



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TESIS



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**OPCIÓN IX
TESIS**

“Revalorización del bagazo de caña para la extracción y caracterización de
celulosa purificada: Método propuesto”

**Que para obtener el Título de
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA

Ricardo Jaimes Diaz

DIRECTORA:
Dra. Sagnite Ventura Cruz

Mayo de 2026



El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, en el Laboratorio de Instrumental de la División de Ingeniería Ambiental, con apoyo y colaboración académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Colombia.

Este trabajo de investigación fue registrado con el título “Revalorización del bagazo de caña para la extracción y caracterización de celulosa purificada: Método propuesto”, con el número JD/IA/T-262/2026 ante la Academia de Ingeniería Ambiental.

El trabajo se inscribe en la Línea de Investigación: Ingeniería Ambiental y Energías Renovables del Programa de Ingeniería Ambiental del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, bajo la dirección de la Dra. Sagnite Ventura Cruz y el asesoramiento del Dr. Nicolás Flores Álamo.



AGRADECIMIENTOS

Con todo mi amor, agradezco a mis padres Antonia Diaz Carbajal y Margarito Jaimes Garcias por ser el pilar más importante de mi vida. Gracias por todos los sacrificios realizados para darme las herramientas necesarias para salir adelante, por su esfuerzo diario, por sus consejos, por sus enseñanzas y por nunca dejarme sola. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por impulsarme a seguir adelante en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada logro alcanzado. Todo lo que soy y cada meta conseguida también es gracias a ustedes, este logro es para ustedes.

A mi hermanas, gracias por estar presente en este camino, por su cariño, comprensión y apoyo constante. Gracias por motivarme siempre a superarme y por brindarme palabras de aliento cuando más las necesité.

De manera especial, agradezco a la Dra. Sagnite Ventura Cruz por su orientación, apoyo y por motivarme constantemente durante todo el proceso; sin su acompañamiento no habría sido posible llegar hasta aquí. Su impulso me permitió alcanzar metas que consideraba inalcanzables y enfrentar desafíos que, en algún momento, me generaban temor.

Asimismo, agradezco al Dr. Jesús Ortiz Espinoza por guiarme, apoyarme y compartir su conocimiento. Cada enseñanza impartida y cada consejo brindado contribuyeron significativamente a mi formación, ayudándome a crecer tanto en el ámbito académico como personal.

A mi pareja, quiero agradecerle profundamente por acompañarme durante estos cinco años de universidad. Tu amor, paciencia y comprensión me brindaron siempre la fuerza y los ánimos necesarios para salir adelante en cada uno de los retos que se nos presentaron. Gracias por confiar siempre en mí, por permanecer a mi lado después de siete años juntos y por ser un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.



INDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	7
ABSTRAC	8
INTRODUCCIÓN	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
JUSTIFICACIÓN	13
OBJETIVOS	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	15
1. Residuos lignocelulósicos	15
1.1 Celulosa	16
1.2 Hemicelulosa	17
1.3 Lignina	18
1.4. Extracción de celulosa	19
2. Generación de residuos	22
2.1 Bagazo de caña de azúcar	22
2.1.1 Generación	22
2.1.2 Aprovechamiento actual	22
2.1.3 Problemática ambiental	23
2.1.4 Revalorización del bagazo	23
2.1.5 Extracción de celulosa apartir de bagazo de caña	24
3. Técnicas de caracterización	25
3.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR / IR-TF)	25
3.2 Análisis Termogravimétrico (TGA)	25
3.3 Difracción de Rayos X (DRX)	26



3.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	27
CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	29
2.1 Recolección.....	30
2.2 Acondicionamiento del material	30
2.3 Tratamiento químico alcalino propuesto	31
2.4 Caracterización de la celulosa	33
2.4.1 Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier	33
2.4.2 Difracción de rayos X de polvos (DRX).....	33
2.4.3 Análisis térmico.....	34
2.4.4 Microscopia Electrónica de Barrido	34
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	35
3.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR / IR-TF)	35
3.2 Difracción de Rayos X (DRX).....	38
3.1 Análisis Termogravimétrico (TGA).....	39
3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	40
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES.....	44
REFERENCIAS.	45
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición de los principales componentes poliméricos en las paredes celulares de las plantas	15
Figura 2. Estructura de la macromolécula de celulosa.	17
Figura 3. Estructura de la hemicelulosa.	18
Figura 4. Estructura de la lignina.	19
Figura 5. Efecto del pretratamiento en la biomasa lignocelulósica para la extracción de celulosa.	20
Figura 6. Comparación de tratamientos aplicados para la extracción de celulosa a partir de bagazo de caña y su efecto en la cristalinidad del material obtenido.	24
Figura 7. Diagrama general del desarrollo experimental	29
Figura 8. Punto de recolección del bagazo de caña	30
Figura 9. Etapas del proceso experimental: (a) Molienda, (b) tamizado, (c) tratamiento químico, (d) filtración al vacío, (e) blanqueamiento (f) sólido filtrado (g) sólido seco.	32
Figura 10. Cambios físicos del bagazo de caña: (a) previo al tratamiento químico y (b) celulosa obtenida después del proceso de purificación.	35
Figura 11. Espectro infrarrojo de BC y celulosa de bagazo de caña (CPBC).	36
Figura 12. Difractograma de BC y CPBC.	38
Figura 13. Curvas de TGA (a) del bagazo de caña; (b) celulosa purificada de bagazo de agave y (c) celulosa comercial.	39
Figura 14. Imágen SEM a 100 × de aumento.	40
Figura 15. Imágen SEM a 300 × de aumento.	41
Figura 16. Imagen SEM a 1000 x de aumento.	41

RESUMEN

El bagazo de caña de azúcar es un residuo agroindustrial generado durante el proceso de extracción del jugo de la caña para la producción de azúcar y panela. Debido a la alta producción de estos productos, grandes volúmenes de bagazo se generan anualmente, lo que puede ocasionar problemas ambientales y operativos cuando su manejo y disposición no se realizan de manera adecuada. No obstante, este residuo presenta una composición lignocelulósica rica en celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que lo convierte en una materia prima de interés para su aprovechamiento en la obtención de materiales con mayor valor agregado.

En este contexto se plantea la revalorización del bagazo de caña mediante la obtención de celulosa purificada a través de un tratamiento químico. El proceso contempla la aplicación de un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio, con el objetivo de remover parcialmente componentes no celulósicos como lignina y hemicelulosa. Posteriormente, se realizará una etapa de blanqueamiento empleando peróxido de hidrógeno, la cual permitirá mejorar la pureza y las características del material celulósico obtenido.

Finalmente, la celulosa purificada será caracterizada mediante diversas técnicas analíticas, entre ellas espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), difracción de rayos X (DRX), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopía electrónica de barrido (SEM), con el fin de evaluar sus propiedades estructurales, morfológicas y térmicas. A través de este enfoque, el estudio busca promover el aprovechamiento sostenible de residuos agroindustriales, contribuyendo al desarrollo de materiales derivados de biomasa y al fortalecimiento de estrategias orientadas a la economía circular y la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Celulosa, residuos lignocelulósicos, revalorización, tratamiento químico.

ABSTRAC

Sugarcane bagasse is an agro-industrial residue generated during the extraction of sugarcane juice for the production of sugar and panela (unrefined cane sugar). Due to the high production of these products, large volumes of bagasse are generated annually, which can cause environmental and operational problems if its handling and disposal are not carried out properly. However, this residue has a lignocellulosic composition rich in cellulose, hemicellulose, and lignin, making it a valuable raw material for obtaining higher value-added materials.

In this context, this study proposes the valorization of sugarcane bagasse by obtaining purified cellulose through a chemical treatment. The process involves applying an alkaline treatment with sodium hydroxide to partially eliminate non-cellulosic components such as lignin and hemicellulose. Subsequently, a bleaching stage using hydrogen peroxide will be carried out to improve the purity and characteristics of the resulting cellulosic material.

Finally, the purified cellulose will be analyzed using various techniques, including Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA), and scanning electron microscopy (SEM), to evaluate its structural, morphological, and thermal properties. Through this approach, the study aims to promote the sustainable use of agro-industrial waste, contributing to the development of biomass-derived materials and strengthening strategies geared toward a circular economy and environmental sustainability.

Keywords: Cellulose, lignocellulosic waste, valorization, chemical tree

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, uno de los principales desafíos a nivel mundial es la disminución del impacto ambiental generado por las actividades humanas, particularmente aquellas relacionadas con la explotación intensiva de recursos naturales y la generación constante de residuos sólidos industriales y agroindustriales. El crecimiento poblacional, la expansión de los sectores productivos y el aumento en la demanda de bienes de consumo han provocado una presión considerable sobre los ecosistemas, favoreciendo problemas como contaminación del suelo, agua y aire, así como el agotamiento progresivo de materias primas no renovables. Ante esta situación, la búsqueda de alternativas sostenibles basadas en el aprovechamiento integral de residuos se ha convertido en una necesidad prioritaria para avanzar hacia modelos productivos más responsables y eficientes (Cano-Martínez et al., 2024)

En este contexto, los residuos agroindustriales representan una fuente importante de biomasa renovable con potencial para ser transformada en materiales, energía y productos de alto valor agregado. Estos residuos, generados durante el procesamiento de cultivos agrícolas, poseen características fisicoquímicas que permiten su reutilización mediante diferentes tecnologías. Su aprovechamiento no solo contribuye a disminuir los problemas ambientales asociados con su disposición final, sino que también promueve estrategias de economía circular al reincorporarlos en nuevas cadenas de valor productivo.

Entre las actividades agroindustriales más relevantes se encuentra la producción de caña de azúcar, cultivo ampliamente distribuido en regiones tropicales y subtropicales debido a su importancia económica y social. La caña de azúcar se destina principalmente a la elaboración de azúcar y alcohol, aunque también permite obtener múltiples derivados como bebidas de consumo local, productos alimenticios, abonos orgánicos, alimento para ganado, energía alternativa y biocombustibles. Durante su procesamiento industrial se generan diversos subproductos, entre los cuales destaca el bagazo de caña de azúcar, considerado

uno de los residuos lignocelulósicos más abundantes de esta industria (Pérez Murillo et al., 2022)

El bagazo de caña de azúcar corresponde al residuo fibroso que permanece después de la molienda de los tallos y la extracción del jugo. Se estima que este subproducto representa aproximadamente entre el 28 y 32 % de la caña procesada, lo que evidencia el gran volumen generado anualmente en países productores. Debido a estas cantidades considerables, su manejo adecuado constituye un aspecto relevante tanto desde el punto de vista ambiental como económico. Tradicionalmente, una parte importante del bagazo se emplea como combustible en calderas para la generación de vapor y energía eléctrica dentro de los ingenios azucareros, mientras que otra fracción se destina a la fabricación de papel, tableros aglomerados y otros materiales. Sin embargo, una proporción aún significativa continúa desaprovechándose o se almacena sin un uso específico, lo que puede ocasionar problemas asociados con acumulación de residuos y contaminación ambiental (García-Torres et al., 2011)

Desde una perspectiva estructural, el bagazo de caña es una biomasa lignocelulósica compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Estas macromoléculas naturales conforman la pared celular vegetal y son responsables de otorgar rigidez, soporte y resistencia mecánica a la planta. La composición química del bagazo puede variar según factores como la variedad de caña, condiciones climáticas, madurez del cultivo y tipo de procesamiento industrial. No obstante, se ha reportado que en base seca puede contener aproximadamente 32 % de celulosa, 37.5 % de hemicelulosa y 18 % de lignina (Ramos Buste & Suárez Neira, 2026)

Otros estudios indican composiciones cercanas al 50 % de celulosa, 25 % de hemicelulosa y 25 % de lignina, lo que confirma que este residuo posee un elevado contenido celulósico y, por tanto, un importante potencial como materia prima renovable para procesos de transformación química e industrial (Domínguez et al., 2012)

La celulosa es el biopolímero natural más abundante en la Tierra y uno de los principales componentes estructurales de las plantas. Está formada por cadenas lineales de unidades de glucosa unidas mediante enlaces $\beta(1 \rightarrow 4)$, lo que le confiere propiedades destacadas como alta resistencia mecánica, biodegradabilidad, biocompatibilidad, estabilidad química relativa y capacidad para formar estructuras cristalinas. Gracias a estas características, la celulosa ha adquirido gran importancia en sectores industriales como el papelerero, textil, farmacéutico, alimentario, cosmético, biomédico y en la fabricación de materiales compuestos. (Gil et al., 2022).

No obstante, la celulosa presente en residuos lignocelulósicos no se encuentra de forma aislada, sino asociada estrechamente con lignina, hemicelulosa, ceras, extractivos y otras impurezas. Por ello, para su aprovechamiento industrial resulta necesario aplicar tratamientos que permitan separar y remover dichos componentes no celulósicos, incrementando así el grado de pureza del material. Entre los métodos más utilizados se encuentran los tratamientos alcalinos, oxidativos y etapas sucesivas de blanqueamiento, los cuales favorecen la deslignificación y la eliminación parcial o total de hemicelulosa (Ojeda-Sánchez, J. A etv al., 2024)

En los últimos años ha aumentado el interés en la revalorización del bagazo de caña debido a que este residuo puede emplearse para la producción de bioetanol, materiales carbonosos, pulpa celulósica, papel, bioplásticos, refuerzos poliméricos y otros biomateriales sostenibles. De esta manera, su transformación representa una oportunidad para sustituir materias primas convencionales de origen fósil o no renovable, reduciendo al mismo tiempo la carga ambiental asociada a su disposición final.

En este sentido, la obtención de celulosa purificada a partir de bagazo de caña constituye una alternativa tecnológica de alto interés, ya que permite transformar un residuo abundante y de bajo valor comercial en un producto con múltiples aplicaciones potenciales. Además, este enfoque contribuye al uso eficiente de recursos renovables, al fortalecimiento de procesos industriales sostenibles y al impulso de estrategias de economía circular en el sector agroindustrial



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agroindustria azucarera genera grandes cantidades de bagazo de caña como residuo del proceso de extracción de jugos. Aunque una parte de este material es utilizada como combustible o materia prima secundaria, una proporción significativa se acumula sin un aprovechamiento integral, lo que puede ocasionar problemas ambientales, operativos y económicos asociados a su almacenamiento y disposición inadecuada. La acumulación prolongada del bagazo favorece procesos de degradación, generación de contaminantes y riesgos como el autocombustión, afectando tanto al entorno como a las instalaciones industriales.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, el bagazo de caña posee una composición lignocelulósica rica en celulosa, lo que representa una oportunidad para su revalorización y transformación en productos de mayor valor agregado. Sin embargo, la presencia de lignina, hemicelulosa y otros compuestos limita su aprovechamiento directo, por lo que se requiere la aplicación de métodos químicos eficientes que permitan aislar celulosa con un grado adecuado de pureza y cristalinidad.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar y evaluar un tratamiento químico que permita remover los componentes no celulósicos del bagazo de caña y obtener celulosa purificada con características estructurales y morfológicas adecuadas. De no implementarse alternativas de valorización, se continuará desaprovechando un residuo con alto potencial industrial y ambiental, perpetuando problemas asociados a su disposición y limitando el desarrollo de materiales sostenibles derivados de biomasa.

JUSTIFICACIÓN

La generación de bagazo de caña representa un reto para las industrias productoras así como de quienes manejan este residuo, debido a que su acumulación puede provocar problemas ambientales, riesgos operativos y altos costos asociados a su almacenamiento o disposición adecuada. Cuando este residuo es acumulado en grandes volúmenes, durante periodos prolongados, pueden presentarse condiciones de auto-calentamiento que incrementan la probabilidad de incendios, afectando la seguridad y el funcionamiento normal de las instalaciones

Por otra parte, una de las prácticas que se emplean para reducir los volúmenes de este residuo es utilizarlo como combustible dentro del proceso de producción de la panela. Durante este proceso se generan contaminantes atmosféricos como material particulado, gases como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), lo cual contribuye al deterioro de la calidad del aire en zonas cercanas (*Millones-Chapoñan et al., 2023*).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición continua a partículas en suspensión en el aire especialmente a las de menor tamaño, como las que se generan durante la combustión de estos residuos agrícolas se asocia con un aumento en enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

En este sentido, la revalorización del bagazo de caña mediante la extracción de celulosa purificada resulta una opción viable que permite transformar un residuo agroindustrial en una materia prima con alto potencial para generar productos de mayor valor agregado, reduciendo la cantidad de desecho acumulado y favoreciendo un aprovechamiento más eficiente de los recursos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener celulosa purificada a partir de bagazo de caña mediante un tratamiento químico y caracterizarla mediante espectroscopía infrarroja (IR-TF) y microscopía electrónica de barrido, con el fin de conocer su estructura y morfología.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar un método propuesto para la obtención de celulosa purificada de bagazo de caña para evaluar el efecto en el índice de cristalinidad.
- Realizar la caracterización del material vegetal acondicionado y de la celulosa obtenida y purificada empleando técnicas como Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Análisis Termogravimétrico (TGA), con el propósito de identificar los grupos funcionales presentes, analizar el grado de cristalinidad y evaluar la estabilidad térmica del material.
- Establecer condiciones de operación óptimas que contribuyan a mejorar la calidad del material obtenido y que, a su vez, faciliten su posible escalamiento o implementación a nivel industrial.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1. Residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos corresponden a la biomasa residual de origen vegetal generada en procesos agrícolas o agroindustriales, cuya estructura está formada principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La proporción de estos componentes depende del tipo de biomasa y del proceso de obtención del residuo asimismo, el arreglo entre ellos dentro de la pared celular vegetal origina una matriz compleja que define sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas (Oviedo, A. & Vinueza, J., 2020).

La estructura de los residuos lignocelulósicos está constituida por microfibrillas de celulosa rodeadas por hemicelulosa y lignina, formando una red tridimensional altamente organizada. Como se muestra en la *Figura 1*. En esta disposición, la hemicelulosa funciona como una matriz amorfa de enlace entre las microfibrillas, mientras que la lignina actúa como un agente cementante natural que proporciona rigidez, protección y resistencia térmica al material vegetal (Isikgor, F. H. & Becer, C. R., 2016).

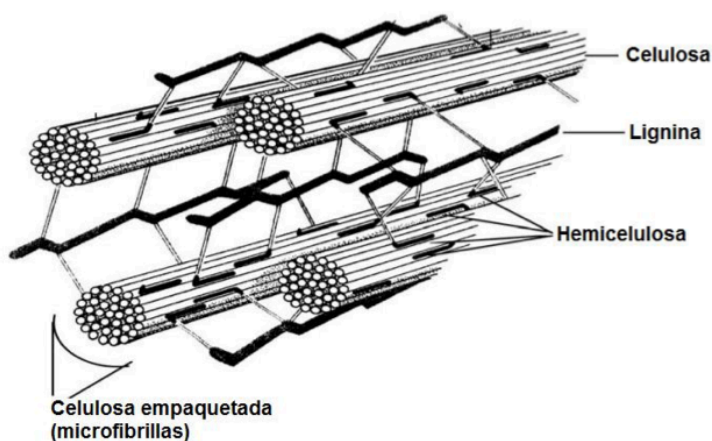


Figura 1. Disposición de los principales componentes poliméricos en las paredes celulares de las plantas

De manera general, la composición de estos residuos suele encontrarse en intervalos aproximados de 40–50 % de celulosa, 20–30 % de hemicelulosa y 15–30 % de lignina, aunque estos valores pueden variar según la fuente lignocelulósica. En la *Tabla 1* se muestra el contenido de diferentes residuos lignocelulósicos.

Tabla 1. *Contenido de componentes en los residuos lignocelulósicos.*

Residuo	Porcentaje de componentes			Referencia
	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	
Tallo de cañamo	37.53	13.17	10.85	(Labrador, H. & Osto, S., 2021)
Platano	48.40	12.57	3.63	(Villegas-González, E. E. et al., 2023)
Piña	56.94	13.94	12.2	(Quintero-Quintana, M. C. et al., 2023)
Cacao	34.4	11.75	43.6	(Díaz-Oviedo, A. F. et al., 2022)
Bagazo de caña	42.91	27.92	9.74	(Resano, D. et al., 2022)

1.1 Celulosa

Es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza, de gran importancia a nivel biológico y un polímero de interés industrial. Químicamente es un polímero de la D-glucosa que se unen entre sí por enlaces β -1,4; disposición que la hace estable, además de poseer enlaces de hidrógeno que une sus moléculas entre sí, confiriéndole sus conocidas propiedades como material estructural de la pared celular (Jakob, M. et al., 2022).

Como se muestra en la *Figura 2* la estructura de la macromolécula de celulosa presenta una fórmula general de $(C_6H_{10}O_5)_n$ la cual tiene una densidad aproximada de 1.50 g/cm^3 . La estructura macromolécula de la celulosa esta conformada por millones de unidades de glucosa dependiendo de su fuente. Los grupos $-OH$ en la cadena de celulosa forman enlaces de hidrógeno entre las moléculas. Estos enlaces forman paquetes de estructuras cristalinas llamadas microfibrillas, que son las que construyen las fibras de celulosa. (González-Sánchez, M. E. et al., 2015)

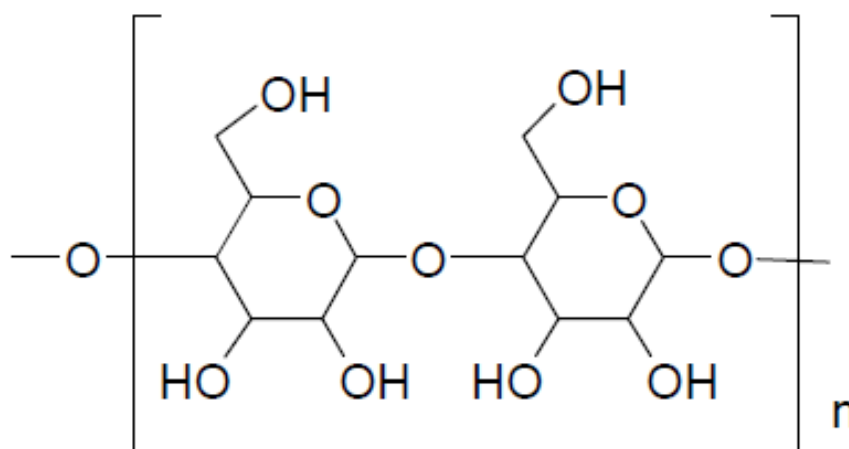


Figura 2. Estructura de la macromolécula de celulosa.

1.2 Hemicelulosa

En la *Figura 3* se muestra la estructura de la hemicelulosa, la cual es un heteropolisacárido presente en la pared celular de las plantas. Es el segundo componente importante de la madera. Esta se caracteriza por estar constituida de cadenas cortas y ramificadas formadas por azúcares solubles en agua y no solo por glucosa como la celulosa, haciendo una estructura menos ordenada en comparación con la celulosa (Hernández-Hernández, R. N. et al., 2021).

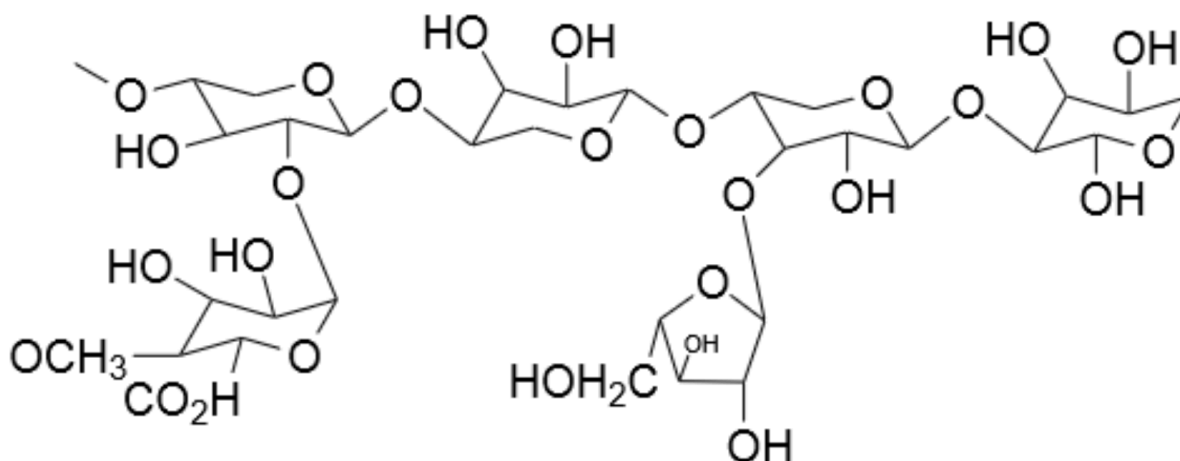


Figura 3. Estructura de la hemicelulosa.

1.3 Lignina

La lignina es un heteropolímero de naturaleza no polisacáridica presente en la pared celular de los vegetales, formado principalmente por compuestos aromáticos provenientes de unidades de fenilpropano. Desde el punto de vista estructural, desempeña la función de unir las fibras celulares, aportando mayor compactación, rigidez y resistencia mecánica a la planta (Suárez Matallana et al., 2022).

Su función principal consiste en formar parte de la lamela media, donde actúa como un adhesivo natural que mantiene unidas las fibras vegetales. Además, debido a su naturaleza hidrofóbica, contribuye al transporte eficiente del agua hacia las zonas superiores de la planta (Zabala, R. et al., 2025).

La lignina presenta mayor solubilidad en medios alcalinos; sin embargo, según su comportamiento en soluciones ácidas, puede clasificarse en fracciones soluble e insoluble. Después de los polisacáridos, es el polímero orgánico más abundante del reino vegetal y cumple una función esencial en la protección frente a la humedad y a diversos agentes atmosféricos (Zabala, R. et al., 2025).

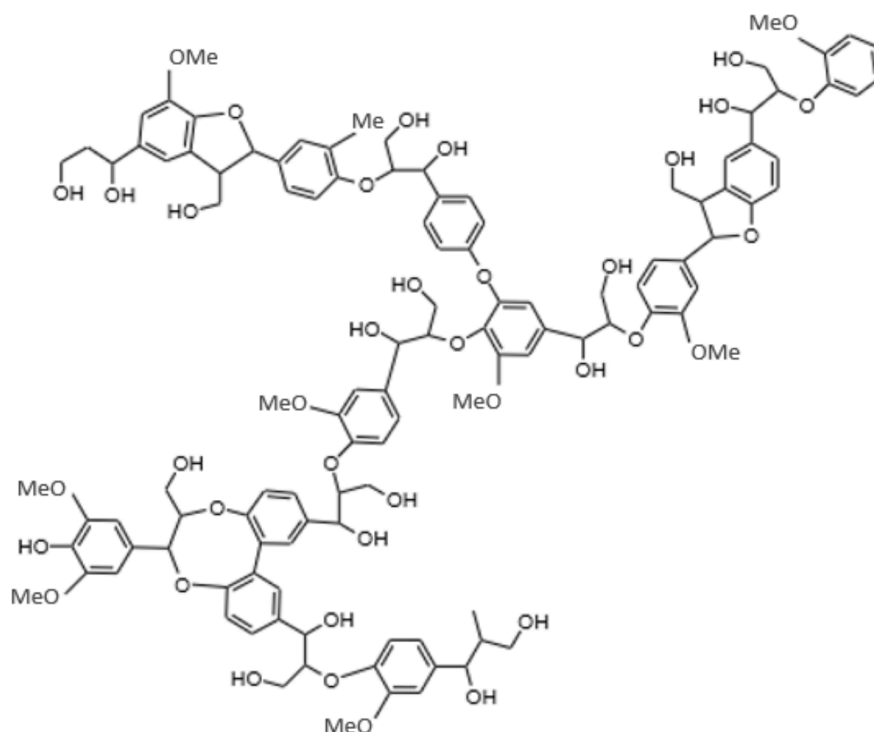


Figura 4. Estructura de la lignina.

1.4. Extracción de celulosa

La extracción de celulosa es un proceso cuyo objetivo es aislar las fibras celulósicas contenidas en la biomasa lignocelulósica mediante la remoción de componentes como lignina, hemicelulosa, ceras y extractivos. Este procedimiento permite obtener un material con mayor grado de pureza y mejores propiedades para su aprovechamiento en aplicaciones industriales y de materiales avanzados (Chen, H. et al., 2017).

Como se muestra en la *Figura 5*, la celulosa se encuentra inmersa en una matriz compacta rodeada por lignina y hemicelulosa, las cuales dificultan su separación. Durante el pretratamiento se lleva a cabo la ruptura parcial de esta estructura, logrando liberación de las fibras de celulosa para etapas posteriores de purificación.

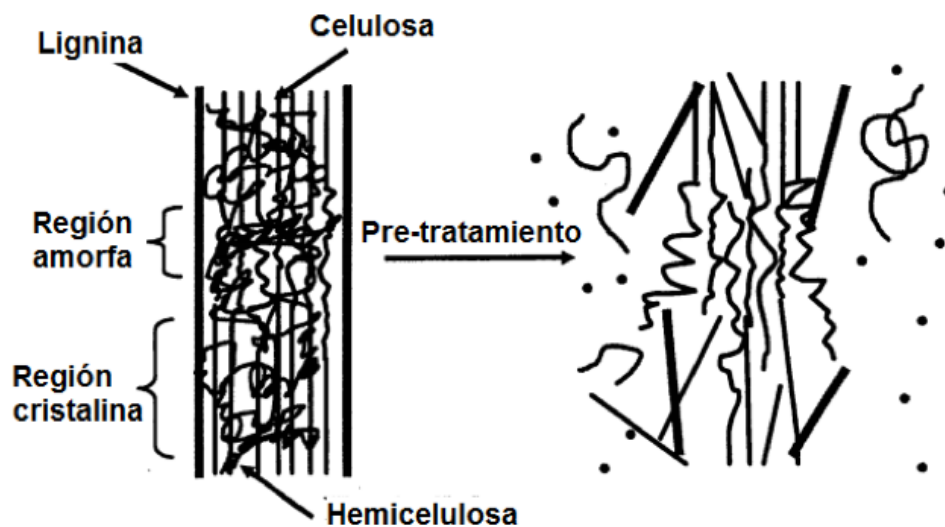


Figura 5. Efecto del pretratamiento en la biomasa lignocelulósica para la extracción de celulosa.

Para la extracción de celulosa se han desarrollado diversos métodos, los cuales pueden clasificarse de manera general en mecánicos, químicos, biológicos y fisicoquímicos. La selección del método depende del tipo de residuo, rendimiento esperado, pureza requerida y viabilidad económica del proceso. En la *Tabla 2* se presentan distintos tratamientos aplicados a diferentes residuos lignocelulósicos.

Tabla 2. Comparación de tratamientos aplicados a diferentes residuos lignocelulósicos.

Residuo	Tratamiento	Reactivo	Porcentaje de celulosa		Referencia
			ST	CT	
Tallo de cañamo	Químico	NaOH/ H ₂ O ₂	37	72	(Solís García, H. et al., 2025)
Piña	Químico	H ₂ O ₂ / NaOH/ Na ₂ SiO ₃ / Na ₂ CO ₃	56.94	77.52	(Quintero-Quintana, M. C. et al., 2023)
Palma africana	Mecánico	NaOH/ C ₂ H ₄ O ₂	31.4	58	(Jirón-García, E. G. et al., 2022)
Bagazo de caña	Mecánico	NaOH/ C ₂ H ₄ O ₂	30.4	60	(Jirón-García, E. G. et al., 2022)
Cascaras de cafe	Enzimático	<i>Aspergillus niger</i>	36	42	(Florian, E. D. M. et al., 2025)

ST: Sin Tratamiento, CT: Con tratamiento

2. Generación de residuos

Los residuos agroindustriales son materiales sólidos o semisólidos generados como subproductos durante las actividades agrícolas y en el procesamiento industrial de materias primas de origen vegetal o animal. Entre ellos se incluyen bagazo, pajas, cáscaras, pulpas, semillas, residuos de frutas y hortalizas. La generación de estos residuos ocurre en grandes volúmenes a nivel mundial como consecuencia del incremento en la producción agrícola y alimentaria. Se estima que las industrias basadas en la agricultura producen alrededor de 1.3 mil millones de toneladas de residuos cada año (*Prado-Acebo, I. et al., 2024*).

2.1 Bagazo de caña de azúcar.

El bagazo de caña es el residuo fibroso que se obtiene después de la extracción del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) durante los procesos de producción de azúcar, panela, alcohol y otros derivados. Este subproducto está compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por lo que es considerado una biomasa lignocelulósica con amplio potencial para aplicaciones energéticas, químicas y de materiales (*Mahmud, M. A. et al., 2021*).

2.1.1 Generación

En cuanto a su disponibilidad, la producción mundial de caña de azúcar alcanzó aproximadamente 1.8 mil millones de toneladas en 2021. Del total producido, 51.7% correspondió al continente americano, destacando Brasil como principal productor con alrededor de 715 millones de toneladas, mientras que 41.4% se generó en Asia, 5.1 % en África y 1.8% en Oceanía. Se estima que por cada tonelada de caña procesada se generan alrededor de 135 kg de bagazo, lo que representa una importante fuente de material lignocelulósico disponible a nivel mundial (*Hiranobe, C. T. et al., 2024*).

2.1.2 Aprovechamiento actual

Actualmente, cerca del 70 % de este residuo se utiliza como combustible en calderas dentro de la industria azucarera para la generación de calor, vapor y

energía eléctrica, aunque también existe un creciente interés por su valorización en productos de mayor valor agregado (*Hiranobe, C. T. et al., 2024*).

2.1.3 Problemática ambiental

La elevada generación de bagazo de caña representa un desafío ambiental cuando no se cuenta con estrategias adecuadas para su manejo y aprovechamiento. La acumulación de este residuo en áreas de almacenamiento puede favorecer procesos de descomposición biológica, generación de olores, proliferación de microorganismos y ocupación de grandes espacios dentro de las instalaciones industriales. Además, su alto contenido de humedad dificulta el almacenamiento prolongado y puede acelerar procesos de deterioro del material (*Kamboj, A. et al., 2024*).

Estudios recientes reportan que durante su combustión se liberan compuestos como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas finas, las cuales pueden afectar la calidad del aire y contribuir a problemas respiratorios y al incremento de gases de efecto invernadero (*Costa, M. A. M. et al., 2023*).

2.1.4 Revalorización del bagazo

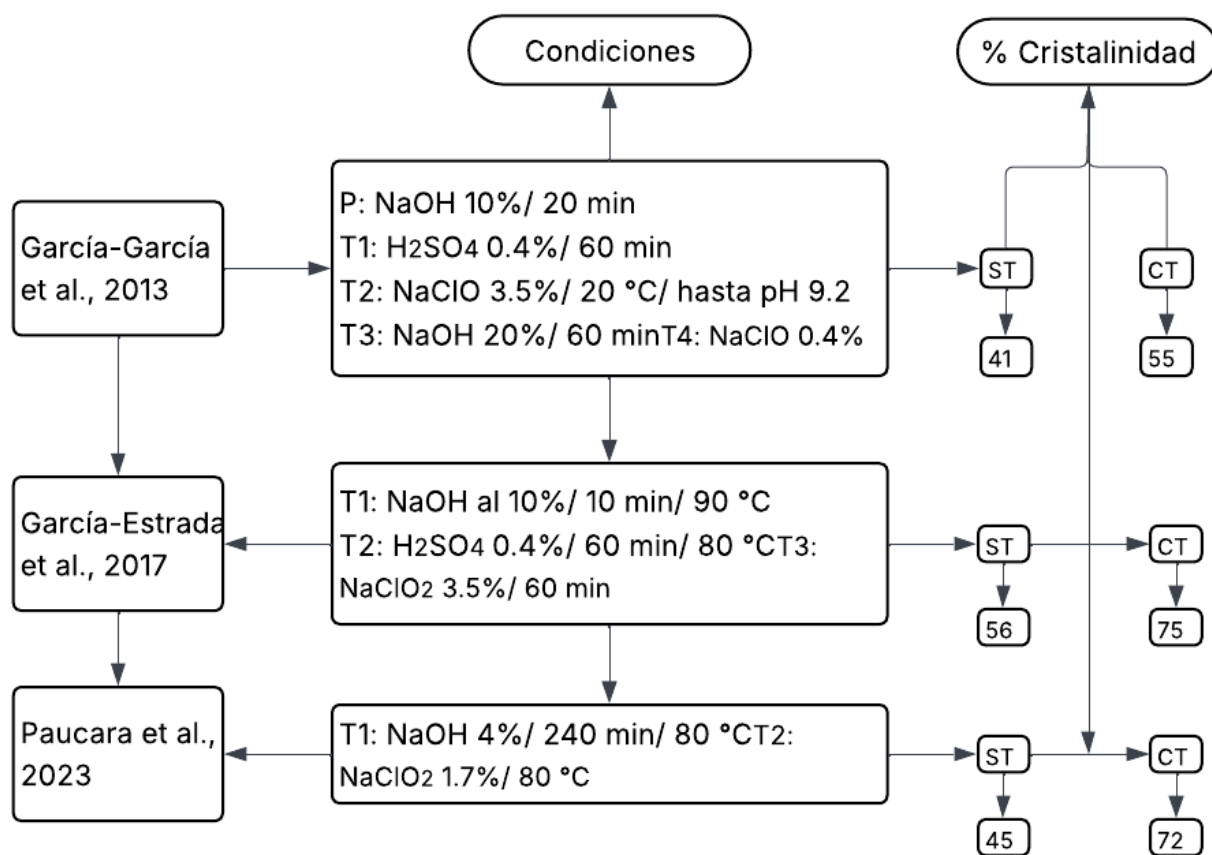
Diversas investigaciones han reportado la revalorización del bagazo de caña mediante su transformación en productos de interés industrial y agrícola. Culqui et al. (2023) señalan que este residuo posee una composición aproximada de 38.4 % de celulosa, 23.2 % de hemicelulosa y 25 % de lignina, características que favorecen su aprovechamiento en la producción de biocombustibles, como el bio-butanol, obtenido mediante fermentación acetona-butanol-etanol (ABE) a partir de microorganismos del género *Clostridium*.

Asimismo, Rosas-Calleja et al. (2016) mencionan que los residuos generados en la industria azucarera pueden emplearse en procesos de compostaje y vermicompostaje para la obtención de abonos orgánicos y mejoradores de suelos

agrícolas, aportando valor agregado a estos subproductos y promoviendo alternativas sostenibles de manejo. Estos antecedentes evidencian el potencial del bagazo de caña como materia prima para procesos de revalorización dentro de esquemas de economía circular.

2.1.5 Extracción de celulosa apartir de bagazo de caña

Como se evidencia en la *Figura 6*, diversos estudios han reportado la obtención de celulosa a partir de bagazo de caña mediante la aplicación de distintos tratamientos químicos, evaluando su efecto sobre el índice de cristalinidad del material obtenido.



ST: Sin Tratamiento, CT: Con tratamiento, T: Tratamiento, P: Pretratamiento

Figura 6. Comparación de tratamientos aplicados para la extracción de celulosa a partir de bagazo de caña y su efecto en la cristalinidad del material obtenido.

3. Técnicas de caracterización

Las técnicas de caracterización corresponden a un conjunto de métodos analíticos utilizados para determinar las propiedades químicas, estructurales, morfológicas y térmicas de un material. En el caso de la celulosa obtenida a partir de biomasa lignocelulósica, estas herramientas permiten evaluar la eficiencia de los tratamientos aplicados, así como verificar cambios en su composición, grado de cristalinidad, estabilidad térmica y superficie fibrosa. Chakraborty et al. (2022) señalan que las técnicas instrumentales son fundamentales para comprender el comportamiento fisicoquímico de materiales celulósicos y establecer su potencial de aplicación.

3.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR / IR-TF)

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés) es una técnica analítica ampliamente utilizada para estudios estructurales moleculares y la identificación de compuestos orgánicos. Su fundamento se basa en la interacción de la radiación infrarroja con los enlaces químicos presentes en una molécula, provocando vibraciones características que son registradas en forma de espectro. Dentro de esta técnica, la región del infrarrojo medio comprende aproximadamente el intervalo de **4000 a 400 cm⁻¹**, siendo la más empleada para el análisis químico debido a que coincide con las frecuencias vibratorias naturales de numerosos grupos funcionales (*Hong, T. et al., 2021*).

3.2 Análisis Termogravimétrico (TGA)

Es una técnica de análisis térmico que permite medir la variación de masa de una muestra en función de la temperatura o del tiempo bajo una atmósfera controlada. Esta metodología proporciona información sobre procesos como pérdida de humedad, volatilización, descomposición térmica y formación de residuos, por lo que es ampliamente utilizada para evaluar la estabilidad térmica y composición de diversos materiales (*Cai, J. et al., 2018*).

En materiales lignocelulósicos, esta técnica permite identificar las diferentes etapas de degradación asociadas a sus componentes estructurales, razón por la cual ha sido ampliamente empleada en estudios de fibras y celulosa extraída de residuos agroindustriales.

El comportamiento térmico reportado en diferentes materiales lignocelulósicos presenta tendencias similares durante el análisis termogravimétrico. López Velázquez et al. (2020) informaron que la microcelulosa obtenida de residuos de caña de azúcar mostró una primera pérdida de masa cercana al 4% a 100 °C, atribuida a la evaporación de humedad. Posteriormente, entre 200 y 300 °C se observó una pérdida del 36%, asociada a la degradación de la celulosa, seguida de una tercera etapa entre 300 y 500 °C con una pérdida adicional del 10%, quedando un 50% de material como cenizas.

De manera similar, Villegas-González et al. (2023) reportaron en fibras de celulosa obtenidas de pseudotallo de banano una primera pérdida entre 30 y 120°C relacionada con humedad retenida. Posteriormente, entre 200 y 400 °C se presentó una caída brusca de masa atribuida a hemicelulosa y lignina, mientras que por encima de 400 °C se registró la degradación final de la celulosa.

Por otra parte, Juárez-Méndez et al. (2023) analizaron fibras de celulosa extraídas del tallo de cáñamo, observando una pérdida inicial de masa del 5 % hasta 74 °C. Posteriormente, una degradación térmica de la celulosa entre 249 y 360 °C quedando un 19% de residuo. Finalmente, se identificó una tercera etapa entre 366 y 500 °C, donde el residuo disminuyó hasta 5 %.

3.3 Difracción de Rayos X (DRX)

Es un método analítico que permite obtener información sobre la estructura de las sustancias a nivel atómico y el grado de ordenamiento de sus componentes. Esta técnica se basa en el análisis del patrón de difracción generado cuando un haz de rayos X interactúa con la muestra, esta se divide en dos fases, asumiendo que una de ellas es cristalina y la otra es amorfa. Esta técnica es ampliamente utilizada en materiales

celulósicos para evaluar cambios en su organización cristalina después de distintos tratamientos químicos o mecánicos (Vydrina, I. et al., 2023).

A través de esta técnica, diversos estudios han evidenciado que los tratamientos de extracción y purificación incrementan el índice de cristalinidad al remover hemicelulosa, lignina y otras fracciones amorfas. Paucara et al. (2023) reportaron en residuos de hoja de maíz un aumento de 36.5 % en la muestra sin tratar a 54.54 % después del tratamiento químico. Presenda-Gerónimo et al. (2020) informaron que residuos de piña incrementaron su cristalinidad de 41.2 % a 71.4 % tras la obtención de celulosa. Asimismo, García-García et al. (2013) señalaron que el bagazo de caña presentó un incremento de 41 % a 55 % después de la extracción de celulosa microcristalina.

3.4 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

El análisis morfológico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) ha permitido evidenciar cambios significativos en la estructura de la celulosa tras los tratamientos químicos. De acuerdo con Yong et al. (2024) la celulosa microcristalina obtenida a partir de residuos lignocelulósicos presentó una morfología caracterizada por la formación de agregados y partículas de tipo microesférico o granular, con superficies irregulares y tamaños variables, producto de la remoción de lignina y hemicelulosa durante los procesos de pretratamiento y posterior hidrólisis. Estos autores observaron que la eliminación de componentes amorfos favorece la reorganización de la celulosa, dando lugar a estructuras más compactas y aglomeradas, en contraste con la disposición fibrosa del material original .

De manera similar, Herawan et al. (2018) señalaron que la celulosa, tras procesos mecánicos y químicos, puede presentar una transición de una estructura fibrilar a partículas finas e irregulares con tendencia a la aglomeración, lo cual está directamente relacionado con la fragmentación de las fibras y la exposición de regiones cristalinas

En el estudio realizado por García et al. (2021), el análisis morfológico mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) permitió observar cambios significativos en la estructura de las fibras lignocelulósicas de cáscara de sandía. En las



micrografías se evidenció un proceso de desfibrilación de las fibras celulósicas como resultado de la hidrólisis con ácido sulfúrico posterior a la molienda mecánica. Asimismo, la presencia de una superficie más rugosa indica la eliminación de compuestos amorfos, principalmente lignina y hemicelulosa, lo cual favorece la exposición de la estructura celulósica.

CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En la *Figura 7* se presenta el esquema general del desarrollo experimental para la obtención de celulosa a partir del bagazo de caña.

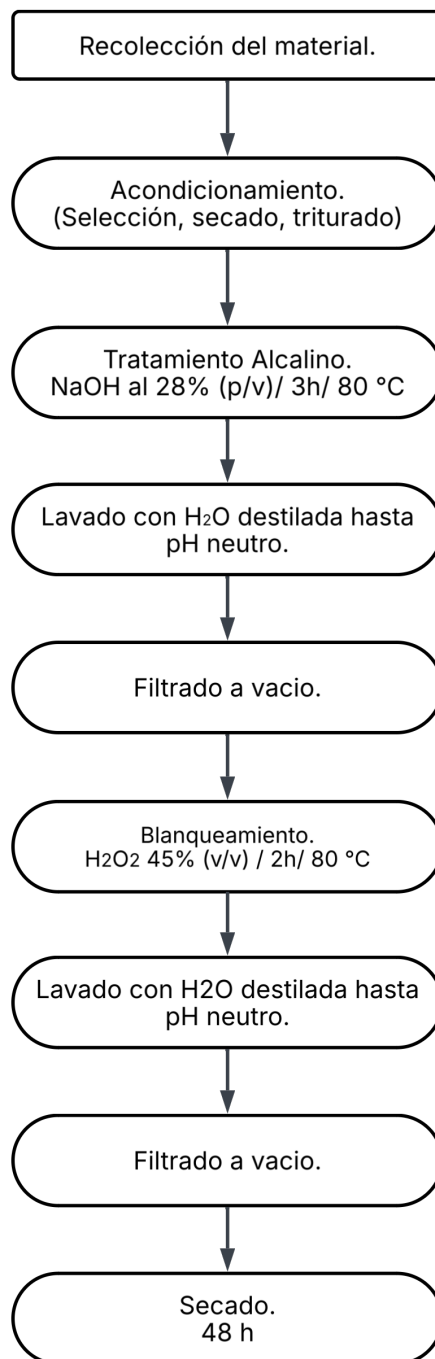


Figura 7. Diagrama general del desarrollo experimental

2.1 Recolección

El bagazo de caña se obtuvo de una productora de piloncillo ubicada en Ocaña, Norte de Santander, Colombia ($8^{\circ}14'29.6''N$, $73^{\circ}19'05.1''W$).



Figura 8. Punto de recolección del bagazo de caña

2.2 Acondicionamiento del material

El material se seleccionó manualmente para retirar impurezas y descartar fragmentos con signos de degradación.

Posteriormente se cortó en secciones de aproximadamente 5 cm de largo y se secó en una incubadora a $60^{\circ}C$ durante 24 h. El bagazo fue sometido a un proceso de molienda en molino, seguido de un tamizado mediante malla #100, posteriormente, el material resultante se recolectó y se almacenó para su posterior tratamiento (Figura 9a y 9b).

2.3 Tratamiento químico alcalino propuesto

Con el propósito de remover parcialmente la lignina y hemicelulosa presentes en el bagazo, 30 g de muestra acondicionada se colocaron en un vaso de precipitado de 250 mL y se adicionó una disolución de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 28 % (p/v). La mezcla se mantuvo bajo agitación constante en parrilla de calentamiento a 80 °C durante 3 h. Finalizado el tratamiento, el material fue lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro para eliminar el exceso de reactivo. Posteriormente, la muestra fue sometida a filtrado al vacío con el fin de separar la fase sólida del licor negro.

El sólido recuperado fue sometido a una etapa de blanqueamiento con una disolución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 15 % (v/v). La mezcla se mantuvo bajo agitación constante en parrilla de calentamiento a 80 °C durante 2 h. Al finalizar la hidrólisis, la muestra se lavó con agua destilada hasta pH neutro y posteriormente se realizó un nuevo filtrado al vacío para recuperar la fracción sólida purificada (*Figura 9e*). Finalmente, el material obtenido se colocó en una bandeja y se dejó secar durante 48h. Una vez seco, el producto final fue recolectado, etiquetado y almacenado para su posterior caracterización (*Figura 9g*). Este tratamiento se repitió por triplicado.

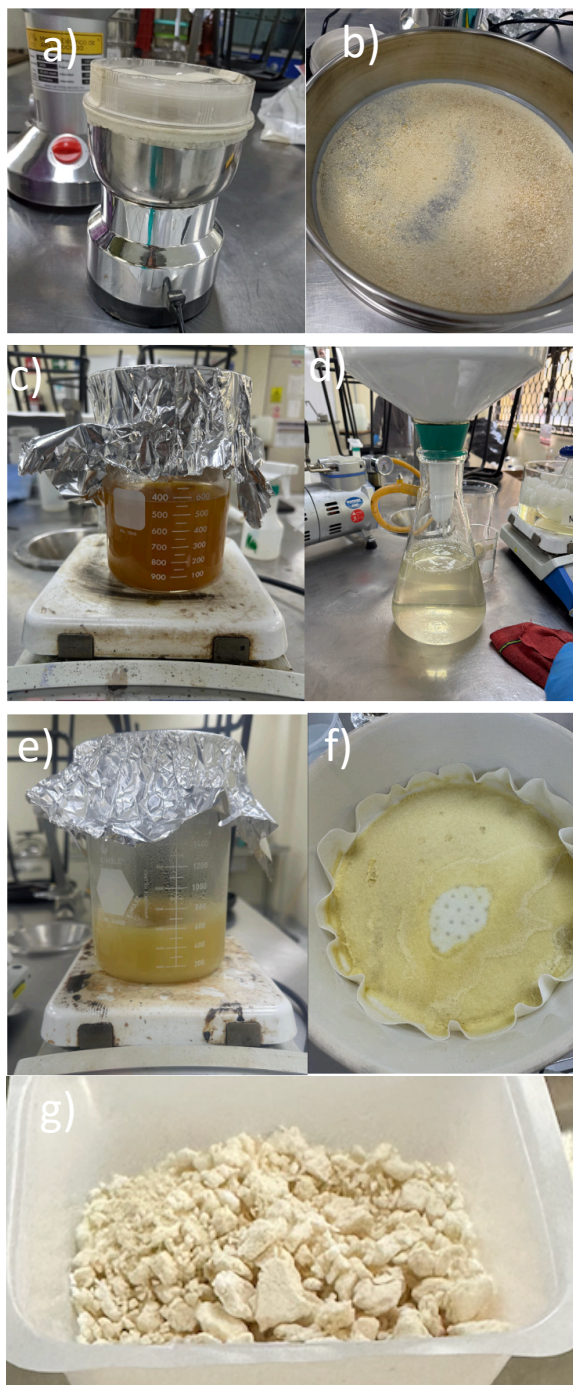


Figura 9. Etapas del proceso experimental: (a) Molienda, (b) tamizado, (c) tratamiento químico, (d) filtración al vacío, (e) blanqueamiento (f) sólido filtrado (g) sólido seco.

2.4 Caracterización de la celulosa

Para la cuantificación de la celulosa se siguió el siguiente método: en tubos de centrifuga con tapones de rosca se colocaron 30 mg de muestra, celulosa de bagazo de caña, y 3 mL de una mezcla de ácido acético/agua desionizada/ácido nítrico (72 /18 /10 %, respectivamente). La mezcla se calentó en un baño de agua hirviendo durante 30 min, los tubos se agitaron esporádicamente. Trascurrido este tiempo, las suspensiones se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente fueron centrifugadas (Hermle Z200A, Labnet, Alemania) a 4000 rpm por 3 min.

El sobrenadante se desechó y el precipitado se recuperó con 5 mL de agua desionizada, se centrifugó nuevamente a 4000 rpm por 3 minutos, este paso se repitió una vez más. El precipitado se recuperó con 2.5 mL de ácido sulfúrico al 72 % y se mezcló durante 1 h con un agitador de vórtice (Cole-Parmer, USA) cada 10 min. Finalmente, la suspensión se enfrió a temperatura ambiente y se aforó hasta 10 mL con agua destilada.

Para la determinación de celulosa se agregaron 10 μ L de la suspensión de cada muestra, 390 μ L de agua desionizada y 1 mL de una disolución con 0.2 g de antrona en 100 mL de ácido sulfúrico concentrado en tubos de ensayo con tapones de rosca. En un baño de agua hirviendo se colocaron los tubos por 15 min.

2.4.1 Espectrometría infrarroja por transformada de Fourier

Para determinar la presencia de grupos funcionales y sus posibles cambios en las diferentes etapas de tratamiento, los análisis se realizaron en un espectrómetro (FTIR / FIR Spectrum 400 Perkin-elemer, USA) y la intensidad de las señales fue recolectada en un intervalo de 500 a 4000 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} y sesenta y cuatro escaneos por muestra.

2.4.2 Difracción de rayos X de polvos (DRX)

Para conocer la cristalinidad y la presencia de patrones de difracción durante los diferentes tratamientos realizados, se caracterizó el tallo de rosál, el material designificado y el blanqueado. Los análisis se realizaron en un difractómetro (modelo D8 Avance A25 marca Bruker, Alemania) y los difractogramas fueron

recolectados en el intervalo de ángulos 2θ de 10 a 40°, con una radiación $\text{CuK}\alpha$ a $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$.

El porcentaje de cristalinidad de las muestras (%DC) se calculó con la ecuación 1.

$$\%DC = \left(\frac{\Sigma A}{AT} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

%DC: porcentaje de cristalinidad

ΣA : suma de las áreas de cada pico

AT: área total del difractograma

2.4.3 Análisis térmico

Para estudiar la estabilidad o la degradación de los compuestos en las diferentes etapas, fue realizado el análisis térmico, con respecto a la pérdida de masa por el aumento de temperatura. El análisis se realizó (TGA 4000 Perkin Elmer, USA) en una atmósfera de nitrógeno de 30 a 600 °C a una tasa de calentamiento de 10 °C/min durante las diferentes etapas del tratamiento y comparado con una celulosa comercial.

2.4.4 Microscopia Electrónica de Barrido

Se observaron las muestras de bagazo de caña y celulosa de bagazo de caña en un microscopio electrónico de barrido (modelo JSM-5910, marca JEOL, Reino Unido), con un voltaje de 30 kV (bajo vacío); con la finalidad de identificar visualmente su morfología.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante la aplicación del método propuesto para obtener celulosa purificada a partir del bagazo de caña, así como la evaluación de sus principales propiedades fisicoquímicas, estructurales y térmicas. El desarrollo experimental permitió valorar la eficiencia del tratamiento químico empleado en el contenido de celulosa y el porcentaje del grado de cristalinidad de las muestras

Se observaron cambios en el color del bagazo de caña acondicionado y la celulosa obtenida después del proceso de purificación, resultado de la eliminación de los componentes lignina y hemicelulosa. En el caso del bagazo de caña acondicionado, se observó un color café arena y después del tratamiento químico las fibras se ven notoriamente blancas para la celulosa purificada (Figura 10a y 10b).

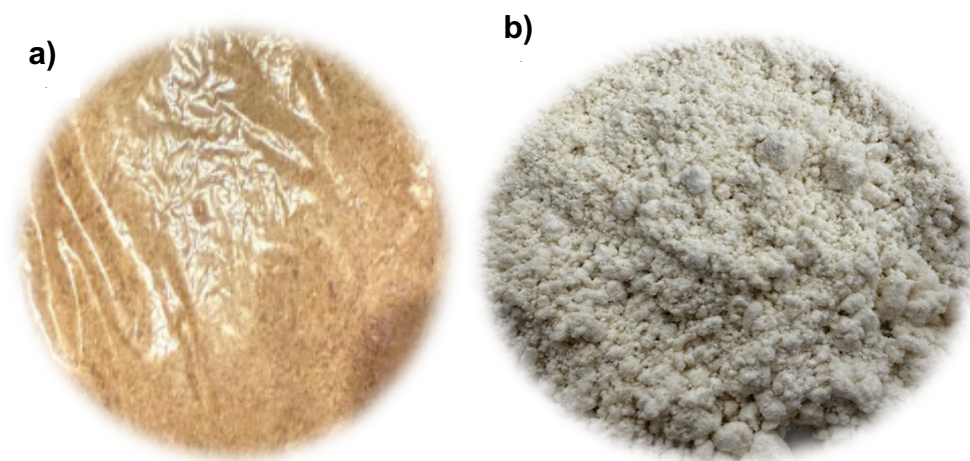


Figura 10. Cambios físicos del bagazo de caña: (a) previo al tratamiento químico y (b) celulosa obtenida después del proceso de purificación.

3.1 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR / IR-TF)

En la *Figura 11* se muestra el espectro del bagazo de caña (BC) y su celulosa purificada. El pico ancho e intenso a 3332 cm^{-1} corresponde al estiramiento de los grupos OH en la celulosa. Mientras que los picos 2922 y 2855 cm^{-1} se atribuyen a las vibraciones de estiramiento de los grupos CH alifáticos (Senthamaraikannan & Kathiresan, 2018). Además, la banda de absorción ubicada en 1620 cm^{-1}

corresponde al estiramiento de los grupos CaOX (*Perez Pimienta et al., 2016*). La disminución de estos picos indicaría que el tratamiento alcalino eliminó la mayoría de los componentes relacionados con la lignina. Por otro lado, en la banda de 1239 cm^{-1} en la banda de CPBC se observa una disminución significativa de las hemicelulosas.

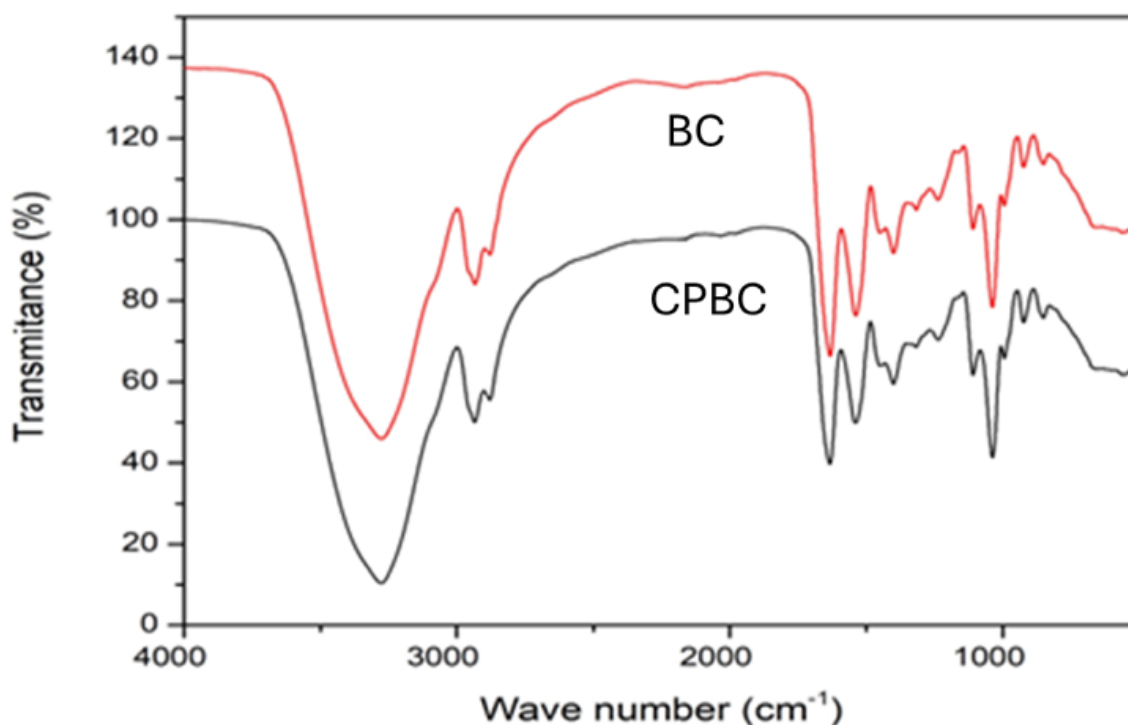


Figura 11. Espectro infrarrojo de BC y celulosa de bagazo de caña (CPBC).

En la *Tabla 3.* se muestran los grupos funcionales que se pertenecen al bagazo de caña y la celulosa purificada a partir de este material.

Tabla 3. Grupos funcionales del espectro de BC y CPBC (FTIR)

Número de Onda cm^{-1}	Grupo Funcional
3400 -3200	Estiramiento de los grupos O–H del anillo de azúcar
3332	Estiramiento OH
2922	Estiramiento CH en celulosa y hemicelulosa
2900	Estiramiento CH
2855	Estiramiento CH
2346	Estiramiento $\text{C}\equiv\text{C}$
1736	Grupos éster acético y urónico de hemicelulosa
1734-1733	Hemicelulosa
1733	Estiramiento $\text{C}=\text{O}$ hemicelulosas
1660	Amida primaria
1644	Estiramiento $\text{C}=\text{O}$ estiramiento de las ligninas
1650	Estiramiento O-H del agua absorbida
1640	Agua absorbida
1600	Vibración esquelética aromática de la lignina
1550	Amida secundaria
1546	Estiramiento $\text{C}=\text{O}$ estiramiento de las ligninas

3.2 Difracción de Rayos X (DRX)

Como se ve en la *Figura 12*, los picos característicos de la celulosa se vuelven más nítidos e intensos, estos pueden deberse a la eliminación de la lignina y la hemicelulosa solubles, los picos en CPBC presentan un ángulo 2 theta de 15°, 19°, 24°, 30°, 36° y 38° respectivamente característicos de la Celulosa Tipo I.

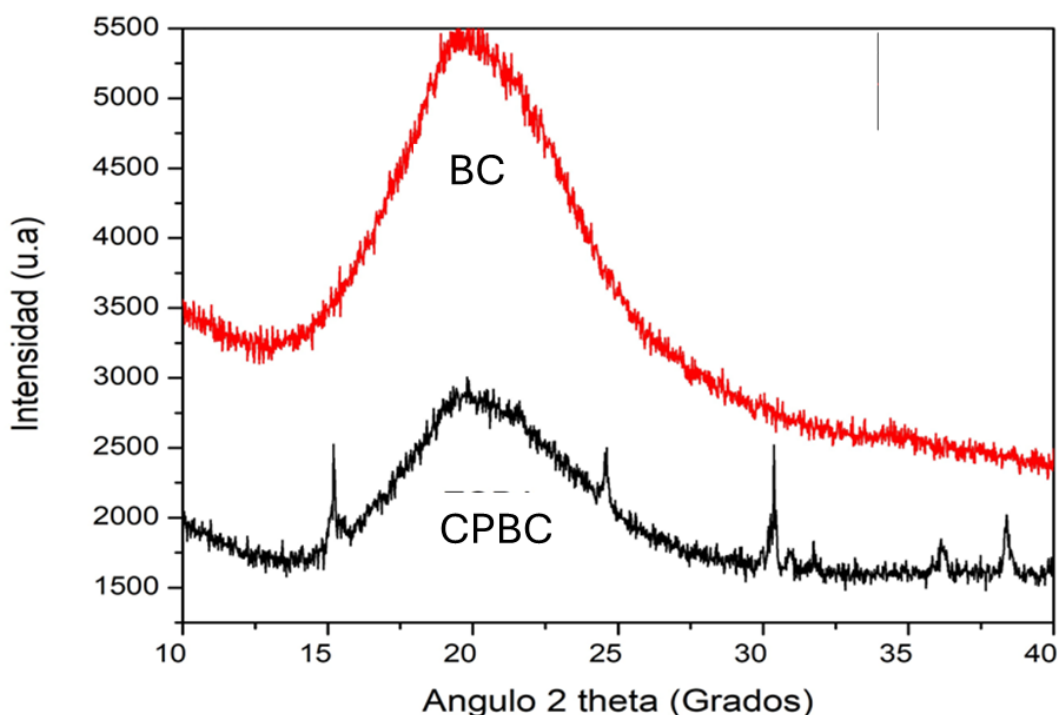


Figura 12. Difractograma de BC y CPBC.

En la *Tabla 4*, se muestran el contenido de celulosa y el grado de cristalinidad en el bagazo de caña acondicionado (BC), la celulosa purificada de bagazo de caña (CPBC) y una celulosa comercial.

Tabla 4. Contenido de celulosa y grado de cristalinidad del tallo de rosa sin tratar, materiales intermedios y celulosa pura.

Muestra	Celulosa (%)	Grado de Cristalinidad (%)
BC	32 ± 0.004	59.1
CPBC	51 ± 0.002	77.6
Celulosa comercial	97 ± 0.006	96.1

3.1 Análisis Termogravimétrico (TGA)

En la *Figura 13* se presentan las curvas de análisis termogravimétrico (TG) correspondientes a BC, CPBC y celulosa comercial. En ambos termogramas se observan tres etapas principales de descomposición térmica características de la celulosa microcristalina. La primera etapa, registrada por debajo de 120 °C, corresponde a la evaporación del agua físicamente adsorbida en la estructura de la celulosa. La segunda etapa, comprendida entre 280 y 425 °C, representa la descomposición térmica de la celulosa, donde las unidades de glicosilo se degradan generando monóxido de carbono, dióxido de carbono, agua y carbono sólido.

Finalmente, la tercera etapa, observada alrededor de 550 °C y 510 °C, muestra una disminución gradual de la masa, atribuida a la oxidación de cenizas remanentes y a la liberación de hidrógeno, monóxido de carbono y otros gases *ligeros* (Hoyos et al., 2019; Katakajwala et al., 2020; Hu et al., 2025). Martínez et al. (2023) informaron un pico máximo de 351 °C para la celulosa bacteriana de nata de fique, mientras que Harini & Mohan (2020) reportaron una degradación de 361 °C para la celulosa microcristalina de bagazo de caña.

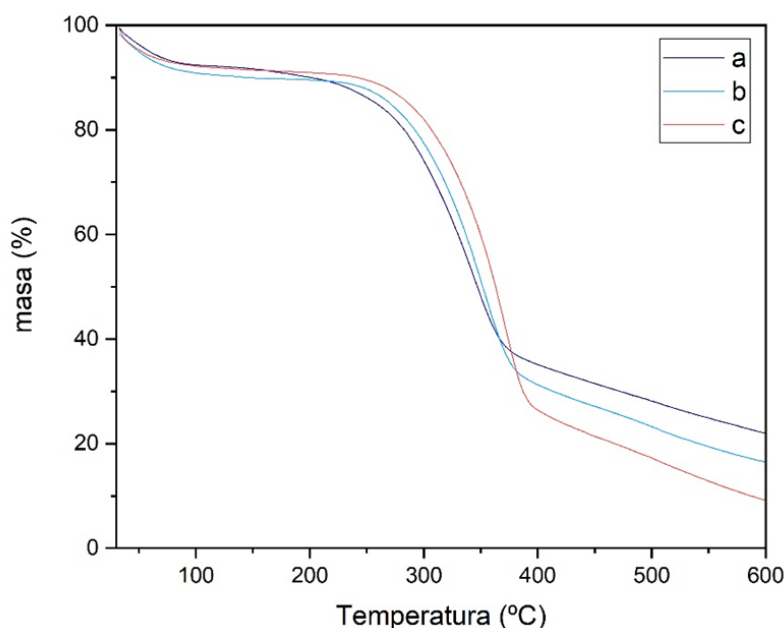


Figura 13. Curvas de TGA (a) del bagazo de caña; (b) celulosa purificada de bagazo de agave y (c) celulosa comercial

3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las micrografías obtenidas a diferentes aumentos evidencian cambios importantes en la morfología del material, reflejando modificaciones en la matriz lignocelulósica asociadas a la remoción de componentes amorfos. En la *Figura 15* se observa una morfología compacta constituida por partículas irregulares agrupadas, lo que sugiere una reorganización inicial del material celulósico posterior a la eliminación de componentes amorfos.

Este comportamiento es consistente con lo reportado por Yong et al. (2024) y Herawan et al. (2018), quienes describen la transformación de una estructura fibrilar hacia partículas irregulares con tendencia a la aglomeración.

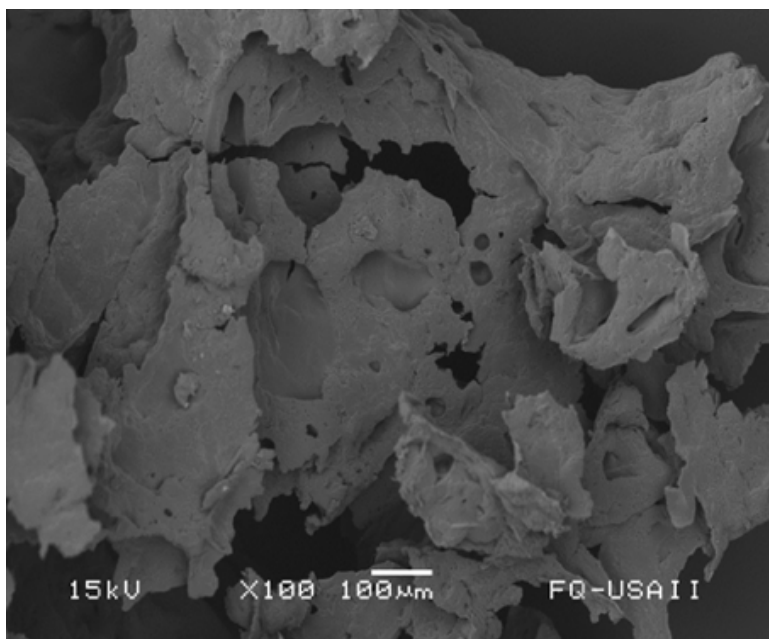


Figura 14. Imágen SEM a 100 × de aumento.

Conforme aumenta el nivel de detalle (*Figura 15*), se aprecia una mayor definición de la superficie, con presencia de cavidades y poros, lo que indica una alteración progresiva de la matriz lignocelulósica. Estas características pueden atribuirse a la eliminación de lignina y hemicelulosa, lo cual favorece la apertura de la estructura del material.

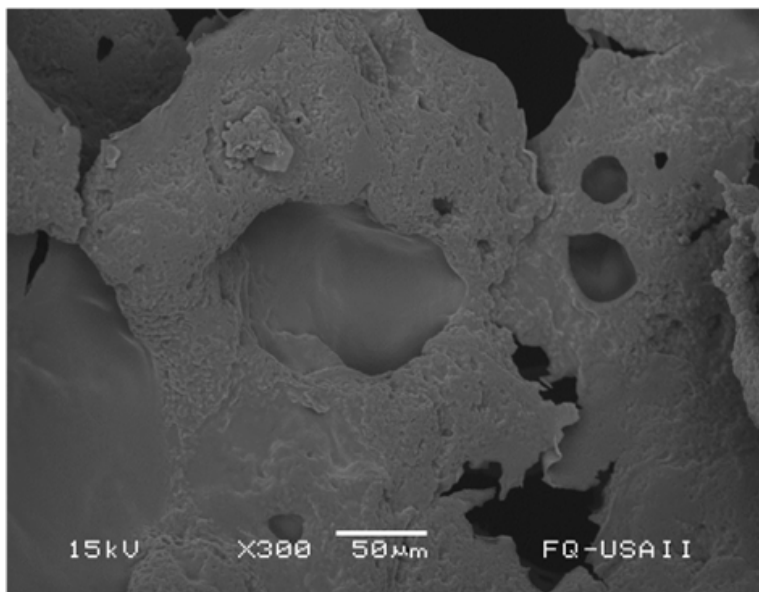


Figura 15. Imágen SEM a 300 × de aumento.

Finalmente, a mayor aumento (*Figura 16*), se evidencia con mayor claridad una superficie rugosa y porosa, con detalles más definidos de la microestructura, lo cual sugiere la exposición de la fase celulósica. Este comportamiento coincide con lo reportado por García et al. (2021), quienes observaron que la desfibrilación y el incremento en la rugosidad superficial están asociados a la remoción de componentes amorfos durante tratamientos químicos



Figura 16. Imagen SEM a 1000 x de aumento.

CONCLUSIONES

Los cambios físicos observados durante los tratamientos en el bagazo de caña evidencian la efectividad del método propuesto para la obtención de celulosa purificada. La transición de una coloración café claro, característica del material lignocelulósico sin procesar, a una tonalidad blanca con apariencia algodonosa en el producto final, indica la remoción de componentes no celulósicos como lignina y hemicelulosa.

La presencia de un pico amplio en la región de 3332 cm^{-1} asociado a los grupos hidroxilo característicos de la celulosa, así como la disminución de bandas relacionadas con grupos funcionales de lignina y hemicelulosa, particularmente en las regiones cercanas a 1620 cm^{-1} y 1239 cm^{-1} . Esta reducción en la intensidad de las bandas sugiere la remoción parcial de estos componentes durante el tratamiento alcalino.

El grado de cristalinidad de la celulosa purificada (CPBC) fue superior al del bagazo de caña acondicionado (BC), presentando valores de 77.6 % y 59.1 %, respectivamente. Este incremento fue proporcional al aumento en el contenido de celulosa de las muestras, lo que indica que el tratamiento químico favoreció la remoción de componentes amorfos como lignina y hemicelulosa. Asimismo, la CPBC presentó un comportamiento más cercano al de la celulosa comercial, confirmando que el proceso aplicado permitió obtener un material con mayor orden estructural y pureza cristalina.

La caracterización térmica mediante TGA evidenció un comportamiento típico de materiales celulósicos, identificándose tres etapas principales de degradación asociadas a la pérdida de humedad, descomposición de la celulosa y oxidación de residuos remanentes. Asimismo, la CPBC presentó una estabilidad térmica comparable a la celulosa comercial, lo que sugiere una remoción eficiente de componentes no celulósicos y confirma la efectividad del tratamiento químico aplicado para la obtención de celulosa purificada.



Las micrografías evidencian que el tratamiento químico aplicado induce modificaciones significativas en la estructura del bagazo de caña, promoviendo la desestructuración de la matriz lignocelulósica y la exposición de la fase celulósica. La presencia de superficies rugosas y porosas confirma la remoción de componentes amorfos como lignina y hemicelulosa y sugieren un incremento en el área superficial del material, lo cual podría favorecer su aplicación potencial como adsorbente.

RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo de la presente tesis, se proponen las siguientes recomendaciones con la finalidad de mejorar el proceso de obtención de celulosa purificada a partir de bagazo de caña y fortalecer futuros trabajos relacionados con esta línea de estudio.

Se recomienda optimizar las condiciones operativas del proceso, principalmente en lo referente al tiempo total de tratamiento, concentración de reactivos y etapas de lavado, con el propósito de reducir la duración del procedimiento sin afectar la calidad del material obtenido. La disminución en tiempos de operación podría representar ventajas importantes en términos de eficiencia, consumo energético y factibilidad de escalamiento.

Asimismo, se sugiere realizar muestreos intermedios en cada una de las etapas del tratamiento químico, tales como material inicial, tratamiento alcalino, blanqueamiento y producto final. Esto permitiría evaluar de manera más precisa los cambios progresivos en composición, coloración, morfología, índice de cristalinidad y estabilidad térmica, facilitando una mejor comprensión del efecto individual de cada etapa del proceso.

También se propone evaluar diferentes condiciones de operación, como variaciones en temperatura, tiempo de reacción y concentración de hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno, con el fin de identificar parámetros óptimos que favorezcan una mayor remoción de lignina y hemicelulosa, así como un incremento en el índice de cristalinidad de la celulosa obtenida.

REFERENCIAS.

- 3 Abu-Thabit, N. Y. (2020). *Isolation and characterization of microcrystalline cellulose from lignocellulosic biomass*. Carbohydrate Polymers, 248, 116798.
- 4 Cai, J., He, Y., Yu, X., Banks, S. W., Yang, Y., Zhang, X., Yu, Y., & Bridgwater, A. V. (2018). Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 309–322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.072>
- 5 Cano-Martínez, M. N., Ramos-Venegas, P., Cabrera-Macedo, A., & Ojeda-Sánchez, J. A. (2024). Efecto en las propiedades térmicas de revoques de tierra estabilizados con fibras de bagazo de caña. Legado de Arquitectura y Diseño, 19(35), 79-86.
- 6 Chen, H., Liu, J., Chang, X., Chen, D., Xue, Y., Liu, P., Lin, H., & Han, S. (2017). A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. Fuel Processing Technology, 160, 196–206.
- 7 Costa, M. A. M., et al. (2023). Emission analysis of sugarcane bagasse combustion in a fluidized bed reactor. Cleaner Engineering and Technology, 15, 100676.
- 8 Culqui, R. G., Pilco, C. J., Narváez, L. G., & Guangasi, T. M. (2023). Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. 593 Digital Publisher CEIT, 8(3), 134–148.
- 9 Díaz-Oviedo, A. F., Ramón-Valencia, B. A., & Moreno-Contreras, G. G. (2022). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, 12(1), 97–106.
- 10 Domínguez-Domínguez, M. M. (2012). Hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. Observatorio del Plástico.
- 11 Florian, E. D. M., Monroy, N. D. D., Pabón, A. M. A., Peñaloza, Y. M., & Galvis, M. L. R. (2025). Obtención de enzimas celulasas a partir de residuos

- agroindustriales por fermentación sumergida. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 27(1), 26–36.
- 12 García-Estrada, Y., Salgado-García, S., Bolio-López, G. I., Córdova-Sánchez, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Falconi-Calderón, R., & Veleza, L. (2017). Métodos para extraer celulosa de la paja de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agro Productividad*, 10(11), 54–59.
- 13 García, D., Ramos, J. S. C., Quesada, S. P., Jave, J., & Ruiz, A. (2021). Caracterización morfológica por microscopía electrónica de barrido de nanocelulosas de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*). *Agroindustrial Science*, 11(2), 149-157.
- 14 García-García, L., Bordallo-López, E., Dopico-Ramírez, D., & Cordero-Fernández, D. (2013). Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 57–63.
- 15 GARCÍA-TORRES, R., RIOS-LEAL, E., MARTÍNEZ-TOLEDO, Á., RAMOS-MORALES, F. R., CRUZ-SANCHEZ, J. S., & CUEVAS-DÍAZ, M. D. C. (2011). Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(1), 31-39.
- 16 Gil, N. (2022). Aprovechamiento de la biomasa en el sector de la caña. Presentación CENICAÑA – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- 17 González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiel, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., & Yáñez-Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- 18 Hernández-Hernández, R. N., Vázquez-García, R. Á., Hernández-Ávila, J., Veloz-Rodríguez, M. A., & Villagomez-Ibarra, J. R. (2021). Obtención de celulosa cristalina de hoja de maíz de Metztitlán Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9, 7–12.
- 19 Hiranobe, C. T., et al. (2024). Sugarcane bagasse: Challenges and opportunities for a circular bioeconomy. *Sustainability*, 6(2), 35.

- 20 Hong, T., Yin, J.-Y., Nie, S.-P., & Xie, M.-Y. (2021). Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food Chemistry*, 12, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>
- 21 Jakob, M., Mahendran, A. R., Gindl-Altmutter, W., Bliem, P., Konnerth, J., Müller, U., & Veigel, S. (2022). The strength and stiffness of oriented wood and cellulose-fibre materials: A review. *Progress in Materials Science*, 125, 100916. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100916>
- 22 Jirón-García, E. G., Rodríguez-Mora, K., & Bernal-Samaniego, C. (2022). Obtención de nanocelulosa a partir de raquis de palma africana y bagazo de caña. *Revista Tecnología en Marcha*, 35(2), 167–181.
- 23 Kamboj, A., Kumar, P., Yadav, B., Kumari, A., et al. (2024). Unravelling the potential of sugarcane bagasse: An eco-friendly and inexpensive agro-industrial waste for the production of valuable products using pretreatment processes for sustainable bio-economy. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 114461. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114461>
- 24 Labrador, H., & Osto, S. (2021). Caracterización de la celulosa proveniente del lodo papelerero y su esterificación. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 10(2), 67–81.
- 25 Mahmud, M. A., Moni, S. M., Rahman, N. M., Islam, M. S., & Khan, R. A. (2021). Sugarcane bagasse—A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon*, 7(8), e07771. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07771>
- 26 Millones-Chapoñan, M., Muñoz-Pérez, S. P., & Villanueva-Meza, C. D. (2023). La ceniza de bagazo de caña de azúcar como aditivo estabilizador en suelos arcillosos con fines de pavimentación: Una revisión literaria.
- 27 Oviedo, A., & Vinuesa, J. (2020). Residuos lignocelulósicos y sus usos: Una revisión. *InfoANALÍTICA*, número especial, 133–147.
- 28 Paucara, S. M. M., Cáceda, M. E. Q., Meza, E. W. N., & Sánchez, R. A. T. (2023). Extracción y caracterización de celulosa a partir de residuos de hojas de maíz. *Tecnia*, 33(2), 53–61. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v33i2.1676>

- 29 Pérez Murillo, F. C., Insuasty Almario, L. A., & Buesaquillo Tulcan, M. J. (2022). Evaluación de la ceniza de bagazo de caña de azúcar para el mejoramiento de la subrasante en el sector de “El molino el Escobal” b/Picaleña km 11 vía Ibagué–Girardot.
- 30 Prado-Acebo, I., Cubero-Cardoso, J., Lu-Chau, T. A., & Eibes, G. (2024). Integral multi-valorization of agro-industrial wastes: A review. *Waste Management*, 183, 42–52.
- 31 Presenda-Gerónimo, A., Bolio-López, G. I., Azamar-Barrios, V. L., Ramírez-Casillas, J. A., Sarracino-Martínez, O., Hernández-Villegas, M. M., & De la Cruz-Burelo, P. (2020). Obtención de celulosa a partir de residuos de piña (*Ananas comosus* L. Merrill). *Agro Productividad*, 13(2).
- 32 Quintero-Quintana, M. C., Ardila, A. N., Arriola-Villaseñor, E., Gutiérrez-Pineda, E. A., & Villa, C. C. (2023). Extracción y caracterización de fibras de celulosa de residuo de piña con uso potencial en la industria del papel. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 2(1), 172–184.
- 33 Ramos Buste, L. J., & Suárez Neira, A. A. (2026). Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir del bagazo de caña de azúcar mediante hidrólisis ácida y fermentación alcohólica (Bachelor's thesis).
- 34 Rosas-Calleja, D., Ortiz-Laurel, H., Herrera-Corredor, J. A., & Leyva-Ovalle, O. (2016).
- 35 Solís García, H., Serrano Iguasnia, B., De la Rosa Martínez, A., Montesdeoca Espín, D., Suntaxi Crisanto, S., Cifuentes Benavides, K., ... & Gualpás Castillo, G. (2025). Extracción de fibras de celulosa del tallo de cáñamo (*Cannabis sativa* L.) mediante tratamiento químico para su aplicación textil. *Perfiles*, 1(33), 24–35.
- 36 Suárez Matallana, G. A., Sánchez Atahualpa, S. R., Lazaro Riquez, A., & Rodríguez Zúñiga, U. F. (2022). Conceptos de biocatálisis de la lignocelulosa desde un enfoque de ingeniería de procesos y sistemas: Una revisión. *Perfiles*, 1(28), 36–49.
- 37 Villegas-González, E. E., Ardila, A. N., Hernández-Ciro, J. D., Valencia-Duarte, J. S., Arriola-Villaseñor, E., Gutiérrez-Pineda, E. A., & Villa, C. C. (2023).



Extracción de fibras de celulosa a partir de residuos de pseudotallo de banano y su potencial aplicación en la industria papelera. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, 2(1), 163–171.

- 38 Vydrina, I., Malkov, A., Vashukova, K., Tyshkunova, I., Mayer, L., Faleva, A., Shestakov, S., Novozhilov, E., & Chukhchin, D. (2023). A new method for determination of lignocellulose crystallinity from XRD data using NMR calibration. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5, 100305. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100305>
- 39 Yong, W. S., et al. (2024). *Extraction and characterization of microcrystalline cellulose from durian rind*. *Journal of Polymers and the Environment*.
- 40 Zabala, R., Soxo, P. P., Chuqui, L., Morales, M. A., & León, A. G. C. V. (2025). Evaluación comparativa de variedades de cacao y aditivos en términos de lignina y celulosa. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 26(1), 18–32.

ANEXOS

Con el propósito de complementar esta tesis y evidenciar la participación en actividades académicas, científicas y de innovación que fortalecieron la formación profesional durante el desarrollo de este trabajo, se incorporan en esta sección las constancias correspondientes a estancias de investigación, programas académicos, foros científicos y concursos de innovación realizados durante los años 2024 y 2025.

Durante el año 2024, se realizó una estancia de investigación en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), donde se participó en actividades relacionadas con el desarrollo científico y experimental. **Anexo A**

De igual manera, durante el mismo año se participó en Climatón, evento desarrollado en la Ciudad de México, en instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), enfocado en la generación de propuestas innovadoras para atender problemáticas ambientales y de sostenibilidad. Logrando avanzar hasta la fase finalista. **Anexo B**

Asimismo, se participó en el Programa Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico durante los años 2024 y 2025, realizando estancias académicas en Colombia y Perú, respectivamente. Como evidencia de esta experiencia, se cuenta con constancias de participación en ambas estancias, así como de constancias por la ponencia del trabajo en el Congreso Internacional del 29° y 30° Verano de la Investigación Científica y Tecnológica realizado en la Universidad Autónoma de Nayarit. **Anexo C, D, E, F**

Finalmente, se incluye la constancia de participación en Innodrop, Incubadora de Talento Hídrico, evento realizado en la Ciudad de México, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), orientado al impulso de ideas innovadoras enfocadas en la gestión, aprovechamiento y conservación del recurso hídrico. **Anexo G**



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
¡El poder de servir!

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MEXICO

TEST



INGENIERÍA AMBIENTAL

Anexo A. Constancia de estancia de investigación en el CICY (2024).



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



DIRECCION DE DOCENCIA

Mérida, Yucatán a 17 de enero del 2024

OFICIO No. DD-SAE-004/2024

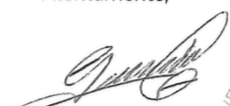
ASUNTO: Estancia de Investigación.

DRA. JAQUELINE HERNÁNDEZ TORRES
Subdirectora de Apoyo y Desarrollo Académico
Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco
Presente.

Por este medio, me permito comunicar a usted que el **C. Ricardo Jaimes Díaz**, estudiante de la **carrera de Ingeniería Ambiental** con número de matrícula **202025060** de ese Instituto ha sido aceptado para realizar su **Estancia de Investigación** con el proyecto denominado **"CARACTERIZACIÓN TERMO-MECANICA DE PELÍCULAS PLÁSTICAS DE INVERNADERO ANTES Y DESPUÉS DE SU APLICACIÓN"**, adscrito la Unidad de Materiales de este Centro, bajo la asesoría del Dr. Manuel de Jesús Aguilar Vega y coasesoría del Dr. Jesús Ortiz Espinoza, durante el periodo comprendido del 15 de enero al 29 de febrero de 2024, en modalidad presencial.

Se extiende la presente constancia para los fines que se consideren pertinentes.

Atentamente,


M.A. Liligelia García Cano
Subdirectora de Docencia



C.c.p. Asesoría/Dr. Manuel de Jesús Aguilar Vega.
Coasesoría/ Dr. Jesús Ortiz _Espinoza.
Exp. SAE.

Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Chuburná de Hidalgo, CP. 97205, Mérida, Yuc., México.
Tel: (52) 99 9942 8330 Fax: (52) 99 9981 390 www.cicy.mx



2024



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MEXICO

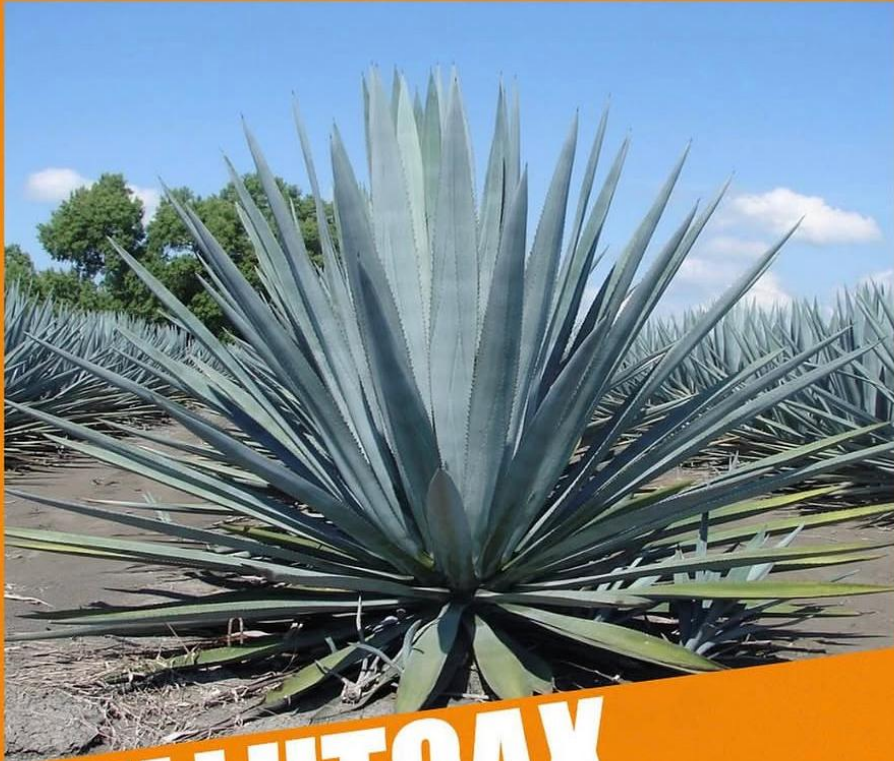
TEST



INGENIERÍA AMBIENTAL

Anexo B. Participación en Climatón, UNAM, Ciudad de México Finalista (2024)





CELLUTOAX

Citlali, Jorge, Ricardo, Monserrat

EDOMEX

Implementación de la celulosa obtenida de residuos de agave de la producción de bebidas destiladas en el Estado de México para desarrollar biomateriales con fibras naturales.

FINALISTAS







Anexo C. Constancia de participación en Programa Delfín – Colombia (2024).



PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA
EL FORTALECIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN
Y EL POSGRADO DEL PACÍFICO

**A QUIEN CORRESPONDA
P R E S E N T E**

Me permito hacer **CONSTAR** que el C. **Ricardo Jaimes Díaz**, estudiante del *Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco*, realizó la **Estancia Presencial** del XXIX Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, en el periodo del 17 de junio al 2 de agosto de 2024, colaborando en el proyecto **"OBTENCIÓN DE FIBRAS DE PET Y CELULOSA MICROCRISTALINA, CON TÉCNICAS ESPECIALES DE LABORATORIO, COMO ESTRATEGIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES."**, asesorado por el **Dr. Juan Carlos Hernández Criado**, investigador de la *Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña*.

Se extiende la presente para los fines legales a que haya lugar, el día 5 de agosto de 2024, en la Ciudad de Tepic, Nayarit; México.

ATENTAMENTE
"POR UNA CULTURA CIENTÍFICA"


MTRO. CARLOS HUMBERTO JIMÉNEZ GONZÁLEZ
COORDINADOR GENERAL


COORDINACIÓN GENERAL

"Por una cultura científica"

Anexo D. Constancia de participación en congreso Internacional Programa Dellfin (2024).



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MEXICO

TEST



XXIX

Verano de la Investigación
Científica y Tecnológica
del Pacífico 2024



El Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación
y el Posgrado del Pacífico, a través de la Universidad Autónoma de Nayarit
otorga el presente



Reconocimiento

a: **Ricardo Jaimes Diaz**

Por su destacada participación como **ponente** en el Congreso
Internacional del XXIX Verano de la Investigación Científica y Tecnológica
del Pacífico, realizado del 28 al 31 de agosto de 2024

Nuevo Nayarit, México

"Por lo Nuestro a lo Universal"

Norma Galván

Dra. Norma Liliana Galván Meza
Presidenta del Honorable Consejo General
Rectora de la Universidad Autónoma de Nayarit

"Por una cultura científica"

Carlos Humberto Jiménez González

Mtro. Carlos Humberto Jiménez González
Coordinador General del Programa



México



Colombia



Costa Rica



Perú



Nicaragua



Estados Unidos



Ecuador



años
#Programa Delfin
Capítulo Colombia

Anexo E. Constancia de participación en Programa Delfin en Perú (2025).



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TEST



A QUIEN CORRESPONDA P R E S E N T E

Me permito hacer **CONSTAR** que el C. **Ricardo Jaimes Díaz**, estudiante del *Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco*, realizó la **Estancia Presencial** del 30° Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, en el periodo del 9 de junio al 25 de julio de 2025, colaborando en el proyecto **"RIESGO AL CÁNCER, POR CONSUMO DE TUBÉRCULOS ANDINOS"**, asesorado por el **Dr. David Choque Quispe**, investigador del *Universidad Nacional José María Arguedas*.

Se extiende la presente para los fines legales a que haya lugar, el día 28 de julio de 2025, en la Ciudad de Tepic, Nayarit; México.

ATENTAMENTE
"POR UNA CULTURA CIENTÍFICA"

MTRO. CARLOS HUMBERTO JIMÉNEZ GONZÁLEZ
COORDINADOR GENERAL



"Por una cultura científica"



COORDINACIÓN GENERAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
Ciudad de la Cultura s/n, Col. Centro, C.P. 63000
Tepic, Nayarit, México, Tel.: 311 112 2799
coordinacion.general@programadelfin.org.mx



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLOGICO
NACIONAL DE MEXICO

TEST



Anexo F. Constancia de participación en Foro Internacional Programa Delfín (2025).



a: Ricardo Jaimes Diaz

Por su destacada participación como **ponente** en el Congreso Internacional del 30° Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico, realizado del 27 al 30 de agosto de 2025

Nuevo Nayarit, México

"Por lo nuestro a lo universal"

Norma Galván

Dra. Norma Liliana Galván Meza
Presidenta del Honorable Consejo General
Rectora de la Universidad Autónoma de Nayarit

"Por una cultura científica"

Mtro. Carlos Humberto Jiménez González
Coordinador General del Programa



**Anexo g. Reconocimiento por participación en Innodrop, Incubadora de Talento
Hídrico, UNAM, Ciudad de México**



Grupo Modelo, el **Centro Regional de Seguridad Hídrica** bajo los auspicios de la **UNESCO**,
Grupo Herdez, y **Niagara de México**, en colaboración con
la **Universidad Nacional Autónoma de México**, otorgan el siguiente

RECONOCIMIENTO

a

Ricardo Jaimés Díaz

Por su destacada participación en el **Evento de Aceleración** de

INNODROP
INCUBADORA DE TALENTO HÍDRICO

en la Categoría de **Universitarios** con el proyecto **SARGAGEL**.
Ciudad de México, 3 y 4 de noviembre del 2025.

Fernando J. González Villarreal
Director General,
Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de UNESCO

Jorge A. Arriaga Medina
Coordinador Ejecutivo,
Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de UNESCO