V_a: Volumen de HCl añadido

μ_a: Concentración molar del HCl

M: Peso molar de los grupos acetilo

m_{ac}: Peso de la muestra.

8.2 Análisis FTIR

Para la caracterización de grupos funcionales presentes en el acetato de celulosa producido, se utilizó un espectrómetro FT-IR – Perkin Elmer Spectrum Serie 100, con dispositivo ATR.

Resultados y discusión

Caracterización del endocarpio de mango.

Humedad y cenizas

El porcentaje de humedad y cenizas para los endocarpios frescos y secos varió significativamente como se muestra en la Tabla 11, donde es posible observar que el endocarpio fresco posee un 52.7 ± 1.39 % de humedad, mismo que puede ser utilizado para reducir la demanda de agua requerida en los balances de deslignificación en procesos industriales reales, mientras que el endocarpio seco presentó un porcentaje de humedad de 9.54 ± 0.22 %, mismo que fue utilizado para mantener el control entre la relación en gramos del reactivo y endocarpio. Sobre las cenizas, se posee un porcentaje menor al 1 %, inferior al reportado por Maj *et al.*, (2025) en biomásas como cortezas (2-3 %) y paja (1.0-9.1 %), este parámetro es importante debido a que un elevado contenido de cenizas puede inhibir procesos de recuperación de celulosa (Madadi *et al.*, 2025).

Tabla 10. Porcentaje de humedad y cenizas en endocarpios.

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)
E _S	9.54 ± 0.22	0.52 ± 0.07
E _F	52.7 ± 1.39	0.80 ± 0.09

Dónde: E_S (endocarpio seco) y E_F (endocarpio fresco o húmedo).

9 Composición química del endocarpio de mango

El análisis de composición básica del endocarpio demostró que existe un elevado contenido de polisacáridos 83.54 %, de los cuales el 61.91 ± 1.92 % corresponde a celulosa, de acuerdo con Salazar & Pérez (2016), aquellas especies que poseen más del 50 % de celulosa pueden ser consideradas para su uso en extracciones químicas. Además, el bajo contenido de extraíbles (2.72 ± 0.32 %), puede permitir el uso directo del endocarpio en procesos de deslignificación, ya que de acuerdo con Lehr *et al.*, (2021), para materiales lignocelulósicos con un 20 % de compuestos solubles, es necesario de un pretratamiento para su remoción, esto con el fin de evitar inconvenientes durante las etapas de pulpeo y garantizar la calidad en la pulpa celulósica a obtener. Finalmente, el contenido de lignina representa el 13.57 ± 0.56 %, el cual es inferior a las especies maderables que poseen entre un 20 a 40 % de lignina (Zhang *et al.*, 2022). El elevado contenido

de celulosa y hemicelulosas del endocarpio, así como su reducido contenido de extraíbles, lignina y cenizas (Tabla 11), es un indicativo de su potencial como materia prima en procesos de obtención de celulosa.

Tabla 11. Composición química del endocarpio de mango.

Compuestos				
solubles (extraíbles)	Hemicelulosas	Celulosa	Lignina	Cenizas
$2.72 \pm 0.32 \%$	$21.63 \pm 1.45 \%$	$61.91 \pm 1.92 \%$	$13.57 \pm 0.56 \%$	$0.17 \pm 0.04 \%$

10 Imágenes SEM

En las imágenes SEM del endocarpio es posible observar el arreglo de la estructura lignocelulósica (Figura 15, sección B), en donde se aprecia que el endocarpio no posee una superficie lisa, sino regiones discontinuas que forman parte de la rugosidad del material. En la Figura 16, región C, se distinguen aún más los espacios rugosos y sus cavidades, en donde además ya es posible observar algunos filamentos asociados a la celulosa que compone al endocarpio. Mientras que, en la Figura 17, sección D, se confirma que los filamentos expuestos en la superficie tienen lumen y pared secundaria, estructura asociada a las fibras de celulosa.

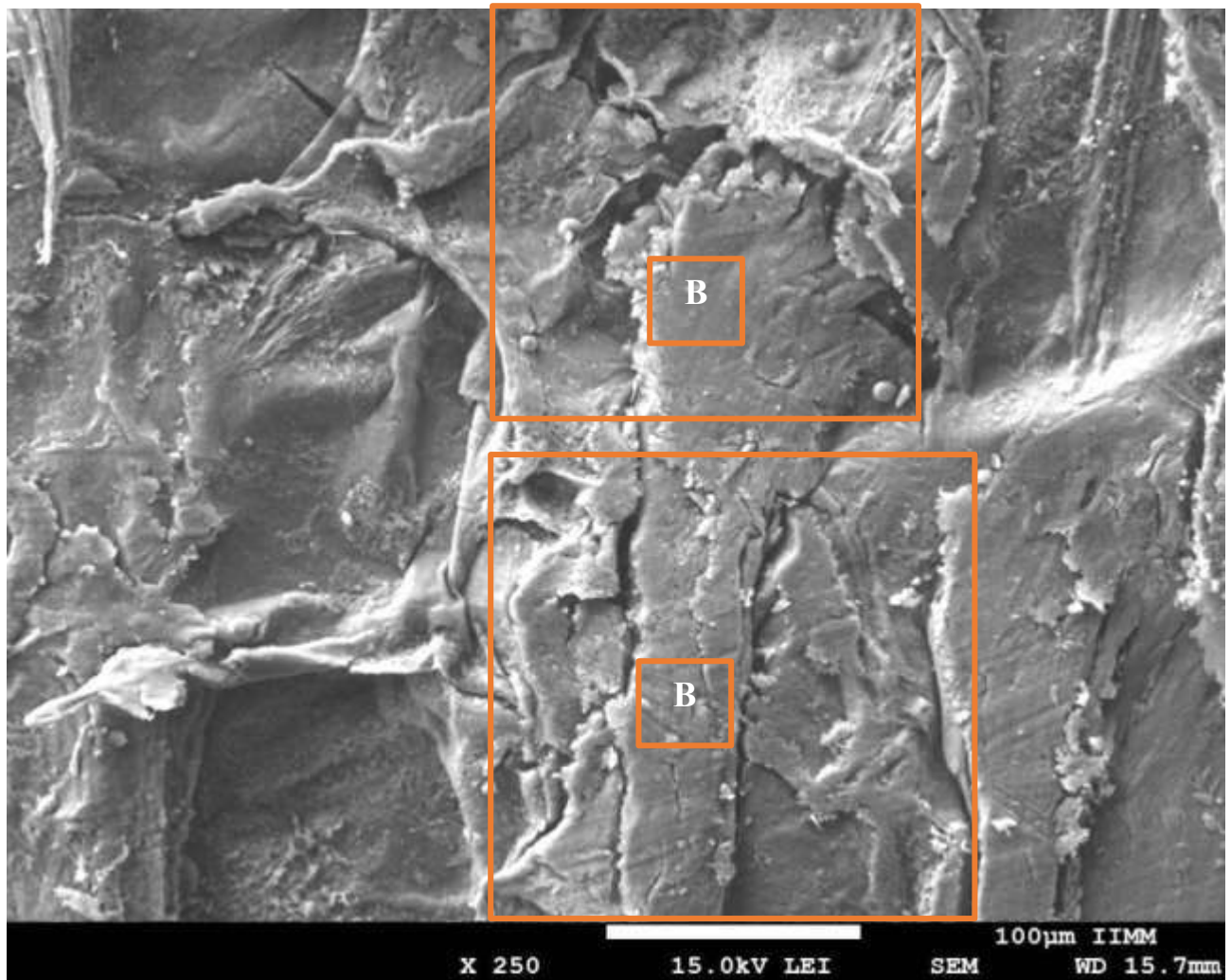


Figura 15. Imagen SEM del espacio rugoso del endocardio visto a 250 x.

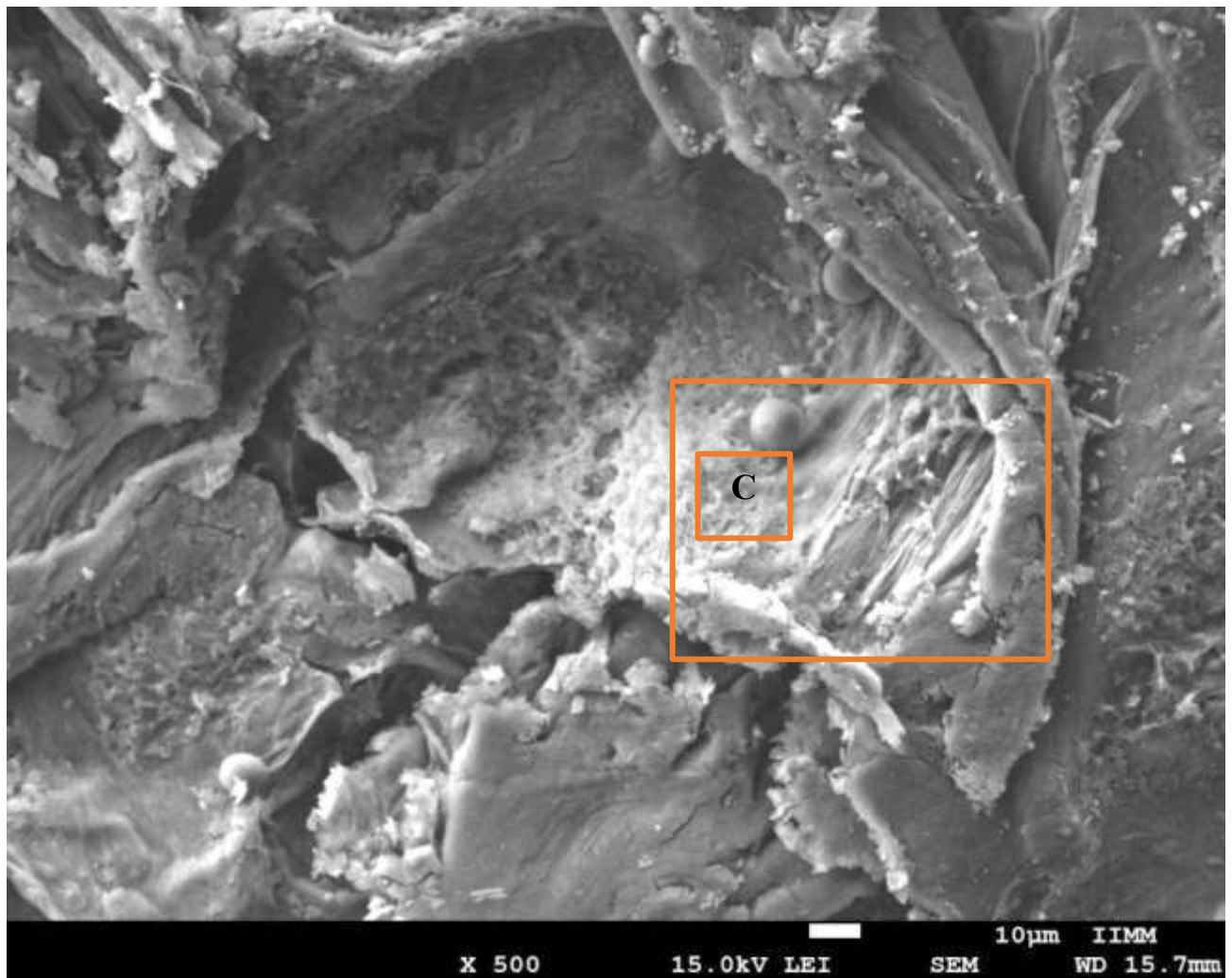


Figura 16. Estructura fibrosa del endocardio vista a 500 x.

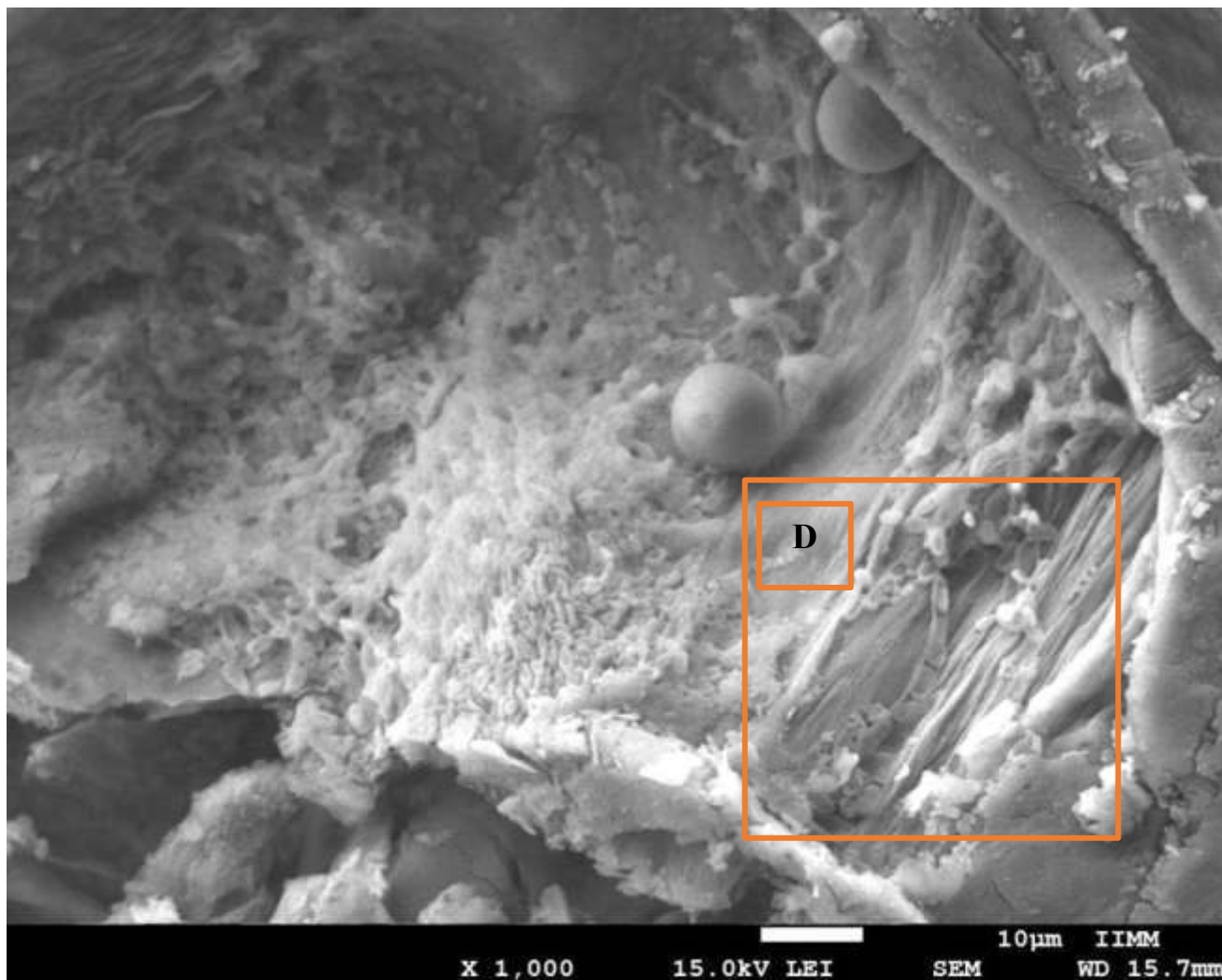


Figura 17. Fibras de celulosa vistas a 1000x.

Deslignificación a nivel laboratorio

Rendimiento

De las pruebas realizadas en base al diseño de experimentos factorial 2^2 y la aplicación de ácido peracético como licor de cocción, todos los rendimientos de obtención de fibra fueron superiores al 50 % (Tabla 12), donde el valor máximo promedio registrado fue 63.8 ± 1.8 %, en las condiciones donde el ácido peracético presentaba la concentración baja (15 %) en 16 h de reacción, mientras que las condiciones donde el ácido peracético de concentración alta (20 %) en 21 h de reacción presentaron un rendimiento promedio de 53.1 ± 2.3 %, a consecuencia de una mayor remoción de lignina, la cual tiene influencia directa en los rendimientos obtenidos.

Tabla 12. Rendimiento de obtención de fibra del diseño factorial 2².

Corrida	Factor A Tiempo	Factor B Concentración	R1 (%)	R2 (%)	R.3 (%)	Rp (%)
1	-1	-1	61.9	65.5	63.9	63.8 ± 1.8
2	1	-1	55.8	58.5	57.5	57.3 ± 1.4
3	-1	1	53.5	56.6	55.6	55.2 ± 1.6
4	1	1	50.5	54.1	54.7	53.1 ± 2.3

Dónde: R (rendimiento) y p (promedio).

No. de Kappa

En lo que respecta con los números de Kappa obtenidos después de haber realizado las diferentes pruebas de extracción, se observó que los valores obtenidos para las pruebas con concentración alta de ácido peracético (20 %) y tiempo alto de extracción (21 h), concentración alta de ácido peracético y tiempo bajo (16 h), concentración baja de ácido peracético (15 %) y tiempo alto de reacción, fueron inferiores a 3 por lo tanto, las pulpas obtenidas se pueden clasificar como de alta pureza; cabe señalar que para las pruebas de concentración baja de ácido peracético y tiempo alto de reacción, concentración alta de ácido peracético y tiempo bajo de reacción se obtuvieron los valores de Kappa de 2.23 ± 0.3 y 2.33 ± 0.5 respectivamente, lo que es indicativo de que ambas variables son significativas. En cuanto a la prueba de baja concentración de ácido peracético y tiempo bajo de reacción se obtuvo un número de Kappa promedio de 8.3 ± 0.4 lo cual indica una menor remoción al tener un mayor contenido de lignina remanente (Tabla 13). Con base en los resultados de números de Kappa inferiores a 3 y de acuerdo con Małachowska *et al.*, (2020), las pulpas obtenidas se pueden considerar blanqueadas lo que indica la efectividad que posee el ácido peracético en la etapa de pulpeo para la remoción de lignina.

Tabla 13. No. de Kappa del diseño factorial 2²

Corrida	Factor A Tiempo	Factor B Concentración	N.K1	N.K2	N.K3	N.Kp
1	-1	-1	8.4	8.6	7.9	8.30 ± 0.4
2	1	-1	2.1	2.6	2.0	2.23 ± 0.3
3	-1	1	1.8	2.7	2.5	2.33 ± 0.5
4	1	1	0.4	0.8	0.3	0.50 ± 0.3

Dónde: N.K (número de Kappa), p (promedio).

Análisis del diseño factorial

De acuerdo al Análisis de Varianza realizado en Minitab® (Tabla 14), tanto el tiempo de cocción, la concentración de ácido peracético, así como su interacción, poseen un Valor p inferior a 0.005, por lo tanto, las variables son significativas (Montgomery, 2017).

Tabla 14. Análisis de varianza del diseño de experimentos Factorial 2².

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	104.716	34.9053	265.10	0.000
Lineal	2	91.275	45.6375	346.61	0.000
Tiempo	1	46.807	46.8075	355.50	0.000
Concentración	1	44.468	44.4675	337.73	0.000
Interacciones de 2 términos	1	13.441	13.4408	102.08	0.000
Tiempo*Concentración	1	13.441	13.4408	102.08	0.000
Error	8	1.053	0.1317		
Total	11	105.769			

En base al Diagrama de Pareto (Figura 18) es posible observar que el tiempo de cocción es ligeramente más significativo que la concentración del ácido peracético; sin embargo, ambas variables son significativas para el proceso de deslignificación, así como su interacción.

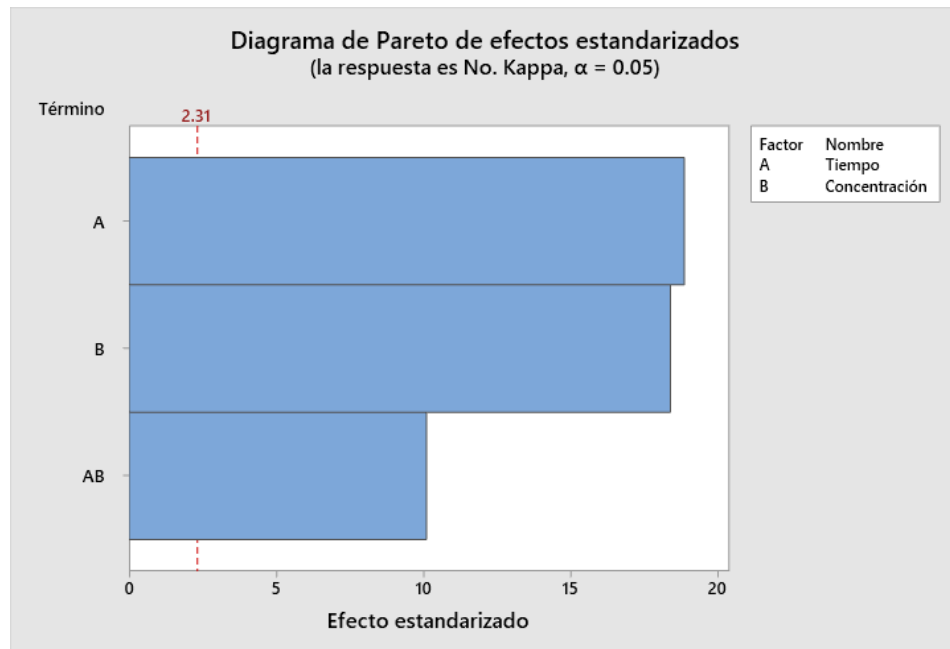


Figura 18. Diagrama de significancia de las variables.

Finalmente, de acuerdo al gráfico de efectos principales (Figura 19), el tiempo y la concentración en su nivel alto, son las condiciones donde la deslignificación fue superior y por consecuencia, serán las condiciones utilizadas para la deslignificación a escala piloto.

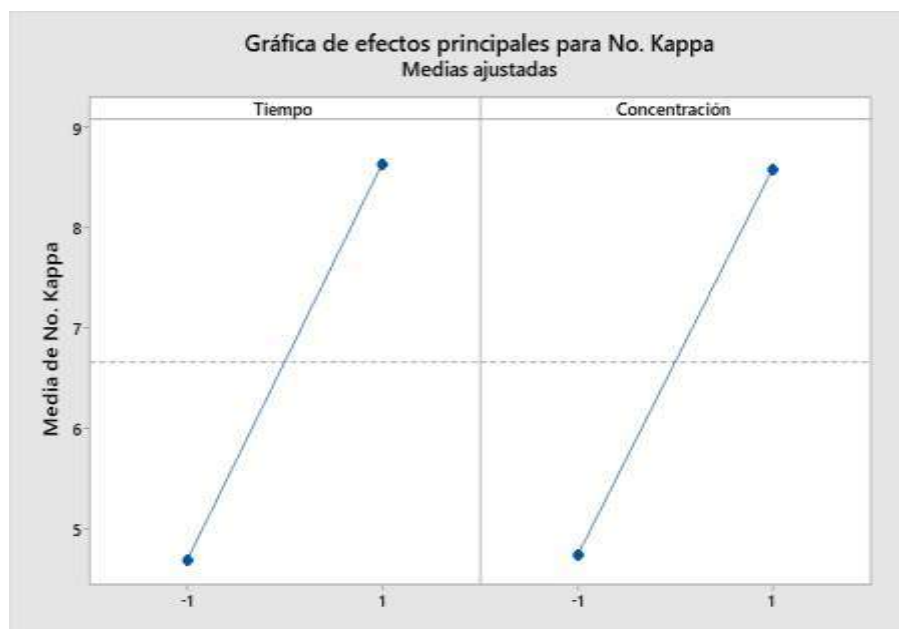


Figura 19. Condiciones de cocción de mayor influencia en la deslignificación del endocarpio.

Deslignificación a escala piloto

Curvas de calentamiento

Las curvas de calentamiento realizadas en el equipo IKA® WERKE LR 2.ST, demostraron que la transferencia de calor entre el equipo de recirculación y el agua contenida en el reactor, tardaba más de 30 minutos en llegar a 70 °C (Figura 20), además, se encontró que existía una diferencia de 1 °C entre la temperatura del sistema de recirculación y la temperatura interna del equipo, misma que fue corregida.

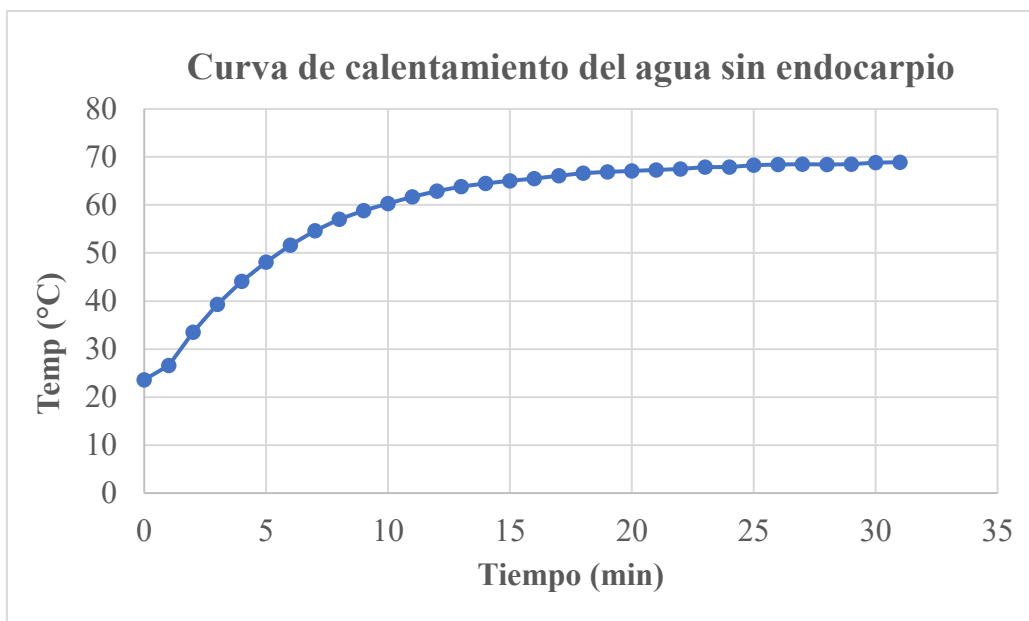


Figura 20. Influencia de temperatura en el reactor al utilizar agua.

La segunda prueba (Figura 21), llegó a 70 °C en 40 minutos, esta diferencia de tiempo se adjudicó a la presencia del endocarpio, el cual, requiere de un mayor tiempo de exposición para su intercambio de temperatura con el medio líquido.

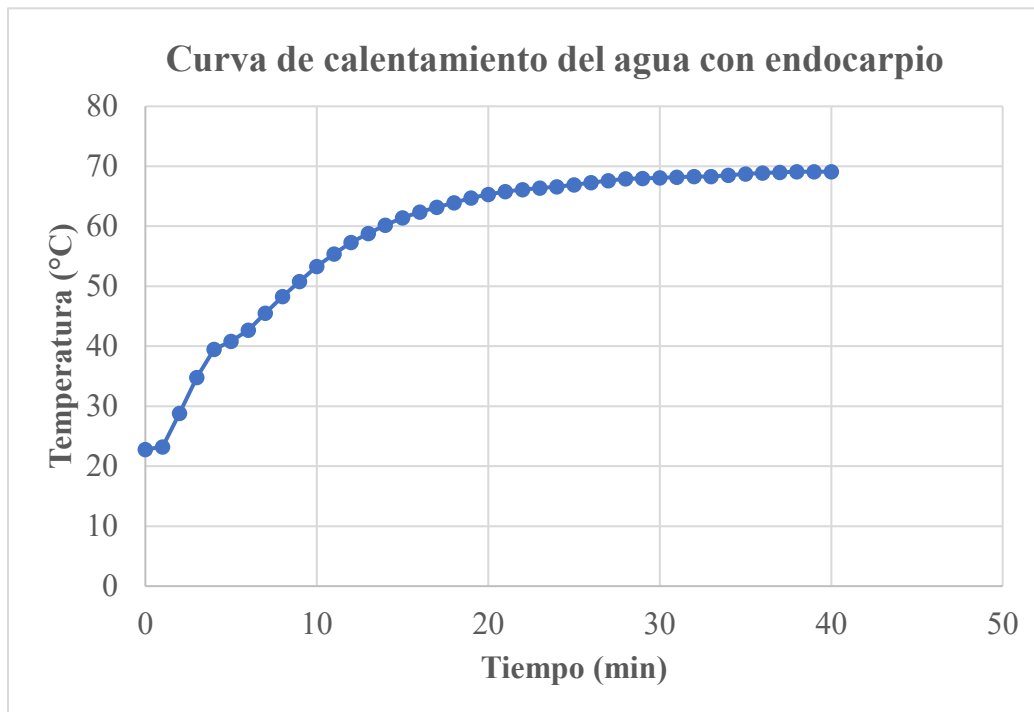


Figura 21. Curva de calentamiento del agua y el endocarpio.

Finalmente, la prueba que se realizó con licor de cocción de ácido peracético y endocarpio de mango (Figura 22), llegó a la temperatura programada (70 °C) a partir de los 30 minutos, la reducción en el tiempo de calentamiento, se asocia a una capacidad calorífica superior del licor de cocción con respecto a la del agua.

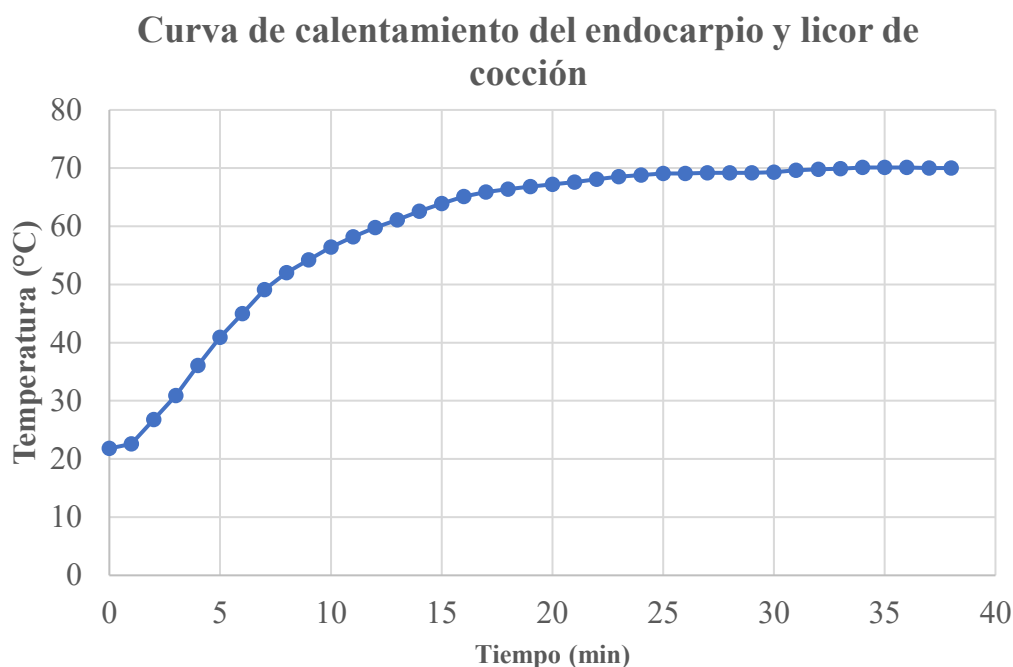


Figura 22. Comportamiento del endocarpio y el licor de cocción al aumento de temperatura.

Terminadas las pruebas se identificó que el tiempo requerido para que el reactor IKA alcance las condiciones de reacción y la estabilidad térmica es del orden de 30 minutos.

Rendimiento y No. de Kappa

Los rendimientos de obtención de fibra para las pruebas a escala piloto estuvieron entre el 52 y 54 %, valores que son similares a los obtenidos en las pruebas a escala laboratorio, con respecto al aumento en los números de Kappa, estos pueden atribuirse al tamaño del endocarpio y a la modificación en el sistema de agitación utilizada en estos experimentos (Tabla 15). En específico el reactor Jayme tuvo un menor rendimiento y un mayor número de Kappa (52 % y 4.1) con respecto al reactor IKA (54 % y 2.8), estas diferencias en los resultados son atribuibles a la diferencia que existe en la composición del endocarpio (Zastempowski *et al.*, 2022) y a la arquitectura de los equipos y a los procesos de agitación, dado que en el reactor Jayme no se contó con agitación y en el reactor IKA se contó con un agitador tipo ancla.

Tabla 15. Rendimiento y No. de Kappa a escala piloto.

Reactor	Rendimiento	No. Kappa
JAYME	52 %	4.1
IKA	54 %	2.8

Índice de calidad de las pulpas

La longitud en las pulpas extraídas de ambos reactores se encuentra en el orden de 700 μm , mientras que los diámetros van de los 14.6 a $15.8 \pm 3.6 \mu\text{m}$, pared secundaria de fibra del orden de 10 μm y lumen de $4.4 \pm 2.1 \mu\text{m}$ y $5.2 \pm 2.5 \mu\text{m}$, de acuerdo a Neiva *et al.*, (2014), las fibras pueden clasificarse como cortas al tener medidas inferiores a 1000 μm , estos tamaños de fibra son similares a las generadas en procesos de extracción química de Eucaliptos. De acuerdo al índice de rigidez, las fibras de celulosa obtenidas a partir del endocarpio de mango poseen paredes muy gruesas al superar el rango de 0.70, el coeficiente de flexibilidad al encontrarse en el rango de 0.30 a 0.50, identifica que las fibras obtenidas tienden a colapsar muy poco, generando una deficiente unión entre fibra-fibra al tener poca superficie de contacto. El índice de esbeltez en su rango 50 a 30 indica que las fibras de celulosa presentan paredes muy anchas y lumen poco desarrollado, por consecuencia, hay poca adherencia entre fibras. Por último, la relación Runkel identifica a la celulosa de mango dentro de su categoría grado V, al presentar rangos mayores a 2.0, señalando que la celulosa por sí misma no es adecuada para su uso en la fabricación de papel (Tabla 16), sin embargo, autores como Vázquez-Gaviña *et al.*, (2010), mencionan que las fibras de pared gruesa pueden ser utilizadas para la síntesis de materiales absorbentes.

Tabla 16. Dimensiones e índice de calidad de las fibras.

Reactor	Longitud (μm)	Diámetro (μm)	Pared (μm)	Lumen (μm)	I.R	C.F	I.E	R.R
JAYME	709.3 ± 170.6	14.6 ± 3.6	10.2 ± 3.4	4.4 ± 2.1	1.39	0.30	48.60	4.61
IKA	743.5 ± 201.3	15.8 ± 3.6	10.6 ± 3.4	5.2 ± 2.5	1.34	0.33	49.96	4.05

Composición química de las pulpas

Las pulpas celulósicas obtenidas después de la deslignificación con ácido peracético (Tabla 17), presentan un elevado contenido de polisacáridos (93.6 %) compuestos por celulosa y hemicelulosas, cuya presencia otorga una mayor resistencia mecánica a los productos sintetizados a partir de ellas (Westin *et al.*, 2021), además, el reducido contenido de lignina (1.07 ± 0.26 %), demuestra la selectividad que el ácido peracético posee. Finalmente, el contenido de extraíbles presentes (5.21 ± 0.08 %), indican que el ácido peracético no ataca a estos componentes, y por consecuencia, se mantienen en las pulpas.

Tabla 17. Composición química de las pulpas celulósicas.

Compuestos solubles (extraíbles)	Hemicelulosas	Celulosa	Lignina	Cenizas
5.21 ± 0.08 %	9.34 ± 0.01 %	84.26 ± 0.34 %	1.07 ± 0.26 %	0.13 ± 0.01 %

Imágenes SEM

Las imágenes SEM obtenidas de las pulpas, muestran la estructura de las fibras de celulosa obtenidas. En la figura 22 se aprecia una zona ordenada de los filamentos, mientras que en los extremos es posible observar que existe una modificación en la orientación de las fibras, además de fragmentos asociados a impurezas.

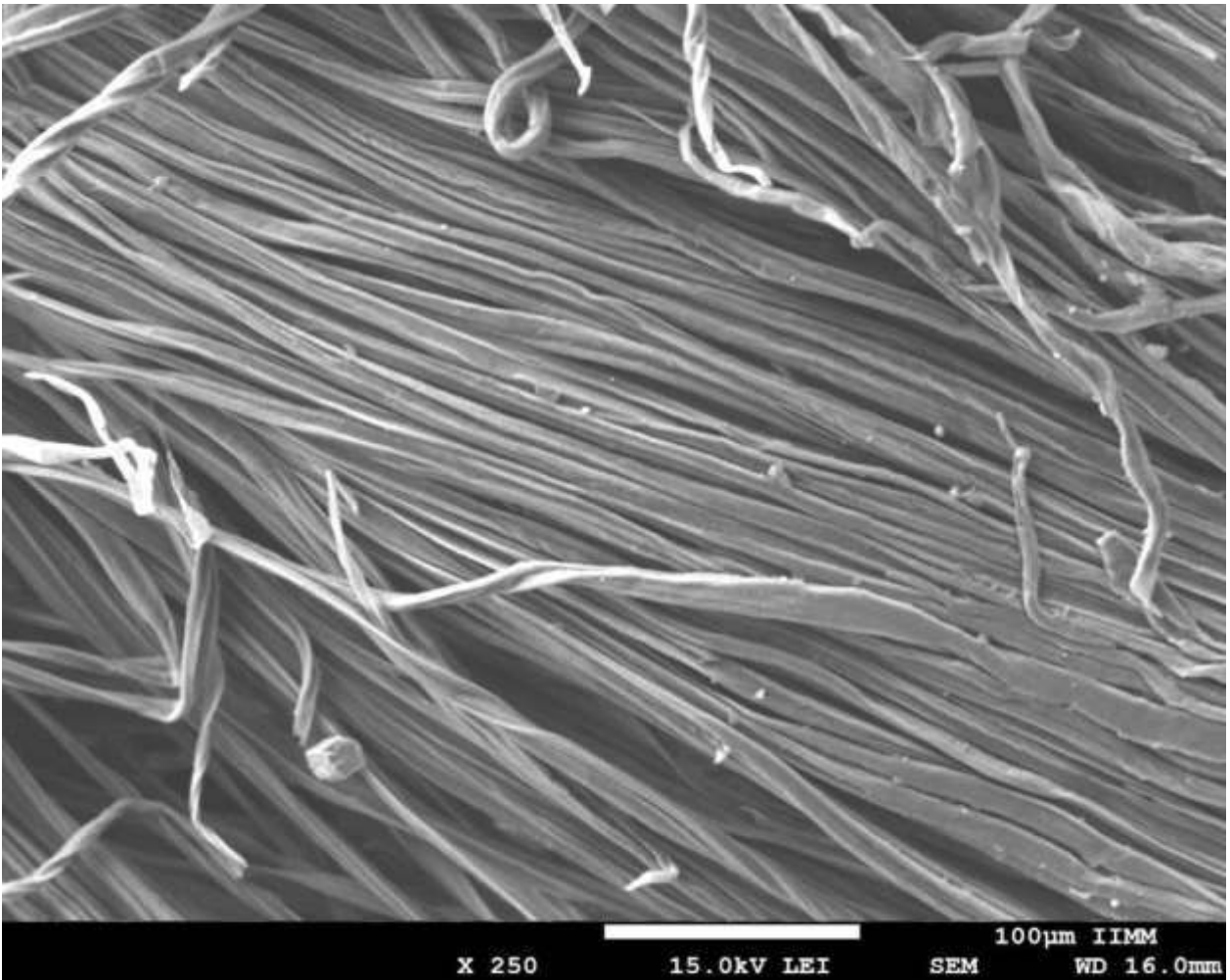


Figura 23. Pulpas celulósicas obtenidas del endocarpio de mango, vistas a 250 aumentos.

En la Figura 24, es posible observar que esos fragmentos clasificados como impurezas, no presentan lumen o pared celular distintivas de la celulosa, por consecuencia, se establece que estos fragmentos pueden ser compuestos lignínicos remanentes, extraíbles o materiales inorgánicos.

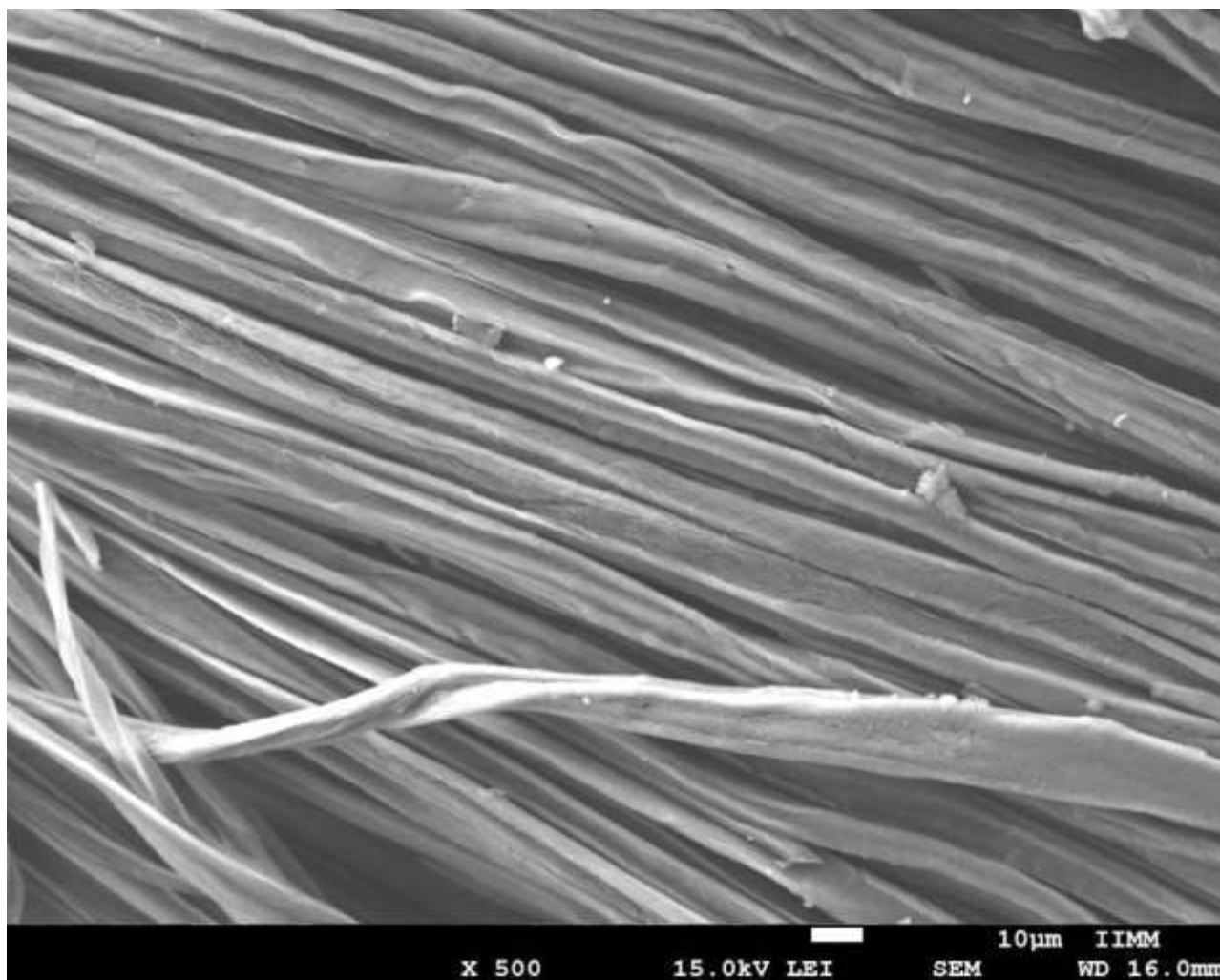


Figura 24. Pulpas celulósicas a 500 aumentos.

Finalmente, en la Figura 25 se observa la estructura original de las fibras celulósicas, la cual coincide con lo señalado en los índices de calidad, en esta imagen es posible observar que la celulosa del endocarpio posee pared gruesa y lumen poco desarrollado.

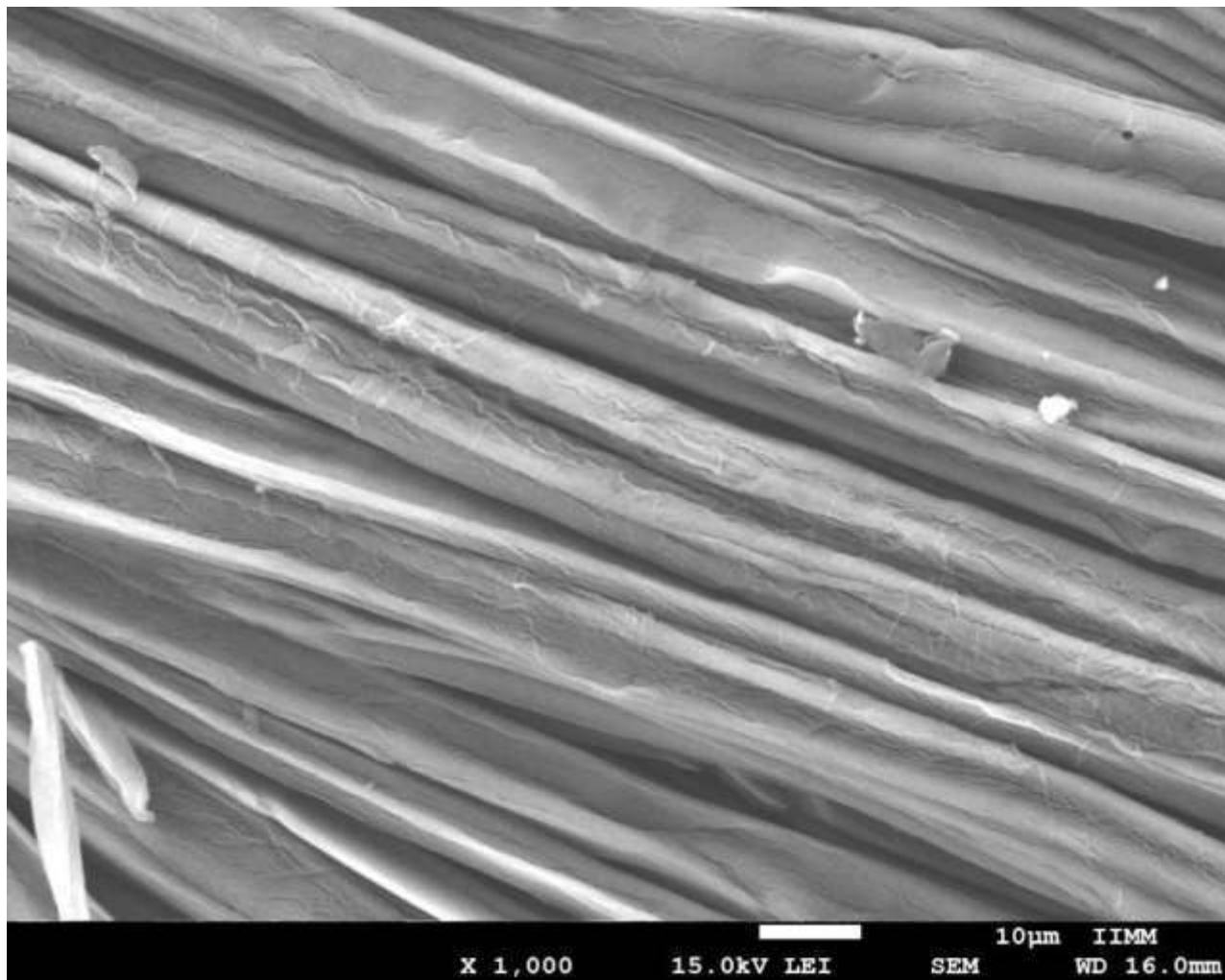


Figura 25. Estructura de la celulosa del endocarpio de mango después de la extracción química con ácido peracético.

Con la imagen anterior, se puede realizar una comparativa entre las fibras de celulosa nativas del endocarpio (Figura 26) publicadas por Lorenzo-Santiago y Rendón-Villalobos (2020), en la que es posible observar que las fibras originales del endocarpio poseen un lumen poco desarrollado y pared celular gruesa (Región E), misma característica que se mantiene después de la deslignificación con ácido peracético como licor de cocción.

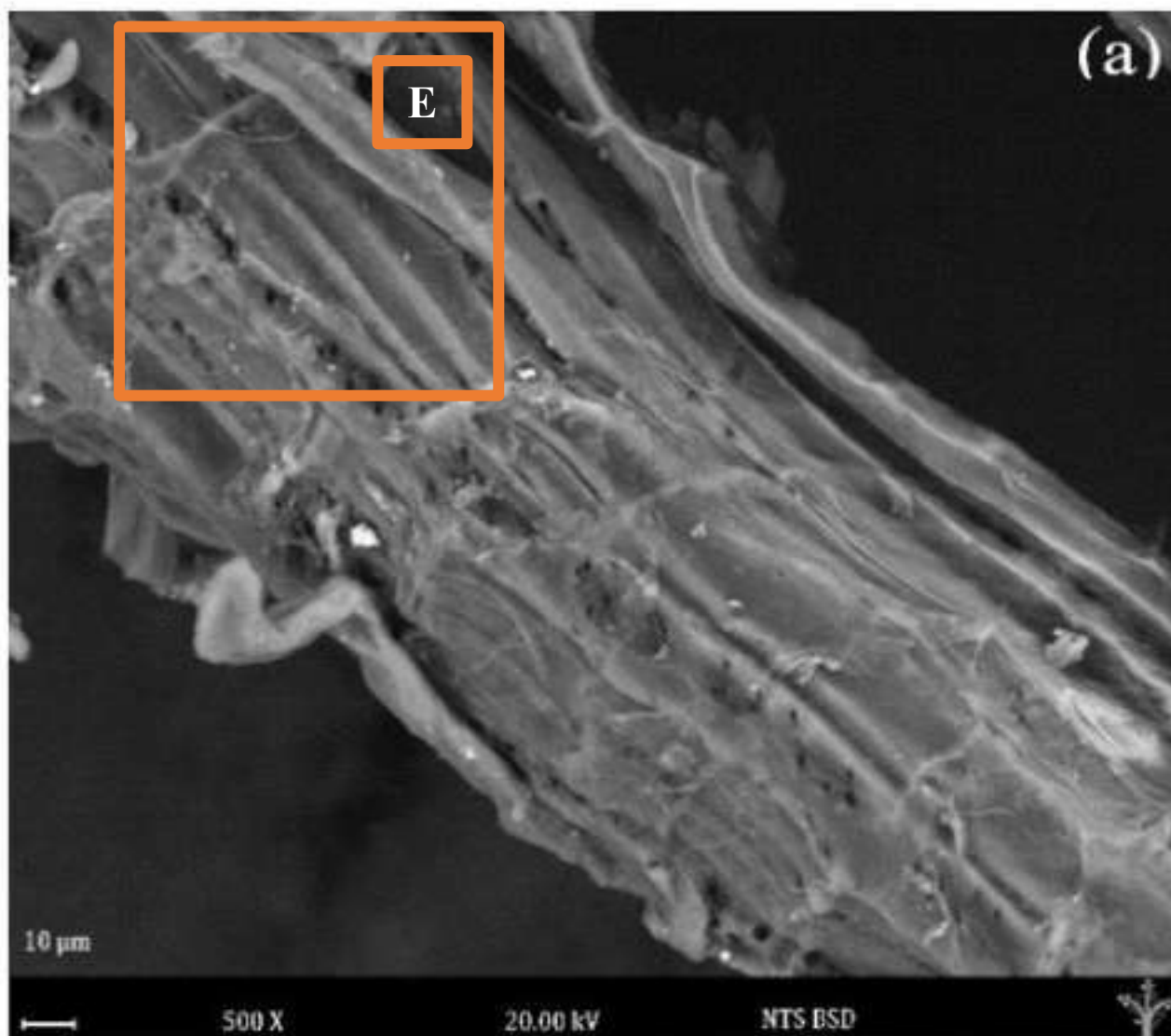


Figura 26. Fibras de celulosa nativas del endocarpio. Fuente: Lorenzo-Santiago y Rendón-Villalobos (2020).

Blancura y opacidad

La blancura y opacidad resultantes en la deslignificación con ácido peracético (Figura 27), son considerados altos al presentar valores promedio de $78 \pm 0.04 \%$ y $98 \pm 1.5 \%$ respectivamente (Tabla 18), esto parámetros de calidad se alcanzan por el proceso de pulpeo con ácido peracético sin necesidad de realizar etapas de blanqueo.

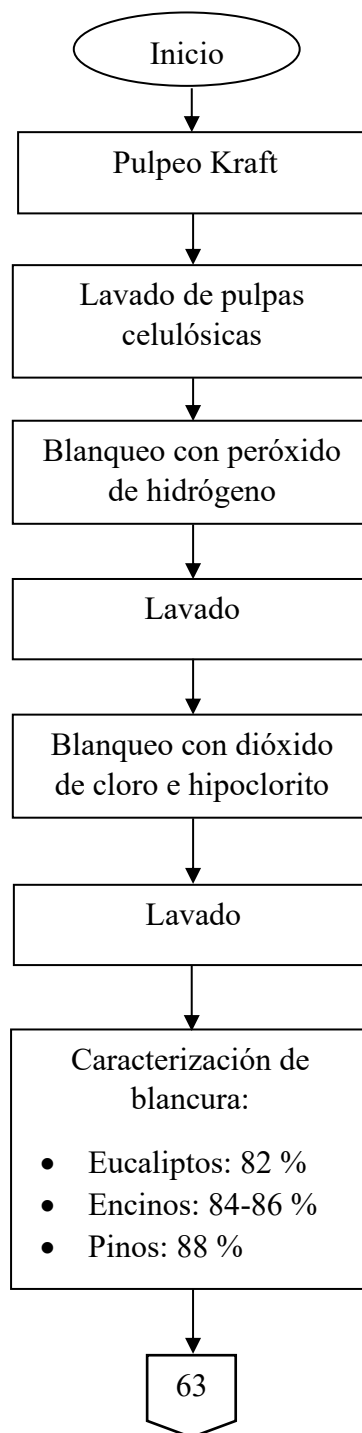
Tabla 18. Blancura y opacidad de pulpas obtenidas con ácido peracético.

	Blancura	Opacidad
	77.84	96.8
	77.9	98.9
Promedio	$78 \pm 0.04 \%$	$98 \pm 1.5 \%$



Figura 27. Hoja Tappi generada a partir de pulpas celulósicas del endocarpio para la medición de blancura y opacidad.

Información técnica industrial proporcionada, establece que pulpas provenientes de Eucaliptos, Encinos y Pinos, poseen valores de blancura de 82 %, 84-86 % y 88 %, como se muestra en la Figura 28, después de aplicar la etapa de pulpeo Kraft y dos secuencias de blanqueo.



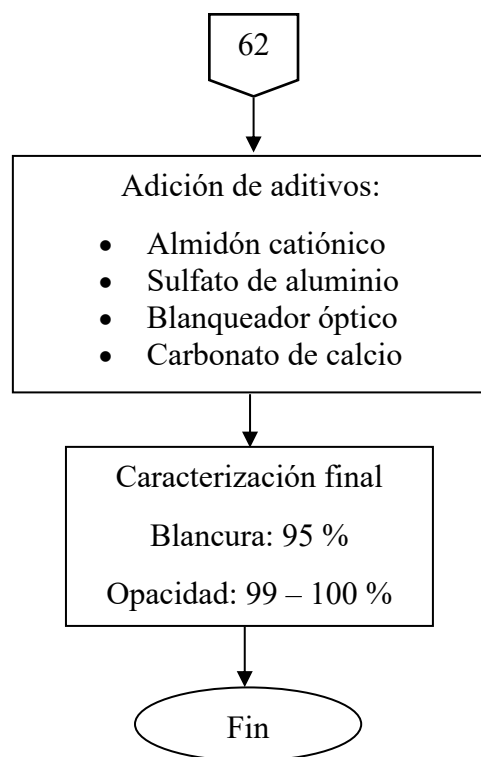


Figura 28. Proceso industrial de extracción química de celulosa.

En comparación con el proceso químico de ácido peracético mostrado en la Figura 29, que requiere exclusivamente de la etapa de pulpeo, se pueden obtener resultados similares a los reportados en procesos técnicos, además, se estima que el proceso ácido requiere de una menor demanda de agua al requerir de una sola etapa de lavado.

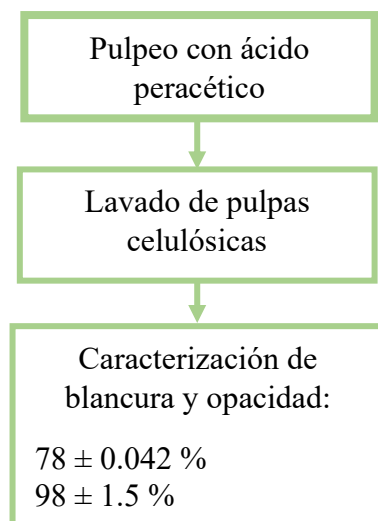


Figura 29. Proceso de deslignificación con ácido peracético.

Acetilación

Caracterización del acetato de celulosa

Porcentaje de grupos acetilo

De acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 4, el acetato obtenido de la pulpa celulósica del endocarpio de mango, corresponde a un diacetato de celulosa, al encontrarse entre los valores de grupos acetilo (36.5 – 42.2 %) pertenecientes al grado de sustitución 2.2 – 2.7 (Saiful et al., 2022), tal como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Acetato generado de fibras provenientes del endocarpio de mango.

Porcentaje de grupos acetilo	
	39.33
	39.21
Promedio	39.27 ± 0.09 %

El grado de sustitución comercial recomendado por Rhodia-Santo André/SP Brasil según Júnior *et al.*, (2010) es 2.45 debido a su facilidad para solubilizarse; respecto al acetato obtenido a partir del endocarpio, se encuentra en el rango recomendado de grado de sustitución (entre 2.4 y

2.5). Debido al bajo contenido de lignina prevaleciente en las fibras obtenidas a partir del endocarpio de mango ($1.07 \pm 0.26 \%$), la apariencia del acetato generado posee una blancura mayor con respecto al acetato recuperado por Lamanna *et al.*, (2024) (Figura 30).

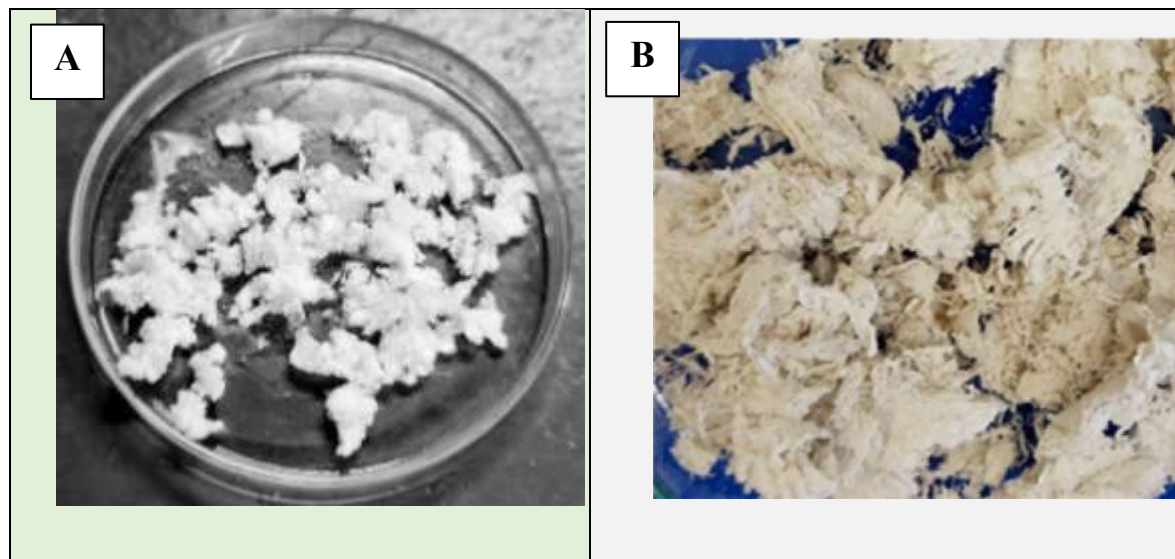


Figura 30. Acetatos de celulosa, en la izquierda es posible observar el acetato proveniente del endocarpio de mango, mientras que a la derecha se observa el acetato recuperado por Lamanna *et al.*, (2024).

Aun cuando hay presencia de hemicelulosas y extractivos en las pulpas celulósicas del endocarpio de mango, el tiempo de reacción fue de 14 h, comparable con el tiempo de reacción de Ribeiro *et al.*, (2021), en el que utilizaron celofán (derivado químico de bajo o nulo contenido de lignina (Paunonen, 2013)), para la obtención de diacetatos y triacetato de celulosa. Además, la presencia de extractivos en las pulpas, no presentó algún inconveniente por los señalados por Lehr *et al.*, (2021), durante el proceso de formación del acetato.

Análisis FTIR

En el análisis FTIR (Figura 31) se encontraron bandas en el intervalo de $3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ característicos del estiramiento de grupos OH, presentes en la estructura de celulosa que fue sustituida parcialmente por los grupos acetilo (Lamanna *et al.*, 2024), la banda entre $1750\text{ y }1730$

cm^{-1} , se debe al estiramiento del grupo $\text{C}=\text{O}$ del enlace éster (De Cesaris *et al.*, 2024), bandas cercanas a 1240 cm^{-1} , también se atribuyen al estiramiento del grupo $\text{C}=\text{O}$ del enlace éster, mientras que bandas próximas a 1040 cm^{-1} se atribuye a la deformación axial del éter $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, conocido también como el estiramiento del enlace glucosídicos por unidades de glucosa lo que confirma que el esqueleto polisacárido permanece intacto (Glugoski *et al.*, 2016). Finalmente, las bandas entre $1320\text{-}1420 \text{ cm}^{-1}$ se atribuyen a las vibraciones de enlace CH presente en la estructura de los grupos acetilo (Zakaria *et al.*, 2021).

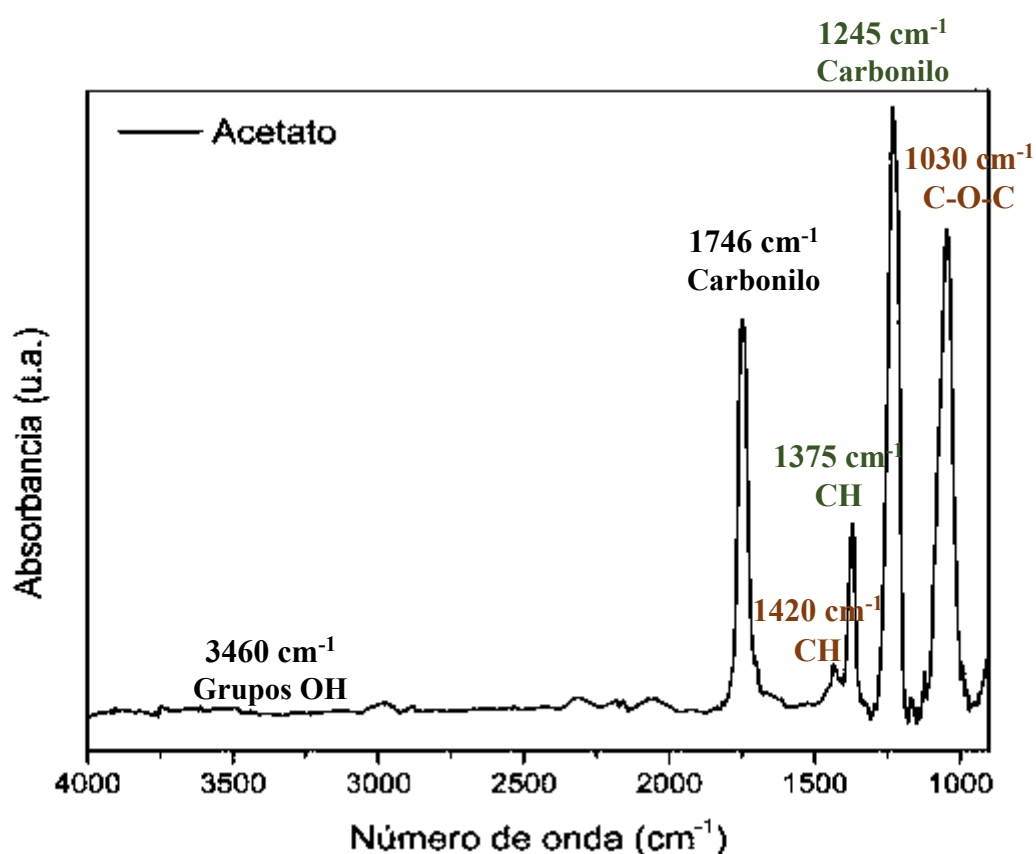


Figura 31. Análisis FTIR del acetato de celulosa proveniente del endocarpio de mango.

En la Figura 32, se muestran los enlaces señalados en la imagen anterior.

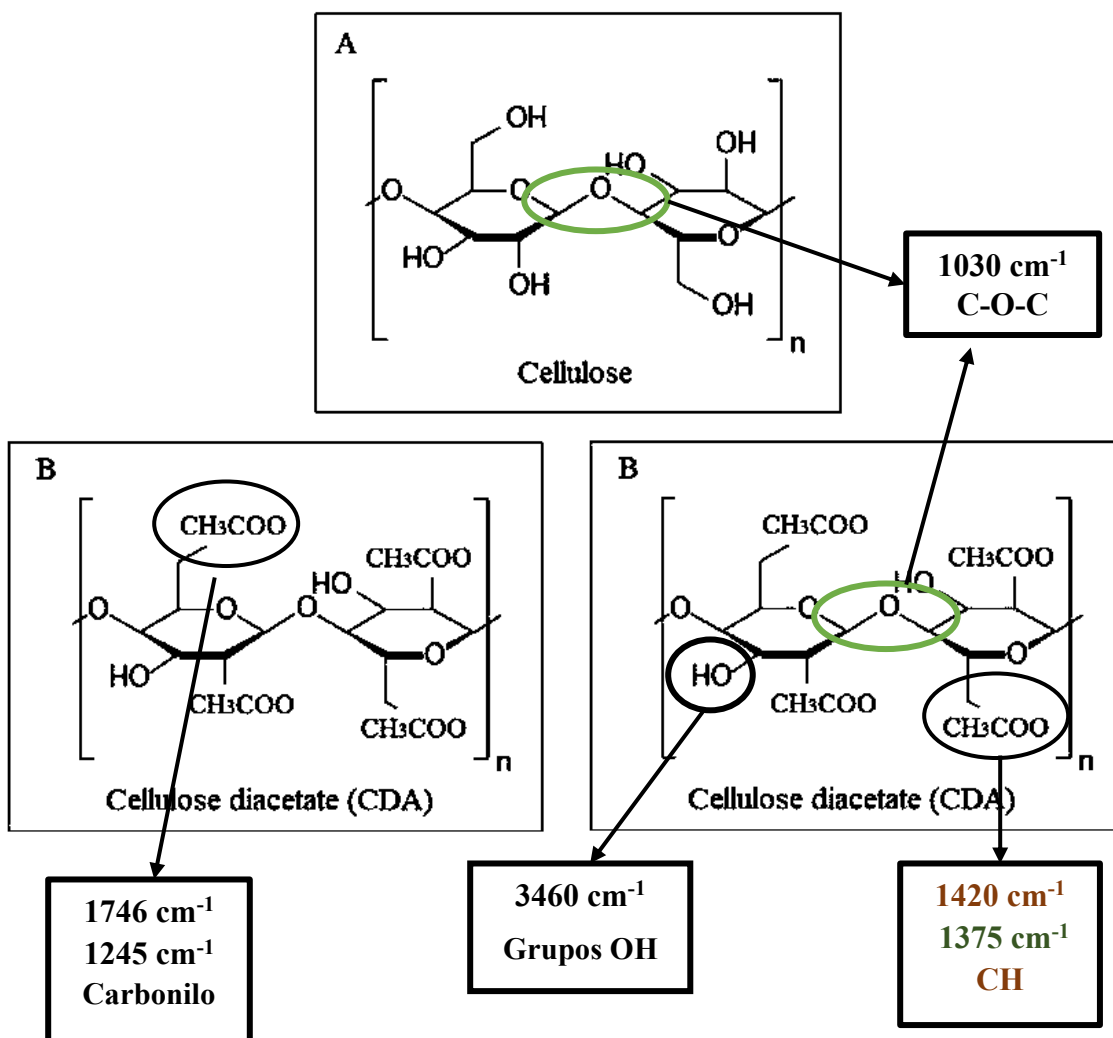


Figura 32. Grupos funcionales del acetato de celulosa. Fuente: Raza *et al.*, (2021).

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos del proceso de extracción de celulosa a partir del endocarpio de mango como materia prima y ácido peracético como agente oxidante a condiciones de 70 °C y una atmósfera de presión, se concluye que es posible extraer celulosa de alta calidad al presentar contenidos de lignina en el orden de 1.07 ± 0.26 %, blancura de 78 ± 0.04 %, opacidad 98 ± 1.5 %, con rendimientos de recuperación superiores al 50 %.

Con base a las características de las fibras obtenidas se concluye que estas pueden ser utilizadas para la síntesis del diacetato de celulosa, el cual es un compuesto plataforma para la obtención de membranas asimétricas para osmosis inversa, plásticos y recubrimientos poliméricos.

Durante la extracción de celulosa, se demostró que el uso de ácido peracético no remueve el contenido de extraíbles, por consecuencia, en materiales ricos en compuestos solubles deben aplicarse procesos de pretratamiento para garantizar la calidad en las pulpas. Finalmente, el bajo contenido de lignina permitió la formación del acetato de celulosa en 14 h de reacción para la obtención de un grado de sustitución entre 2.2 y 2.7, útil para su uso en derivados químicos.

Referencias

- Ali, M., & Sreekrishnan, T. (2001). Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: A review. *Advances in Environmental Research*, 5(2), 175–196. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(00)00055-1)
- Araiza, J. C. V., & Quiñones, J. G. R. (2016). La madera de Casuarina equisetifolia L.: Química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 6(1), 29–40. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611340>
- Arthanareeswaran, G., Thanikaivelan, P., Srinivasan, K., Mohan, D., & Rajendran, M. (2004). Synthesis, characterization and thermal studies on cellulose acetate membranes with additive. *European Polymer Journal*, 40(9), 2153–2159. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.04.024>
- Baghdad, H. (2025). Acetato de celulosa: Producción y usos. Chemcess. <https://chemcess.com/es/produccion-y-usos-de-acetato-de-celulosa/>
- Balser, K., Hoppe, L., Eicher, T., Wandel, M., Astheimer, H., Steinmeier, H., & Allen, J. M. (2004). Cellulose esters. En Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/14356007.a05_419.pub2
- Bermúdez, J. J., Cánovas, A., Manjón, A., Iborra, J. L., & Howell, J. A. (1988). La digestión anaerobia. Universidad de Murcia.
- Bini, K., Krishnan, A. G., Jacob, J., Supriya, R., & Thomas, K. S. (2024). Mango: The king of the tropics. En T. K. Uthup (Ed.), *Sustainable development and biodiversity* (pp. 299–324). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5940-8_8
- Blasi, A., Verardi, A., Lopresto, C. G., Siciliano, S., & Sangiorgio, P. (2023). Lignocellulosic agricultural waste valorization to obtain valuable products: An overview. *Recycling*, 8(4), Article 61. <https://doi.org/10.3390/recycling8040061>
- 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>

- Buchanan, C. M., Edgar, K. J., & Wilson, A. K. (1991). Preparation and characterization of cellulose monoacetates: The relationship between structure and water solubility. *Macromolecules*, 24(11), 3060–3064. <https://doi.org/10.1021/ma00011a005>
- Chávez Román, L. (2022). Las cadenas de valor como determinante para el desarrollo agroindustrial en Michoacán. En P. Wong González & R. E. Rózga Luter (Coords.), *Estudios aplicados al análisis global y aprovechamientos del territorio para la innovación productiva* (pp. 283–296). UNAM–AMECIDER. <http://ru.iiec.unam.mx/5865/>
- Choudhary, P., Devi, T. B., Tushir, S., Kasana, R. C., Popatrao, D. S., & Kumar, N. (2022). Mango seed kernel: A bountiful source of nutritional and bioactive compounds. *Food and Bioprocess Technology*, 16(2), 289–312. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02889-y>
- Christopher, L. P. (2012). Integrated forest biorefineries: Current state and development potential. En L. P. Christopher (Ed.), *Integrated Forest Biorefineries* (pp. 1–66). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849735063-00001>
- Coral-Velasco, D., & Cuesta-González, F. A. (2019). Aprovechamiento de semilla de mango en el desarrollo de galletas para consumo humano. *TEINNOVA*, 4, 32–39. <https://doi.org/10.23850/25007211.2945>
- Czatzkowska, M., Harnisz, M., Korzeniewska, E., & Koniuszewska, I. (2020). Inhibitors of the methane fermentation process with particular emphasis on the microbiological aspect: A review. *Energy Science & Engineering*, 8(5), 1880–1897. <https://doi.org/10.1002/ese3.609>
- Datir, S., & Regan, S. (2022). Advances in physiological, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and molecular genetic approaches for enhancing mango fruit quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(1), 20–34. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c05958>
- Datta, R. (2024). Enzymatic degradation of cellulose in soil: A review. *Heliyon*, 10(1), e24022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24022>
- De Cesaris, M. G., Felli, N., Antonelli, L., Francolini, I., D’Orazio, G., Bosco, C. D., & Gentili, A. (2024). Recovery of cellulose acetate bioplastic from cigarette butts: Realization of a sustainable sorbent for water remediation. *Science of the Total Environment*, 929, 172677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172677>

- Del Río, J. C., Romero, J., & Gutiérrez, A. (2000). Analysis of pitch deposits produced in kraft pulp mills using a totally chlorine-free bleaching sequence. *Journal of Chromatography A*, 874(2), 235–245. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00111-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00111-4)
- Deng, W., Feng, Y., Fu, J., Guo, H., Guo, Y., Han, B., ... Zhou, H. (2022). Catalytic conversion of lignocellulosic biomass into chemicals and fuels. *Green Energy & Environment*, 8(1), 10–114. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2022.07.003>
- Durán-Saldivar, M., & Sarmiento, I. (1995). Industria de la celulosa y del papel. *Investigación Económica*, 55(214), 177–199.
- Echeverria, D., Venditti, R., Jameel, H., & Yao, Y. (2021). A general life cycle assessment framework for sustainable bleaching: A case study of peracetic acid bleaching of wood pulp. *Journal of Cleaner Production*, 290, 125854. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125854>
- EMEX. (2023). Temporadas y tipos de mango en México. <https://www.mangoemex.com/temporadas-tipos-de-mango-mexico/>
- Ercan, E. E. T., Andreas, L., Cwirzen, A., & Habermehl-Cwirzen, K. (2023). Wood ash as sustainable alternative raw material for the production of concrete: A review. *Materials*, 16(7), Article 2557. <https://doi.org/10.3390/ma16072557>
- Etale, A., Onyianta, A. J., Turner, S. R., & Eichhorn, S. J. (2023). Cellulose: A review of water interactions, applications in composites, and water treatment. *Chemical Reviews*, 123(5), 2016–2048. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00477>
- Fadeyi, A. E., & Akiode, S. O. (2023). Analysis and characterization of lignocellulosic biomass extracted from selected agricultural wastes. *En IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112954>
- Fengel, D., & Wegener, G. (2011). *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter.
- Fernandes, M. A. M., Nörnberg, L. V., Acosta, A. P., Barbosa, K. T., & Cardoso, G. V. (2024). Green chemistry in the production of cellulose acetate: The use of a new low-cost, highly available waste product. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(8), 12515–12523. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06016-z>

- Filho, G. R., Monteiro, D. S., Da Silva Meireles, C., De Assunção, R. M. N., Cerqueira, D. A., Barud, H. S., Ribeiro, S. J., & Messadeq, Y. (2007). Synthesis and characterization of cellulose acetate produced from recycled newspaper. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.010>
- Fischer, S., Thümmel, K., Volkert, B., Hettrich, K., Schmidt, I., & Fischer, K. (2008). Properties and applications of cellulose acetate. *Macromolecular Symposia*, 262(1), 89–96. <https://doi.org/10.1002/masy.200850210>
- Fitria, N., Liu, J., & Yang, B. (2023). Roles of mineral matter in biomass processing to biofuels. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17(3), 696–717. <https://doi.org/10.1002/bbb.2468>
- Gallegos, J. O., De las Nieves Rodríguez, M., Cúe, J. L. G., & Equihua, J. L. P. (2020). Estrategias de manejo en huertas de mango y su efecto en la calidad del suelo y productividad en Los Cajones, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1057–1068. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2127>
- García-Mahecha, M., Soto-Valdez, H., Peralta, E., Carvajal-Millan, E., Madera-Santana, T. J., Lomelí-Ramírez, M. G., & Colín-Chávez, C. (2023). Production and characterization of cellulosic pulp from mango agro-industrial waste and potential applications. *Polymers*, 15(15), 3163. <https://doi.org/10.3390/polym15153163>
- Gaviña, Y. V., Gómez, L. I. G., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2010). Posibilidades de uso de 98 maderas para el proceso de pulpeo Kraft, con base en sus índices de calidad de pulpa. *Ciencia Nicolaíta*, (52).
- Glugoski, L. P., De Jesus Cubas, P., & Fujiwara, S. T. (2016). Reactive Black 5 dye degradation using filters of smuggled cigarette modified with Fe³⁺. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(7), 6143–6150. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6820-0>
- Gobierno de México, Secretaría de Economía. (s. f.). Celulosa y sus derivados químicos, no expresados ni comprendidos en otra parte, en formas primarias (código 3912). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/chemical-cellulose-and-its-derivatives-not-specified-or-included-elsewhere-in-primary-forms>

- Henriksson, G., Germgård, U., & Lindström, M. E. (2024). A review on chemical mechanisms of kraft pulping. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 39(3), 297–311. <https://doi.org/10.1515/npprj-2023-0015>
- Henrique, M. A., Silvério, H. A., Neto, W. P. F., & Pasquini, D. (2013). Valorization of an agro-industrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. *Journal of Environmental Management*, 121, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.054>
- Herrera-González, A. M., Trejo-Carbajal, N., Reyes-Angeles, M. C., Monroy-Galindo, R., & Peláez-Cid, A. A. (2024). Activated carbon cellulose acetate-based as effective adsorbent of contaminants from water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 694, 134146. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134146>
- Hu, M., Chen, J., Yu, Y., & Liu, Y. (2022). Peroxyacetic acid pretreatment: A potentially promising strategy towards lignocellulose biorefinery. *Molecules*, 27(19), Article 6359. <https://doi.org/10.3390/molecules27196359>
- Huang, C., Jiang, X., Shen, X., Hu, J., Tang, W., Wu, X., Ragauskas, A. J., Jameel, H., Meng, X., & Yong, Q. (2021). Lignin–enzyme interaction: A roadblock for efficient enzymatic hydrolysis of lignocellulosics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111822. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111822>
- Huang, L., Ma, M., Ji, X., Choi, S., & Si, C. (2021). Recent developments and applications of hemicellulose from wheat straw: A review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 690773. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.690773>
- Jamaldheen, S. B., Kurade, M. B., Basak, B., Yoo, C. G., Oh, K. K., Jeon, B., & Kim, T. H. (2021). A review on physico-chemical delignification as a pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced bioconversion. *Bioresource Technology*, 346, 126591. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126591>
- Jardim, J. M., Hart, P. W., Lucia, L. A., Jameel, H., & Chang, H. (2022). The effect of the kraft pulping process, wood species, and pH on lignin recovery from black liquor. *Fibers*, 10(2), Article 16. <https://doi.org/10.3390/fib10020016>

- Júnior, M. F. F., Mundim, E. A. R., Filho, G. R., Da Silva Meireles, C., Cerqueira, D. A., De Assunção, R. M. N., Marcolin, M., & Zeni, M. (2010). SEM study of the morphology of asymmetric cellulose acetate membranes produced from recycled agro-industrial residues: Sugarcane bagasse and mango seeds. *Polymer Bulletin*, 66(3), 377–389. <https://doi.org/10.1007/s00289-010-0346-2>
- Kamzari, S. M. A. A., Rao, L. N., Lakavat, M., Gandi, S., P., S. R., & Sri, G. K. (2021). Extraction and characterization of cellulose from agricultural waste materials. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2740–2743. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.030>
- Keržič, E., Humar, M., Oven, P., & Vek, V. (2023). Development of extraction methodology for identification of extractive compounds indexing natural durability of selected wood species. *Wood Material Science & Engineering*, 18(6), 1940–1950. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2207529>
- Kirker, G., Blodgett, A., Arango, R., Lebow, P., & Clausen, C. (2013). The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 82, 53–58. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.03.007>
- Kirker, G., Hassan, B., Mankowski, M., & Eller, F. (2024). Critical review on the use of extractives of naturally durable woods as natural wood protectants. *Insects*, 15(1), 69. <https://doi.org/10.3390/insects15010069>
- Kostamo, A., Holmbom, B., & Kukkonen, J. (2004). Fate of wood extractives in wastewater treatment plants at kraft pulp mills and mechanical pulp mills. *Water Research*, 38(4), 972–982. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.051>
- Labaky, P., Dahdouh, L., Ricci, J., Wisniewski, C., Pallet, D., Louka, N., & Grosmaire, L. (2021). Impact of ripening on the physical properties of mango purees and application of simultaneous rheometry and in situ FTIR spectroscopy for rapid identification of biochemical and rheological changes. *Journal of Food Engineering*, 300, 110507. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110507>
- Lahtinen, M. H., Mikkilä, J., Mikkonen, K. S., & Kilpeläinen, I. (2021). Kraft process—Formation of secoisolariciresinol structures and incorporation of fatty acids in kraft lignin. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 69(21), 5955–5965.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c00705>

- Lamanna, N., Zuccante, G., Rossetti, M., Franzetti, A., Santoro, C., & Zoia, L. (2024). Integrated process for ballot bin waste valorization for high-quality cellulose acetate recovery. *Applied Sciences*, 14(23), 10955. <https://doi.org/10.3390/app142310955>
- Lan, X., Fu, S., Song, J., Leu, S., Shen, J., Kong, Y., Kang, S., Yuan, X., & Liu, H. (2023). Structural changes of hemicellulose during pulping process and its interaction with nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 255, 127772. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127772>
- Lebaka, V. R., Wee, Y., Ye, W., & Korivi, M. (2021). Nutritional composition and bioactive compounds in three different parts of mango fruit. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 741. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020741>
- Lehr, M., Miltner, M., & Friedl, A. (2021). Removal of wood extractives as pulp (pre-)treatment: A technological review. *SN Applied Sciences*, 3(12), 1010. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04873-1>
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [LGPGIR]. (2003). Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Li, P., Zhao, H., Cheng, C., Hou, T., Shen, D., & Jiao, Y. (2024). A review on anaerobic co-digestion of sewage sludge with other organic wastes for methane production: Mechanism, process, improvement and industrial application. *Biomass and Bioenergy*, 185, 107241. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107241>
- López-Sosa, L. B., Santibáñez-Rocha, G. A., Morales-Máximo, M., González-Carabes, R., Rutiaga-Quñones, J. G., Bustamante, C. A. G., Pintor-Ibarra, L. F., Ramos-Vargas, S., Reyes, C. I. V., Rodríguez Magallón, M. del C., & Trujillo, S. L. H. (2024). Evaluation of the energy potential of agro-industrial waste from *Mangifera indica* L. in Zamora, Mexico: Perspectives for the management of solid and liquid biofuels. *BioEnergy Research*, 17(4), 2127–2140. <https://doi.org/10.1007/s12155-024-10774-z>

- Lorenzo-Santiago, M. A., & Rendón-Villalobos, R. (2020). Isolation and characterization of microcellulose obtained from waste mango. *Polímeros*, 30(3), e20200019. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.09119>
- Lu, X., & Gu, X. (2023). A review on lignin-based epoxy resins: Lignin effects on their synthesis and properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 229, 778–790. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.12.322>
- Lu, Y., He, Q., Fan, G., Cheng, Q., & Song, G. (2021). Extraction and modification of hemicellulose from lignocellulosic biomass: A review. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 779–804. <https://doi.org/10.1515/gps-2021-0065>
- Madadi, M., Kargaran, E., Azad, S. A., Saleknezhad, M., Zhang, E., & Sun, F. (2025). Machine learning-driven optimization of biphasic pretreatment conditions for enhanced lignocellulosic biomass fractionation. *Energy*, 326, 136241. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136241>
- Madadi, M., Kargaran, E., Hashemi, S. S., Sun, C., Denayer, J. F., Karimi, K., Sun, F., & Gupta, V. K. (2025). Scalable lignin monomer production via machine learning-guided reductive catalytic fractionation of lignocellulose. *Advanced Science*, 12(42), e202510496. <https://doi.org/10.1002/advs.202510496>
- Maj, I., Niesporek, K., Płaza, P., Maier, J., & Łój, P. (2025). Biomass ash: A review of chemical compositions and management trends. *Sustainability*, 17(11), Article 4925. <https://doi.org/10.3390/su17114925>
- Małachowska, E., Dubowik, M., Lipkiewicz, A., Przybysz, K., & Przybysz, P. (2020). Analysis of cellulose pulp characteristics and processing parameters for efficient paper production. *Sustainability*, 12(17), 7219. <https://doi.org/10.3390/su12177219>
- Manhongo, T. T., Chimphango, A., Thornley, P., & Röder, M. (2021). Techno-economic and environmental evaluation of integrated mango waste biorefineries. *Journal of Cleaner Production*, 325, 129335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129335>
- Manhongo, T., Chimphango, A., Thornley, P., & Röder, M. (2021). An economic viability and environmental impact assessment of mango processing waste-based biorefineries for co-

- producing bioenergy and bioactive compounds. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111216>
- Marçal, S., & Pintado, M. (2021). Mango peels as food ingredient/additive: Nutritional value, processing, safety and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 472–489. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.012>
- Martínez, J. M. Z., Cauich, I. C., & Fernández, V. G. P. (2023). Comportamiento de variables económicas y de indicadores de comercio del mango mexicano. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(3), 332–346. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i3.1454>
- Mayta, S., Huamani-Palomino, R. G., Córdova, B. M., Rivera, E., & Quintana, M. (2024). Utilizing peracetic acid as an eco-friendly bleaching agent: Investigating whiteness levels of cellulose microfibers from corn husk waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(17), 24571–24583. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05373-z>
- Mendoza-Hernández, C., Rosas-Quijano, R., Vázquez-Ovando, A., & Gálvez-López, D. (2020). Retos y controversias del mango Ataulfo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1633–1645. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2199>
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments (9th ed.). Wiley.
- Morales-Hernández, F. (2016). Estudio anatómico y botánico de *Dalbergia congestiflora* Pittier, *D. granadillo* Pittier y *D. calycina* Benth. (Tesis de licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). Repositorio Institucional UMSNH. http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7915
- Mousania, Z., Rafiee, R., Moeinaddini, M., & Atkinson, J. D. (2023). Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste in a simulated bioreactor to improve predictive modeling of landfill systems. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 13, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100396>
- Muñoz-Redondo, J., Bertoldi, D., Tonon, A., Ziller, L., Camin, F., & Moreno-Rojas, J. (2021). Tracing the geographical origin of Spanish mango (*Mangifera indica* L.) using stable isotope ratios and multi-element profiles. *Food Control*, 125, 107961. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107961>

- Neiva, D., Fernandes, L., Araújo, S., Lourenço, A., Gominho, J., Simões, R., & Pereira, H. (2014). Chemical composition and kraft pulping potential of 12 eucalypt species. *Industrial Crops and Products*, 66, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.016>
- Ong, H. C., Yu, K. L., Chen, W., Pillejera, M. K., Bi, X., Tran, K., Pétrissans, A., & Pétrissans, M. (2021). Variation of lignocellulosic biomass structure from torrefaction: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111698. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111698>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). Determination of moisture content—Oven dry method—Part 3: Moisture in general analysis sample (ISO 18134-3). <https://www.iso.org/standard/61637.html>
- Organización Internacional de Normalización. (2022). Solid biofuels—Determination of ash content (ISO 18122). <https://www.iso.org/standard/83190.html>
- Pacheco-Jiménez, A. A., Heredia, J. B., Gutiérrez-Grijalva, E. P., Quintana-Obregón, E. A., & Muy-Rangel, M. D. (2022). Potencial industrial de la cáscara de mango (*Mangifera indica* L.) para la obtención de pectina en México. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 25, 419. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.419>
- Paiva, M. T. P., da Silva, J. B. M. D., Brisola, J., de Carvalho, G. M., & Mali, S. (2023). Cellulose acetate from lignocellulosic residues: An eco-friendly approach based on a hydrothermal process. *International Journal of Biological Macromolecules*, 243, 125237. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125237>
- Park, H., Cruz, D., Tiller, P., Johnson, D. K., Mittal, A., Jameel, H., Venditti, R., & Park, S. (2022). Effect of ash in paper sludge on enzymatic hydrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 165, 106567. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106567>
- Paunonen, S. (2013). Strength and barrier enhancements of cellophane and cellulose derivative films: A review. *BioResources*, 8(2), 3098–3121. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/strength-and-barrier-enhancements-of-cellophane-and-cellulose-derivative-films-a-review/>

- Pintor-Ibarra, L. F., de Jesús Rivera-Prado, J., Ramos-Vargas, S., Escoto-García, T., Rodríguez-Olalde, N. E., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2020). Kraft pulping and bleaching of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms (water hyacinth). *BioResources*, 15(4), 9243–9264. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.9243-9264>
- Puls, J., Wilson, S. A., & Höltter, D. (2010). Degradation of cellulose acetate-based materials: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(1), 152–165. <https://doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>
- Puri, L., Hu, Y., & Naterer, G. (2024). Critical review of the role of ash content and composition in biomass pyrolysis. *Frontiers in Fuels*, 2, 1378361. <https://doi.org/10.3389/ffuel.2024.1378361>
- Rajan, S. (2021). Mango: The king of fruits. In I. A. Haq & A. S. Kalamdhad (Eds.), *Compendium of plant genomes* (pp. 1–11). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47829-2_1
- Raza, A., Farrukh, S., Hussain, A., Khan, I., Othman, M. H. D., & Ahsan, M. (2021). Performance analysis of blended cellulose acetate membranes with varying degrees of acetylation for CO₂/CH₄ separation. *Membranes*, 11(4), 245. <https://doi.org/10.3390/membranes11040245>
- Ribeiro, S. D., Meneguín, A. B., da Silva Barud, H., Silva, J. M., Oliveira, R. L., de Assunção, R. M. N., Tormin, T. F., Muñoz, R. A. A., Filho, G. R., & Ribeiro, C. A. (2021). Synthesis and characterization of cellulose acetate from cellophane industry residues: Application as acetaminophen controlled-release membranes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(13), 7265–7275. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-11022-8>
- Riseh, R. S., Vazvani, M. G., Hassanisaadi, M., & Thakur, V. K. (2023). Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries. *Industrial Crops and Products*, 208, 117904. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117904>
- Ruiz-Cuilty, K. (2018). Optimización del proceso etanosolv para la obtención de celulosa biomásica y valoración de diferentes rutas de acetilación del material (Tesis doctoral,

- Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.).
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/2243>
- Rutiaga-Quiñones, J. G., Rivera-Prado, J. J., & Sanjuán-Dueñas, R. (1998). Evaluación fisicomecánica de la pulpa kraft blanqueada de la madera de *Pinus douglasiana* Martínez. *Ciencia Forestal en México*, 23(83), 17–31.
- Saiful, N., Hasima, S., Kamila, N., & Rahmi, N. (2022). Cellulose acetate from palm oil bunch waste for forward osmosis membrane in desalination of brackish water. *Results in Engineering*, 15, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100611>
- Salazar, J. A. H., & Pérez, J. H. (2016). Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques*, 4(2), 79–93. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.421361>
- Sanjuán-Dueñas, R. (1997). Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel (1.^a ed.). Universidad de Guadalajara.
- Sanou, M., Kanté-Traoré, H., Haro, K., Somda, S., Offei, F., Zhang, Y., Parkouda, C., & Dicko, M. H. (2024). Biochemical properties and biotechnological potential of mango biowastes for economical valorization in Burkina Faso. *Waste and Biomass Valorization*, 16(1), 53–73. <https://doi.org/10.1007/s12649-024-02691-1>
- Santos, R. B., Capanema, E. A., Balakshin, M. Y., & Jameel, H. (2011). Effect of hardwoods characteristics on kraft pulping process: Emphasis on lignin structure. *BioResources*, 6(4), 3623–3637.
- Schieppati, D., Patience, N. A., Galli, F., Dal Santo, P., Seck, I., Patience, G. S., Fuoco, D., Banquy, X., & Boffito, D. C. (2023). Chemical and biological delignification of biomass: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62(33), 12757–12794. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c01231>
- Secretaría de Economía. (s. f.). Secretaría de Economía | Gobierno de México. <https://www.gob.mx/se>

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2009, enero). Instructivo para llenado del formato del plan de manejo de residuos sólidos para generadores no sujetos a la LAUDF. Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/instructivo-plan-manejo-residuos-solidos-no-sujetos-laudf.pdf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2022). Anuario estadístico de la producción agrícola. Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Shakeel, U., Zhang, Y., Topakas, E., Wang, W., Liang, C., & Qi, W. (2024). Unraveling interplay between lignocellulosic structures caused by chemical pretreatments in enhancing enzymatic hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, 334, 122037. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122037>
- Sharma, P., & Singh, S. P. (2021). Pollutants characterization and toxicity assessment of pulp and paper industry sludge for safe environmental disposal. In I. Haq & A. S. Kalamdhad (Eds.), *Emerging treatment technologies for waste management* (pp. 203–224). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2015-7_10
- Sheng, Y., Lam, S. S., Wu, Y., Ge, S., Wu, J., Cai, L., Huang, Z., Van Le, Q., Sonne, C., & Xia, C. (2020). Enzymatic conversion of pretreated lignocellulosic biomass: A review on influence of structural changes of lignin. *Bioresource Technology*, 324, 124631. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124631>
- Shi, Y., Li, S., & Zhao, Z. (2022). Molecular simulations of the effects of substitutions on the dissolution properties of amorphous cellulose acetate. *Carbohydrate Polymers*, 291, 119610. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119610>
- Siddique, R. (2012). Utilization of wood ash in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.004>

- Singh, R., Shukla, A., Tiwari, S., & Srivastava, M. (2014). A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 713–728. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.051>
- Sixta, H. (Ed.). (2006). *Handbook of pulp* (2 vols.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527619887>
- Slejko, E. A., Tuan, A., & Scuor, N. (2023). From waste to value: Characterization of recycled cellulose acetate for sustainable waste management. *Waste Management Bulletin*, 1(4), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.10.001>
- Spina, D., Zanchini, R., Hamam, M., Di Vita, G., Chinnici, G., Raimondo, M., Caracciolo, F., & D'Amico, M. (2023). Unveiling the exotic fascination of tropical fruits: The role of food values on consumer behavior towards mangoes. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100956. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100956>
- Su, K., Li, L., Wang, Q., & Cao, R. (2023). A review on interspecies electron transfer of methane production in anaerobic digestion systems. *Fermentation*, 9(5), 467. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050467>
- Tariq, A., Sahar, A., Usman, M., Sameen, A., Azhar, M., Tahir, R., Younas, R., & Khan, M. I. (2023). Extraction of dietary fiber and polyphenols from mango peel and its therapeutic potential to improve gut health. *Food Bioscience*, 53, 102669. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102669>
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (1999). Kappa number of pulp (TAPPI T 236 cm-99). TAPPI Press.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2002). Brightness of pulp, paper, and paperboard (directional reflectance at 457 nm) (TAPPI T 452 om-02). TAPPI Press.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2002). Diffuse opacity of paper (d/0 paper backing) (TAPPI T 519 om-02). TAPPI Press.
- Tamaris-Urias, J. C. (1996). Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques*, 2(2), 29–41. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61720204.pdf>

- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vatanpour, V., Pasaoglu, M. E., Barzegar, H., Teber, O. O., Kaya, R., Bastug, M., Khataee, A., & Koyuncu, I. (2022). Cellulose acetate in fabrication of polymeric membranes: A review. *Chemosphere*, 295, 133914. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133914>
- Vidal, G., González, Y., Piña, B., Jarpa, M., & Gómez, G. (2021). Minimization of environmental impact of kraft pulp mill effluents: Current practices and future perspectives towards sustainability. *Sustainability*, 13(16), 9288. <https://doi.org/10.3390/su13169288>
- Villamizar-Vargas, R., Quiceno-Gómez, C., & Giraldo-Giraldo, G. (2019). Comportamiento de características fisicoquímicas durante la maduración del mango Tommy Atkins luego de cosechado. *UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1159>
- Villaseñor Araiza, J. C., & Rutiaga Quiñones, J. G. (2016). La madera de Casuarina equisetifolia L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 6(1), 29–40. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611340>
- Wang, Y., Wang, Q., Li, Y., Wang, H., Gao, Y., Sun, Y., Wang, B., Bian, R., Li, W., & Zhan, M. (2023). Impact of incineration slag co-disposed with municipal solid waste on methane production and methanogens ecology in landfills. *Bioresource Technology*, 377, 128978. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128978>
- Wang, Z., & Deuss, P. J. (2023). The isolation of lignin with native-like structure. *Biotechnology Advances*, 68, 108230. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2023.108230>
- Westin, P., Yang, X., Svedberg, A., Grundberg, H., & Berglund, L. A. (2021). Single-step PAA delignification of wood chips for high-performance holocellulose fibers. *Cellulose*, 28(3), 1873–1880. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03625-5>
- Wickramaarachchi, W. K. P., Minakshi, M., Gao, X., Dabare, R., & Wong, K. W. (2021). Hierarchical porous carbon from mango seed husk for electrochemical energy storage.

- Chemical Engineering Journal Advances, 8, 100158.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.100158>
- Wolfs, J., & Meier, M. A. R. (2021). A more sustainable synthesis approach for cellulose acetate using the DBU/CO₂ switchable solvent system. *Green Chemistry*, 23(12), 4410–4420.
<https://doi.org/10.1039/d1gc01508g>
- Wongkaew, M., Kittiwachana, S., Phuangsaibai, N., Tinpovong, B., Tiayon, C., Pusadee, T., Chuttong, B., Sringarm, K., Bhat, F. M., Sommano, S. R., & Cheewangkoon, R. (2021). Fruit characteristics, peel nutritional compositions, and their relationships with mango peel pectin quality. *Plants*, 10(6), Article 1148. <https://doi.org/10.3390/plants10061148>
- Xiao, L., Liu, J., Kumar, P. S., Zhou, M., Yu, J., & Lichtfouse, E. (2022). Enhanced methane production by granular activated carbon: A review. *Fuel*, 320, 123903.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123903>
- Yadav, N., & Hakkarainen, M. (2020). Degradable or not? Cellulose acetate as a model for complicated interplay between structure, environment, and degradation. *Chemosphere*, 265, 128731. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128731>
- Yiin, C. L., Ho, S., Yusup, S., Quitain, A. T., Chan, Y. H., Loy, A. C. M., & Gwee, Y. L. (2019). Recovery of cellulose fibers from oil palm empty fruit bunch for pulp and paper using green delignification approach. *Bioresource Technology*, 290, 121797.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121797>
- Zakaria, S., Rahman, W. A., Anuar, N. S., Zain, N. Z. M., Lokman, K., Anuar, N. N. K., Majid, N. A., & Ismail, S. N. S. (2021). Effect of contact time on the properties of cellulose, cellulose acetate and its film from various wastes. *AIP Conference Proceedings*, 2332, 020005. <https://doi.org/10.1063/5.0042895>
- Zastempowski, M., Bochat, A., Janiec, M., Hujo, L., & Jablonicky, J. (2022). Impact of cutting units' design on biomass cutting resistance. *Acta Mechanica et Automatica*, 16(3), 259–265. <https://doi.org/10.2478/ama-2022-0031>

- Zhang, L., Larsson, A., Moldin, A., & Edlund, U. (2022). Comparison of lignin distribution, structure, and morphology in wheat straw and wood. *Industrial Crops and Products*, 187, 115432. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115432>
- Zhang, Y., Li, C., Yuan, Z., Wang, R., Angelidaki, I., & Zhu, G. (2022). Syntrophy mechanism, microbial population, and process optimization for volatile fatty acids metabolism in anaerobic digestion. *Chemical Engineering Journal*, 452, 139137. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139137>
- Zhuo, J., Bobokalonov, J., Usmanova, S., & Xiang, Z. (2024). Effects of peracetic acid delignification on hemicellulose extraction by dimethyl sulfoxide. *Industrial Crops and Products*, 222, 119731. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119731>

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental	
Título del trabajo	“Aprovechamiento del Endocarpio de Mango para la Extracción de Pulpas Celulósicas y Primera Aproximación en Acetilación”	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Jaquelin Tovar Escobedo	1717033d@umich.mx
Director	Dr. José Apolinar Cortés	jose.apolinar@umich.mx
Codirector		
Coordinador del programa	Salomón Ramiro Vásquez García	salomon.vasquez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Jaquelin Tovar Escobedo
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 23 de enero de 2026

Jaquelin Tovar Escobedo

Aprovechamiento del Endocarpio de Mango para la Extracción de Pulpas Celulósicas y Primera Aproximación en Acetilación.p...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:549581823

Fecha de entrega

26 ene 2026, 11:26 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

26 ene 2026, 11:31 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Aprovechamiento del Endocarpio de Mango para la Extracción de Pulpas Celulósicas y Primera A....pdf

Tamaño del archivo

1.5 MB

85 páginas

17.501 palabras

102.864 caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▮ Texto citado
- ▮ Texto mencionado
- ▮ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
3 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.