

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE TIANGUISTENCO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**OPCIÓN
TESIS**

“APROVECHAMIENTO DE LA PLANTA DE FIQUE PARA LA OBTENCIÓN
DE CELULOSA PURIFICADA POR SÍNTESIS QUÍMICA”

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

PRESENTA

Citlali Estefania Valencia Diaz

DIRECTORA

Dra. Sagnite Ventura Cruz

:

Mayo 2026



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TES



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 “Aprovechamiento de la Planta de Fique para la Obtención de Celulosa Purificada por Síntesis Química”, con el número JD/IA/T-261/2026 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 Dr. Jesús Ortiz Espinoza.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por permitirme llegar hasta este momento, por brindarme salud, fortaleza y la motivación necesaria para concluir esta etapa tan importante en mi vida académica y profesional.

Con todo mi amor y admiración, agradezco a mis padres, quienes han sido el pilar más importante en mi vida y el motor que me impulsó a no rendirme nunca. Gracias por cada sacrificio realizado para brindarme mejores oportunidades, por su esfuerzo diario, por sus consejos, por su paciencia infinita y por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba. Su apoyo incondicional, su confianza y el amor con el que siempre me han acompañado fueron fundamentales para alcanzar esta meta. Cada logro obtenido lleva impresa una parte de ustedes, porque han sido ejemplo de trabajo, honestidad, responsabilidad y perseverancia. Este triunfo también les pertenece.

A mi hermana Yaretzi, gracias por estar presente en cada etapa, por acompañarme con tu cariño, tu comprensión y tus palabras de ánimo. Gracias por motivarme, por apoyarme y por ser parte de este camino, porque tu presencia me dio fuerza y tranquilidad en momentos de cansancio y estrés. Me siento muy afortunada de contar contigo y de compartir este logro contigo.

A mi abuelita, gracias por tu amor inmenso, por tu cuidado, por tus consejos y por siempre desearme lo mejor. Tu apoyo ha sido un impulso muy valioso en mi vida, y este logro también es para ti, porque eres parte importante de mi historia y de mi motivación.

A mi pareja, gracias por estar a mi lado durante este camino, por tu amor, paciencia y apoyo constante. Gracias por impulsarme a seguir adelante, por escucharme en los momentos difíciles y por estar conmigo en cada logro obtenido.



De manera especial, expreso mi sincero agradecimiento a la Dra. Sagnite Ventura Cruz y al Dr. Jesús Ortiz Espinoza, por su orientación, atención y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por compartir sus conocimientos, su experiencia y por brindarme su apoyo en cada etapa del trabajo.

A mis amigos, gracias por acompañarme durante esta etapa, por su amistad sincera, por cada consejo, por escucharme en momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Su compañía hizo más agradable este proceso y sus palabras de motivación fueron importantes para mantenerme enfocada en mis objetivos.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
JUSTIFICACIÓN	14
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES	17
1.1 Residuos agroindustriales.....	17
1.2 Tratamientos químicos	18
1.3 Celulosa	18
1.4 Lignina.....	20
1.5 Hemicelulosa.....	21
1.6 Fique	22
CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	25
2.1 Recolección y acondicionamiento del material	25
2.2 Tratamiento 1	27
2.3 Tratamiento 2.	28
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	31
3.1 Celulosa purificada.....	32
3.2. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).....	33
3.3. Difracción de Rayos X (DRX).....	35
Ecuación de Seagal	37
3.4. Análisis Termogravimétrico (TGA).....	39



3.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM)	42
3.6 Análisis comparativo de los tratamientos T1 y T2: efecto sobre la cristalinidad y propiedades estructurales de la celulosa de fique	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
Conclusiones.....	48
Recomendaciones	49
REFERENCIAS.	50
ANEXOS.....	54



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la celulosa adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., 2022.....	19
Figura 2. Estructura química de la lignina adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., 2022.....	20
Figura 3. Estructura química de la hemicelulosa adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., 2022.....	21
Figura 4. Planta fibrosa de Fique, <i>Furcraea</i> spp.....	23
Figura 5. Esquema general del proceso de obtención de celulosa a partir de fique mediante dos tratamientos (T1 y T2).....	25
Figura 6. Punto de recolección de la planta fibrosa de Fique, <i>Furcraea</i> spp.....	26
Figura 7. Esquema del tratamiento 1 de extracción de celulosa a partir de la planta de Fique.....	28
Figura 8. Esquema del tratamiento 2 de extracción de celulosa a partir de la planta de Fique.....	29
Figura 9. Celulosa obtenida de fique después del tratamiento químico T1(a) y T2(b) respectivamente.....	31
Figura 10a. Espectro FTIR de celulosa de fique obtenida mediante el tratamiento T1.....	33
Figura 10b. Espectro FTIR de celulosa de fique obtenida mediante el tratamiento T2.....	34
Figura 11a. Difractograma de bagazo de fique obtenida mediante el tratamiento 1.....	35
Figura 11b. Difractograma de bagazo de fique obtenida mediante el tratamiento 2.....	36
Figura 12a. Termograma de celulosa de Fique obtenida mediante el tratamiento T1.....	39
Figura 12b . Termograma de celulosa de Fique obtenida mediante el tratamiento T2.....	40
Figura 13. Micrografías de celulosa purificada obtenida mediante el tratamiento T1 a 500X y 300X aumento.....	42
Figura 14. Micrografías de celulosa purificada obtenida mediante el tratamiento T2 a 500X y 300X aumento.....	44

RESUMEN

El cultivo de fique colombiano (*Furcraea* spp.) representa una actividad de gran importancia económica, social y ambiental en diversas regiones de Colombia, debido al uso de su fibra natural en la elaboración de sacos, artesanías y diversos productos industriales. No obstante, durante el proceso de desfibrado se genera una baja eficiencia en el aprovechamiento de la biomasa vegetal, ya que únicamente se recupera una pequeña fracción del peso total de la hoja como fibra útil, mientras que la mayor parte se transforma en residuos como bagazo y lixiviados. La disposición inadecuada de estos subproductos puede ocasionar impactos ambientales negativos, debido a su elevada carga orgánica y a la presencia de compuestos potencialmente contaminantes que afectan suelos y cuerpos de agua.

En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo evaluar el aprovechamiento de la biomasa residual del fique para la obtención de celulosa purificada mediante un proceso de síntesis química. Para ello, se emplearon residuos lignocelulósicos derivados del procesamiento de la planta, los cuales fueron sometidos a diferentes etapas de tratamiento químico con el fin de remover componentes no celulósicos como lignina y hemicelulosas. Posteriormente, el material obtenido será caracterizado fisicoquímicamente para determinar la eficiencia del proceso de purificación de la celulosa.

Los resultados obtenidos permitirán identificar el potencial de los residuos del fique como una fuente alternativa de celulosa, contribuyendo al aprovechamiento integral de la biomasa vegetal y a la reducción del impacto ambiental asociado a la generación de subproductos. Asimismo, el desarrollo de este proyecto promueve estrategias de valorización de residuos agroindustriales y fomenta el uso de recursos renovables para la obtención de materiales de mayor valor agregado, alineándose con principios de sostenibilidad y economía circular.

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



ABSTRACT

The cultivation of Colombian fique (*Furcraea* spp.) is an activity of great economic, social, and environmental importance in various regions of Colombia, due to the use of its natural fiber in the production of sacks, handicrafts, and various industrial products. However, the defibering process results in low efficiency in the utilization of plant biomass, as only a small fraction of the total leaf weight is recovered as usable fiber, while most of it is transformed into waste such as bagasse and leachate. Improper disposal of these byproducts can cause negative environmental impacts due to their high organic load and the presence of potentially polluting compounds that affect soils and water bodies.

In this context, this project aims to evaluate the utilization of residual fique biomass to obtain purified cellulose through a chemical synthesis process. For this purpose, lignocellulosic waste derived from plant processing was used and subjected to different stages of chemical treatment to remove non-cellulosic components such as lignin and hemicelluloses. Subsequently, the resulting material will be characterized physicochemically to determine the efficiency of the cellulose purification process.

The results obtained will allow us to identify the potential of fique waste as an alternative source of cellulose, contributing to the comprehensive use of plant biomass and reducing the environmental impact associated with the generation of byproducts. Furthermore, the development of this project promotes strategies for the valorization of agro-industrial waste and encourages the use of renewable resources to obtain higher value-added materials, aligning with principles of sustainability and the circular economy.

Keywords: Cellulose, lignocellulosic waste, valorization, chemical treatment

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el aprovechamiento de residuos de origen vegetal ha cobrado creciente relevancia, debido a su potencial para el desarrollo de materiales sostenibles que contribuyen a la reducción del impacto ambiental y fomentan un uso más eficiente de los recursos naturales.

Entre estos materiales, sobresale la celulosa como uno de los biopolímeros más abundantes y valiosos en la naturaleza, con múltiples aplicaciones en diversos campos de la industria, la ciencia y la tecnología (Jiménez et al., 2024). Por lo anterior, surge el interés por desarrollar procesos que permitan obtener celulosa purificada a partir de fuentes vegetales fibrosas, como el fique (*Furcraea* spp.), una planta caracterizada por su estructura lignocelulósica y su amplia disponibilidad como materia prima. El aprovechamiento de este recurso constituye una alternativa prometedora para la valorización de residuos agrícolas y la obtención de materiales de alto valor agregado (Solarte et al., 2023).

El fique (*Furcraea* spp.) es una especie vegetal con características xerófilas, que presenta hojas lanceoladas y carnosas recubiertas por una capa cerosa. Estas características morfológicas le permiten adaptarse a condiciones climáticas variables y a distintos ambientes con disponibilidad limitada de agua (Solarte et al., 2023). Su cultivo se desarrolla principalmente en zonas ubicadas entre 1000 y 2000 m s.n.m., y su aprovechamiento se centra en la obtención de fibra natural utilizada en la elaboración de sacos, artesanías y diversos productos industriales. Esta fibra posee una destacada relevancia histórica y cultural, ya que su uso se remonta a épocas precolombinas, especialmente en Colombia, donde el fique se ha consolidado como un recurso estratégico de importancia productiva (Jiménez et al., 2024).

En la actualidad, Colombia es el principal productor de fique a nivel mundial, con una producción anual aproximada de 30,000 toneladas y cerca de 20,000 hectáreas cultivadas, lo que convierte a este cultivo en un componente relevante para el desarrollo rural y la actividad agrícola del país (Jiménez et al., 2024).

Asimismo, este sector representa una fuente significativa de empleo y sustento económico para numerosas comunidades rurales.

En los últimos años, el fique ha despertado un creciente interés comercial debido a su potencial para la diversificación hacia productos de mayor valor agregado, tales como empaques biodegradables, cuero vegano, textiles sostenibles, bioplaguicidas, materiales compuestos para la construcción y componentes industriales de alto desempeño (Durán et al., 2022). No obstante, a pesar de su importancia socioeconómica y ambiental, el procesamiento del fique presenta limitaciones significativas en términos de aprovechamiento de biomasa. Durante el proceso de desfibrado únicamente se recupera alrededor del 4 % del peso total de la hoja en forma de fibra útil, mientras que aproximadamente el 96 % restante se transforma en subproductos, principalmente jugo o lixiviado y bagazo (Jiménez et al., 2024).

En muchas zonas productoras, estos residuos son dispuestos directamente sobre el suelo o vertidos en cuerpos de agua sin un tratamiento previo, lo que genera impactos ambientales asociados a su elevada carga orgánica y a la presencia de compuestos potencialmente contaminantes. Esta situación puede provocar afectaciones en los ecosistemas acuáticos y contribuir a procesos de degradación ambiental (Durán et al., 2022).

El bagazo de fique, generado como residuo durante el proceso de aprovechamiento de *Furcraea* spp., constituye una biomasa lignocelulósica con amplio potencial para la obtención de celulosa, una materia prima estratégica empleada en la fabricación de papel, textiles, productos desechables y diversas aplicaciones en la industria alimentaria. El uso de este subproducto representa una alternativa de valorización sustentable, ya que además de disminuir la problemática ambiental asociada a su acumulación, favorece el desarrollo de procesos de transferencia tecnológica enfocados en la producción de materiales de mayor valor agregado (Hernández Restrepo, S. et al., 2023).

En términos de composición, el bagazo de fique presenta similitud con la fibra larga, al estar integrado por pulpa y estopa o fibra corta, con contenidos aproximados de 41 % de celulosa, 27 % de hemicelulosa y 17 % de lignina. Esta naturaleza lignocelulósica sugiere su viabilidad para transformarse en materiales sólidos reutilizables, con aplicaciones potenciales en la captación y tratamiento de residuos, así como en el diseño de nuevos biomateriales. No obstante, una de las principales limitantes para su aprovechamiento es su alto porcentaje de humedad, cercano al 90%, por lo que la reducción de agua constituye una etapa indispensable antes de cualquier proceso de transformación (Prieto Piñeros, H. S et al., 2023).

La celulosa de fique corresponde al polisacárido estructural predominante presente tanto en la fibra como en el bagazo, siendo la fracción principal de la holocelulosa. La fibra de fique contiene aproximadamente 56 % de celulosa, además de 18.6 % de hemicelulosa y 14.2 % de lignina, lo que confirma su elevado potencial como fuente de celulosa purificada (Muñoz-Blandón et al., 2023).

Desde la perspectiva fisicoquímica, la celulosa obtenida del fique se distingue por presentar una estructura semicristalina, abundancia de grupos hidroxilo (-OH), afinidad por el agua y un comportamiento moderadamente hidrofílico, propiedades que facilitan su modificación química y su interacción con matrices poliméricas. De igual manera, se han reportado valores de densidad aparente de 1.14 g/cm³, un diámetro promedio de 235.05 µm y una degradación térmica principal entre 250 y 380 °C, asociada a la descomposición de hemicelulosa, celulosa y lignina residual (Muñoz-Blandón et al., 2023).

En este contexto, se desarrolla el proyecto titulado “Aprovechamiento de la planta de fique colombiano para la obtención de celulosa purificada por síntesis química”, en el Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco. El propósito de este estudio es evaluar y comparar la obtención de celulosa purificada a partir de la biomasa de fique mediante dos tratamientos químicos distintos, con el fin de contribuir al aprovechamiento integral de este recurso vegetal y a la valorización de sus subproductos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El fique colombiano (*Furcraea* spp.) es una planta ampliamente cultivada en diversas regiones de Colombia y constituye un recurso de gran relevancia económica, social y ambiental. Tradicionalmente, su aprovechamiento se ha centrado en la obtención de fibra natural utilizada en la fabricación de productos artesanales e industriales, como sacos, cordelería y materiales de uso agrícola y comercial. Sin embargo, el proceso de desfibrado presenta baja eficiencia en el aprovechamiento de la biomasa vegetal, ya que únicamente se recupera aproximadamente el 4 % del peso total de la hoja como fibra útil, mientras que cerca del 96 % restante se genera como subproductos o residuos, principalmente en forma de bagazo y lixiviados (Jiménez et al., 2024).

La disposición inadecuada de estos residuos representa una problemática ambiental relevante en las zonas productoras de fique. En muchos casos, los subproductos generados durante el procesamiento son depositados directamente sobre el suelo o vertidos en cuerpos de agua sin tratamiento previo, lo que ocasiona impactos negativos asociados a su elevada carga orgánica y a la presencia de compuestos potencialmente contaminantes. Esta situación puede derivar en la degradación de suelos, la alteración de ecosistemas acuáticos y afectaciones a la flora y fauna de las regiones donde se desarrolla esta actividad productiva (Durán González et al., 2022).

A pesar de ser considerados residuos, los subproductos del fique presentan una composición lignocelulósica rica en celulosa, hemicelulosas y lignina, lo que les confiere alto potencial para su aprovechamiento en la obtención de materiales de mayor valor agregado (Riveros-Gamboa et al., 2022). No obstante, la presencia de lignina y otros componentes no celulósicos dificultan el aprovechamiento directo de la celulosa, ya que estos compuestos afectan sus propiedades estructurales y fisicoquímicas, limitando su aplicación en procesos industriales y científicos. En este sentido, resulta necesario implementar procesos de tratamiento y purificación que permitan aislar la celulosa de manera eficiente y mejorar sus características funcionales (Solarte et al., 2023).

En este contexto, surge la necesidad de investigar alternativas que permitan el aprovechamiento integral de la biomasa del fique, particularmente mediante la obtención de celulosa purificada a partir de sus residuos lignocelulósicos. El desarrollo de procesos de purificación mediante síntesis química se plantea como una estrategia viable para valorizar estos subproductos, reducir el impacto ambiental asociado a su disposición y promover un uso más eficiente y sostenible de los recursos derivados del cultivo de fique.

JUSTIFICACIÓN

El fique es un material de cultivo que posee una gran relevancia económica y social en Colombia, debido a que este tipo de fibra natural se utiliza ampliamente en la elaboración de sacos, artesanías y diversos productos industriales. Sin embargo, el proceso tradicional de desfibrado presenta una baja eficiencia en el aprovechamiento de la biomasa, debido a que solo una pequeña fracción del peso total de la hoja se utiliza como fibra larga, mientras que la mayor parte se transforma en residuos como bagazo y lixiviados (Jiménez et al., 2024).

La generación de estos subproductos representa una problemática ambiental importante cuando no se aplican tratamientos adecuados para su manejo. En muchas regiones productoras, los residuos del fique son depositados directamente sobre los suelos o vertidos en cuerpos de agua sin recibir un tratamiento previo, lo que puede provocar contaminación ambiental, deterioro de ecosistemas acuáticos y afectaciones a la flora y fauna local. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias que permitan reducir el impacto ambiental asociado al procesamiento del fique, al mismo tiempo que se promueve el cumplimiento de criterios normativos relacionados con el manejo adecuado de residuos agroindustriales.

En este contexto, el aprovechamiento de los residuos lignocelulósicos del fique para la obtención de celulosa purificada mediante procesos de síntesis química se plantea como una alternativa viable para incrementar el valor agregado de esta biomasa.



La celulosa es uno de los biopolímeros más abundantes y versátiles, presenta múltiples aplicaciones en la industria de materiales, el desarrollo de biopolímeros y las tecnologías sostenibles. Por ello, su obtención a partir de residuos agroindustriales puede contribuir al desarrollo de procesos más eficientes y sostenibles dentro de la cadena productiva del fique.

En este sentido, el proyecto titulado “Aprovechamiento de la planta de fique (*Furcraea spp.*) para la obtención de celulosa purificada por síntesis química” surge como una propuesta orientada a valorizar y transformar los residuos lignocelulósicos generados durante su procesamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar dos tratamientos para la obtención de celulosa purificada de fique considerando las variables del proceso tiempo y temperatura, sobre su índice de cristalinidad y sus propiedades estructurales con el propósito de optimizar su aprovechamiento como materia prima de mayor valor agregado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer un procedimiento experimental para la obtención y purificación de celulosa a partir de la planta de fique mediante tratamiento químico.
2. Caracterizar la celulosa purificada obtenida a partir de tratamiento 1 (T1) y tratamiento 2 (T2) mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Análisis Termogravimétrico (TGA), con el fin de identificar grupos funcionales, evaluar su estructura cristalina y determinar su estabilidad térmica.
3. Determinar el índice de cristalinidad utilizando la ecuación de Segal de la celulosa purificada obtenida a partir de tratamiento 1 (T1) y tratamiento 2 (T2) para comparar ambos tratamientos y su eficiencia.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales corresponden a los materiales sobrantes generados durante el procesamiento industrial de materias primas de origen agrícola. Aunque su acumulación puede representar un problema ambiental cuando no se gestionan adecuadamente, estos residuos también constituyen una fuente potencial para el desarrollo de nuevos productos y procesos, favoreciendo su aprovechamiento dentro de esquemas de economía circular (Romero-Sáez et al., 2022).

Dentro de este contexto, los residuos agrícolas destacan por su naturaleza lignocelulósica, ya que están compuestos principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos materiales se generan en grandes cantidades y representan uno de los recursos renovables más abundantes a nivel mundial; sin embargo, suelen presentar bajo valor económico y su disposición final continúa siendo un desafío en términos ambientales y de gestión.

Un ejemplo representativo es el fique (comúnmente conocido como cabuya en Colombia), una planta perteneciente a la familia Agavaceae y del género *Fucrea*. Esta especie ha sido utilizada desde tiempos ancestrales para la elaboración de cuerdas, cordeles, sacos, telas y tapetes, debido a que sus fibras presentan alta resistencia y son biodegradables. Actualmente, el fique se posiciona como una alternativa sostenible frente a materiales plásticos de un solo uso, como costales y bolsas sintéticas, cuya degradación genera un impacto negativo en el medio ambiente. (Solarte et al., 2023)

En este sentido, la revalorización de residuos se entiende como el proceso mediante el cual un desecho es transformado en un recurso útil, a través de tratamientos que permiten su aprovechamiento como materia prima o como fuente de compuestos de interés. Este enfoque contribuye a la reducción de residuos y al impulso de estrategias de desarrollo sostenible (Romero-Sáez et al., 2022).

Desde una perspectiva estructural, las fibras constituyen las unidades básicas de los materiales lignocelulósicos. Durante su procesamiento, pueden someterse a fenómenos como la fibrilación, que implica la separación o exposición de fibrillas más finas mediante tratamientos químicos o mecánicos. Este proceso modifica la estructura del material y puede ser analizado mediante técnicas como la microscopía electrónica de barrido (SEM), permitiendo observar los cambios morfológicos inducidos (Ortiz et al., 2014).

1.2 Tratamientos químicos

El tratamiento alcalino es uno de los métodos más utilizados para el procesamiento de materiales lignocelulósicos y consiste en la aplicación de agentes como hidróxido de sodio, calcio o amonio, con el objetivo de remover la lignina y parte de la hemicelulosa presentes en la biomasa. Este proceso favorece la ruptura de enlaces éster entre la lignina y los carbohidratos estructurales, lo que contribuye a la disminución del grado de polimerización y facilita la separación de los componentes de la matriz lignocelulósica. Como resultado, se promueve una mayor exposición de la celulosa y, en algunos casos, un incremento en su grado de cristalinidad (Morales et al., 2015).

La eficiencia de este tipo de tratamiento depende en gran medida de las condiciones operativas empleadas. Variables como el tiempo de reacción, la temperatura y la concentración de los reactivos influyen directamente en el grado de modificación de la biomasa, determinando la efectividad del pretratamiento y la calidad del material obtenido (Espinosa-Negrín et al., 2022).

1.3 Celulosa

La celulosa es la biomolécula más abundante en la naturaleza y constituye la mayor proporción de biopolímeros presentes en la Tierra. Su principal fuente proviene de materiales de origen vegetal, ya que forma parte fundamental de la pared celular de las plantas y desempeña un papel estructural clave en el tejido vegetal (García et al., 2023).

Desde el punto de vista químico, la celulosa es un polímero natural formado por unidades de D-glucosa enlazadas, lo que le confiere propiedades estructurales y funcionales de gran interés. Debido a su abundancia, carácter renovable y compatibilidad con el medio ambiente, este biopolímero ha sido ampliamente estudiado para diversas aplicaciones, particularmente como materia prima en la producción de materiales como hidrogeles y otros derivados de bajo costo, entre los que destaca la carboximetilcelulosa de sodio (Tovar et al., 2026).

La celulosa también se caracteriza por ser un polímero biocompatible susceptible de modificaciones químicas en su macroestructura, lo que permite la obtención de diversos derivados con aplicaciones específicas. Entre ellos, la carboximetilcelulosa (CMC) es uno de los más utilizados en sectores industriales, especialmente en las industrias alimentaria y farmacéutica. En este contexto, el aprovechamiento eficiente de sus aplicaciones depende en gran medida del estudio y control de las propiedades reológicas de sus soluciones acuosas (Barrantes-Jiménez et al., 2024).

Desde el punto de vista estructural, la celulosa está constituida por cadenas lineales de unidades de β -D-glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos $\beta(1\rightarrow4)$, lo que permite la formación de una estructura altamente ordenada a través de enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares (véase Figura 1). Esta organización da lugar a regiones cristalinas y amorfas dentro de la fibra, las cuales influyen directamente en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. En función de su origen y de los tratamientos a los que es sometida, la celulosa puede presentarse en diferentes formas polimórficas, entre las que destacan la celulosa tipo I (nativa), celulosa tipo II (regenerada o mercerizada), celulosa tipo III y celulosa tipo IV.

La celulosa tipo I se caracteriza por su estructura cristalina natural y alta rigidez, mientras que la tipo II presenta una reorganización de sus cadenas, lo que le confiere mayor estabilidad termodinámica. Por su parte, las formas tipo III y IV se obtienen mediante tratamientos químicos específicos, mostrando variaciones en su arreglo estructural y propiedades funcionales.

Estas diferencias estructurales son fundamentales para determinar el comportamiento de la celulosa en diversas aplicaciones industriales y científicas.

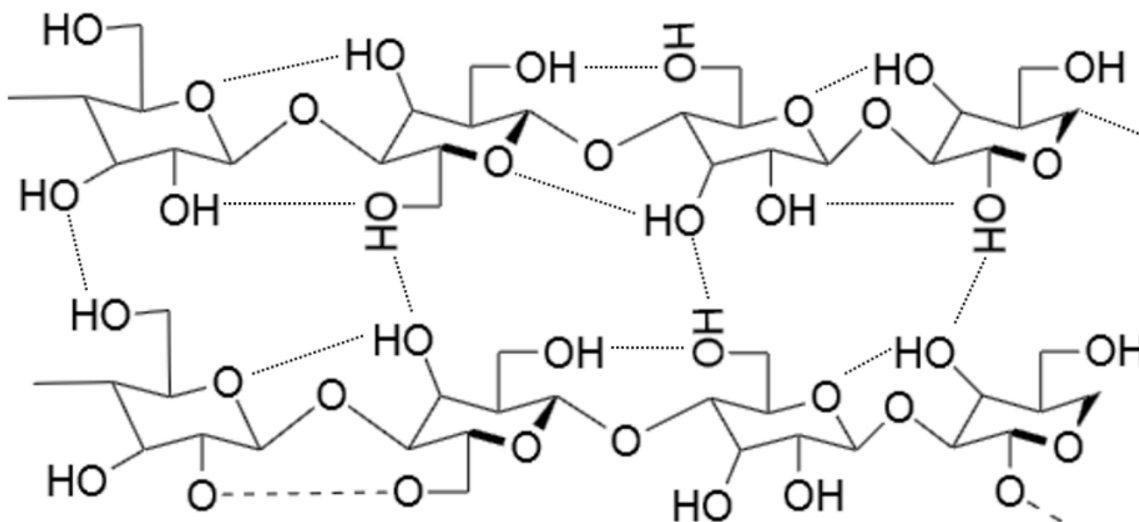


Figura 1. Estructura química de la celulosa adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., . 2022.

1.4 Lignina

Es un polímero aromático que contiene tres alcoholes aromáticos, incluidos el alcohol coniferílico, sinapílico y el p-cumarílico como se observa en la Figura 2. Este es el tercer componente principal en los residuos lignocelulósicos que actúan como una barrera uniéndose tanto a hemicelulosa como a la celulosa, y evita la penetración de las enzimas lignocelulolíticas en la estructura lignocelulósica interior, afectando la accesibilidad de los polisacáridos ricos en energía. Debido a las características de la lignina hace que sea el componente más resistente del material lignocelulósico para degradarse (Torres, D. et al., 2023).

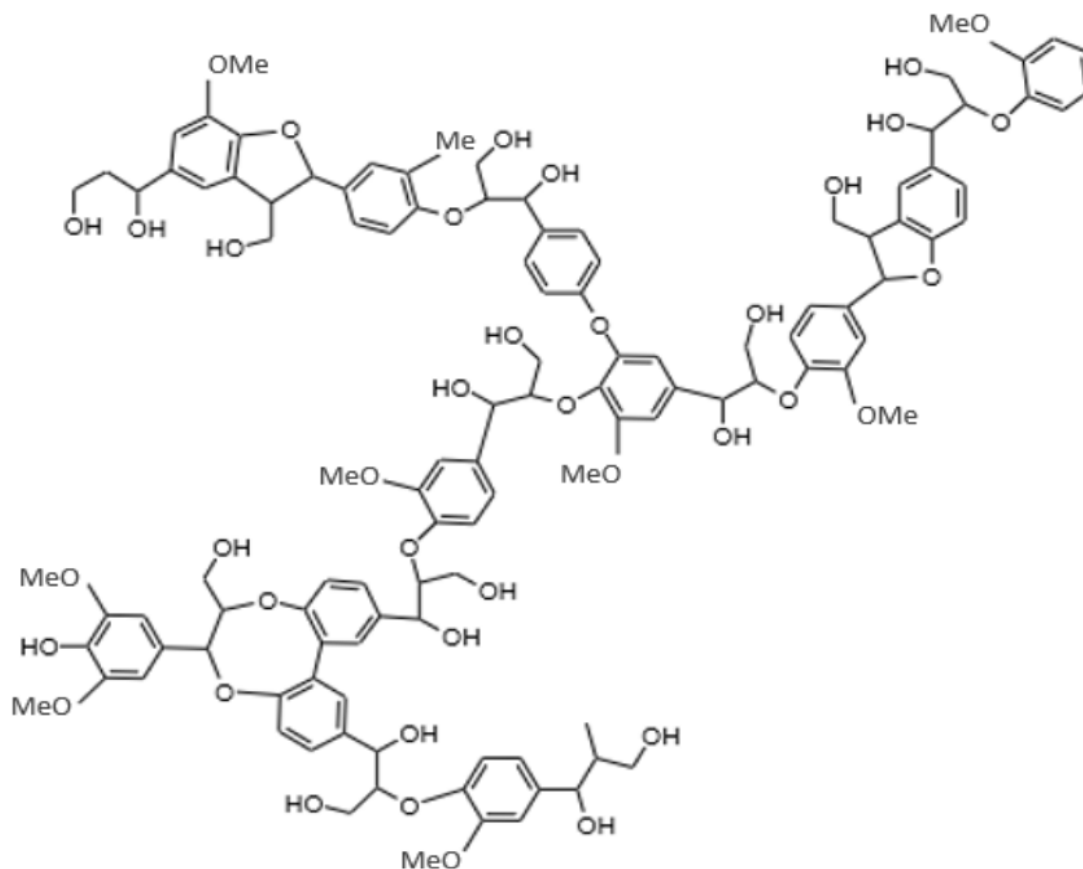


Figura 2. Estructura química de la lignina adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., . 2022.

1.5 Hemicelulosa

La hemicelulosa es un heteropolisacárido amorfo, caracterizado por presentar un bajo grado de polimerización, generalmente en un intervalo aproximado de 100 a 200 unidades monoméricas como se muestra en la Figura 3. Debido a esta estructura menos ordenada en comparación con la celulosa, su degradación térmica ocurre a temperaturas más bajas, iniciando comúnmente entre 130 y 270 °C.

Su composición química y estructural puede variar de acuerdo con el tipo de biomasa de la que provenga, representando entre 20 y 30 % de la madera y otros residuos lignocelulósicos.

Está conformada por diferentes azúcares simples, entre los que destacan *D*-xilosa, *D*-glucosa, *D*-galactosa, *L*-arabinosa, *D*-manosa y ácido *D*-glucurónico, los cuales forman una matriz polisacáridica ramificada que contribuye a la flexibilidad y reactividad química del material vegetal (Zambrano Flores, S. S. et al., 2025).

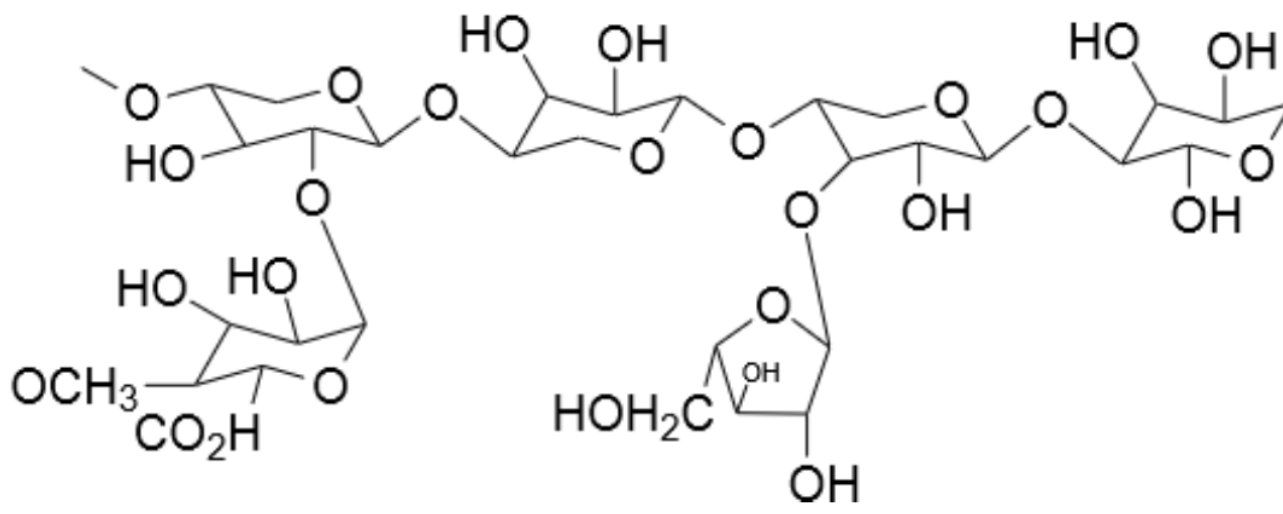


Figura 3. Estructura química de la hemicelulosa adaptada de Suárez Matallana, G. A. et al., . 2022.

1.6 Fique

El fique (*Furcraea spp.*) es una planta fibrosa de origen tropical perteneciente a la familia Agavaceae, ampliamente distribuida en la región andina de países como Colombia, Venezuela y Ecuador. Se caracteriza por su gran importancia agrícola, económica y tecnológica, debido a que de sus hojas se obtiene una fibra vegetal duram conocida como cabuya, utilizada tradicionalmente en la fabricación de sacos, cuerdas, cordeles, redes, hamacas y diversos productos textiles.

Se caracteriza por ser una planta de gran tamaño y crecimiento vertical, cuya altura oscila entre 2 y 7 m. Presenta hojas carnosas, largas y angostas, con dimensiones aproximadas de 1 a 3 m de longitud y de 10 a 20 cm de ancho como se muestra en la Figura 4.

Estas hojas son puntiagudas, acanaladas y se desarrollan directamente a partir del tallo, distribuyéndose radialmente alrededor de la planta. En las etapas tempranas de desarrollo, las plantas jóvenes forman un rosetón compuesto por hojas gruesas, carnosas y de tonalidad verde azulada. Por su parte, en la etapa adulta, la planta desarrolla en la base un tronco corto de hasta 30 cm, del cual aparecen hojas con superficie lisa y textura áspera en el envés. Los bordes de las hojas presentan un borde espinoso de color castaño o moreno rojizo, curvados hacia la parte distal y separados entre sí por segmentos inermes de 4 a 8 cm (Prieto Piñeros, H. S. et al., 2023).

En cuanto a su composición, las hojas de fique contienen aproximadamente 5 % de fibra larga, 70 % de jugo, 8 % de fibra corta o estopa y 17 % de bagazo (Duque, 2011). La fibra larga representa la fracción de mayor aprovechamiento industrial, ya que se emplea principalmente en la elaboración de productos textiles y materiales de empaque. (Prieto Piñeros, H. S. et al., 2023).

Desde el punto de vista taxonómico, el fique se clasifica dentro del reino *Plantae*, división *Spermatophyta*, clase *Angiospermae*, subclase *Monocotyledonae*, orden *Liliales*, familia *Agavaceae* y género *Furcraea*, dentro del cual destacan especies como *Furcraea macrophylla*, *Furcraea cabuya* y *Furcraea andina* (Pérez Mejía et al., 1974).

En términos morfológicos, esta planta presenta un hábito xerofítico, con un tallo corto y hojas dispuestas en forma de roseta basal. Dichas hojas son largas, lanceoladas, carnosas y fibrosas, con bordes que pueden ser lisos o presentar pequeñas espinas. Además, poseen una cutícula resistente, un alto contenido de mucílago y haces vasculares donde se localizan las fibras, características que favorecen su resistencia y funcionalidad estructural (Pérez Mejía et al., 1974).

El fique es un material lignocelulósico constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes responsables de su estructura y propiedades mecánicas. La celulosa, en particular, es el componente predominante de la fibra y está directamente relacionada con su resistencia a la tensión, flexibilidad y durabilidad.

Estas propiedades han favorecido su uso industrial y han despertado un creciente interés en su aplicación como biomaterial y materia prima en procesos sostenibles.

Finalmente, desde el punto de vista agronómico, el fique se adapta a climas templados y semicálidos, con buena exposición solar y tolerancia a diversos tipos de suelo, especialmente en zonas montañosas entre los 1000 y 2000 msnm. En estas condiciones, su cultivo representa una actividad de gran relevancia socioeconómica para diversas comunidades rurales. (Pérez Mejía et al., 1974).



Figura 4. Planta fibrosa de Fique, *Furcraea* spp.

CAPÍTULO 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

En la Figura 5 se presenta el esquema general del proceso empleado en este estudio para la obtención de celulosa a partir de material lignocelulósico de fique. El diagrama integra las etapas de recolección y acondicionamiento del material, seguidas de tratamientos químicos diferenciados (T1 y T2) que incluyen procesos alcalinos y de blanqueamiento bajo distintas condiciones operativas de tiempo, temperatura y concentración. Posteriormente, se describen las etapas de lavado, secado y preparación del material, orientadas a la eliminación de impurezas y a la mejora de las propiedades estructurales de la celulosa obtenida. Este esquema permite visualizar de manera

comparativa las rutas de procesamiento evaluadas y su impacto en la calidad del producto final.

2.1 Recolección y acondicionamiento del material

El fique (*Furcraea spp.*) fue recolectado dentro de las instalaciones de la Universidad Francisco de Paula seccional Ocaña (8° 14' 13.3" N, 73° 19' 15.4" W). (véase Figura 6). Posteriormente, el material fue sometido a un proceso de selección manual con el fin de eliminar impurezas y descartar fragmentos que presentaran signos de degradación. Una vez seleccionado, el material vegetal se cortó en secciones de aproximadamente 5 cm de longitud y se sometió a un proceso de secado en una incubadora (THERMO SCIENTIFIC, modelo 51029333, E.U.U.) a 60 °C durante 24 horas. Posteriormente, el fique seco fue triturado en un molino (Tecnal, modelo TE-650/1, Brasil) utilizando una criba de 880 µm, con el propósito de obtener un material homogéneo.

Finalmente, el material acondicionado fue trasladado al Laboratorio de Instrumental del Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, donde se llevó a cabo el tratamiento químico correspondiente.

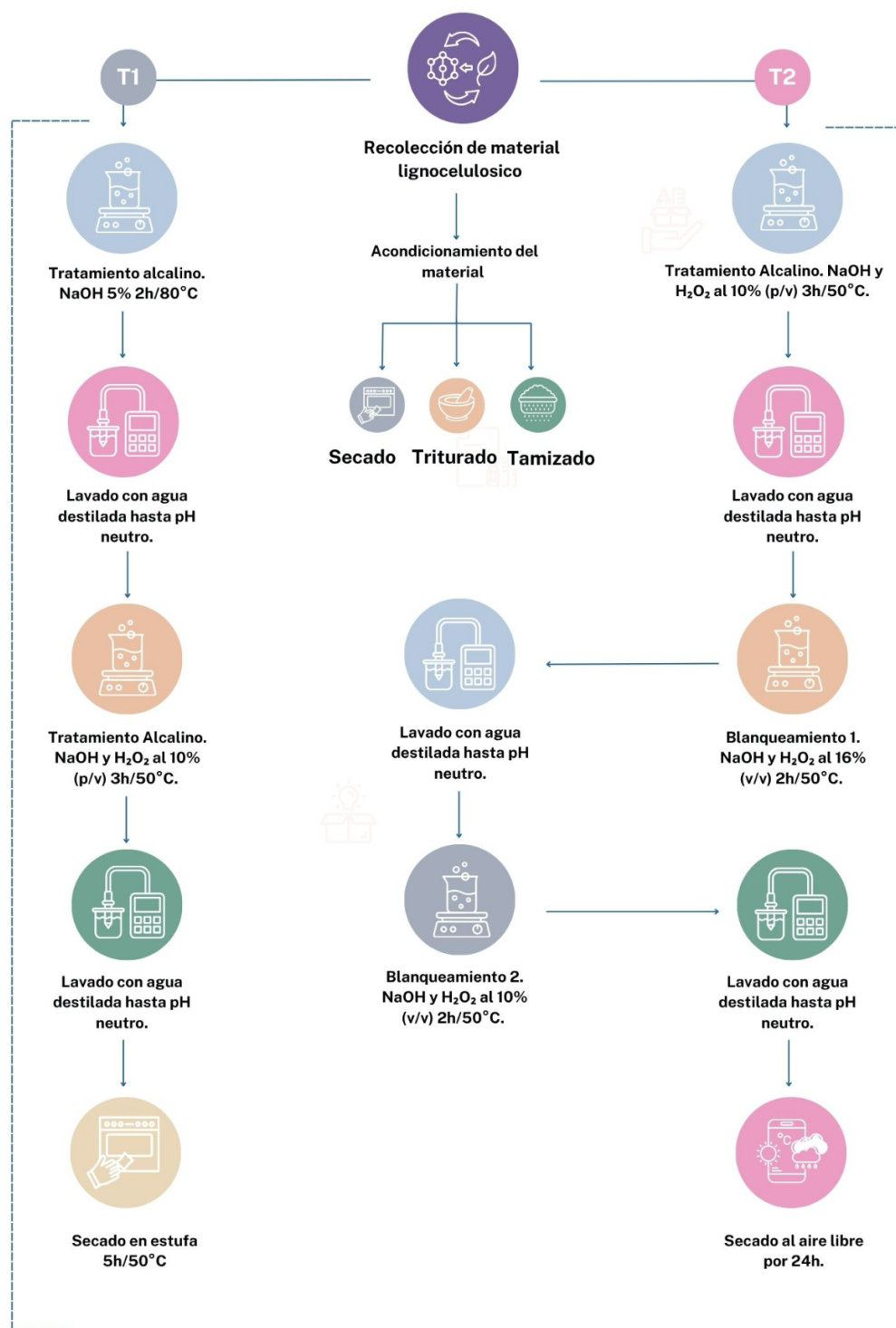


Figura 5. Esquema general del proceso de obtención de celulosa a partir de fique mediante dos tratamientos (T1 y T2).

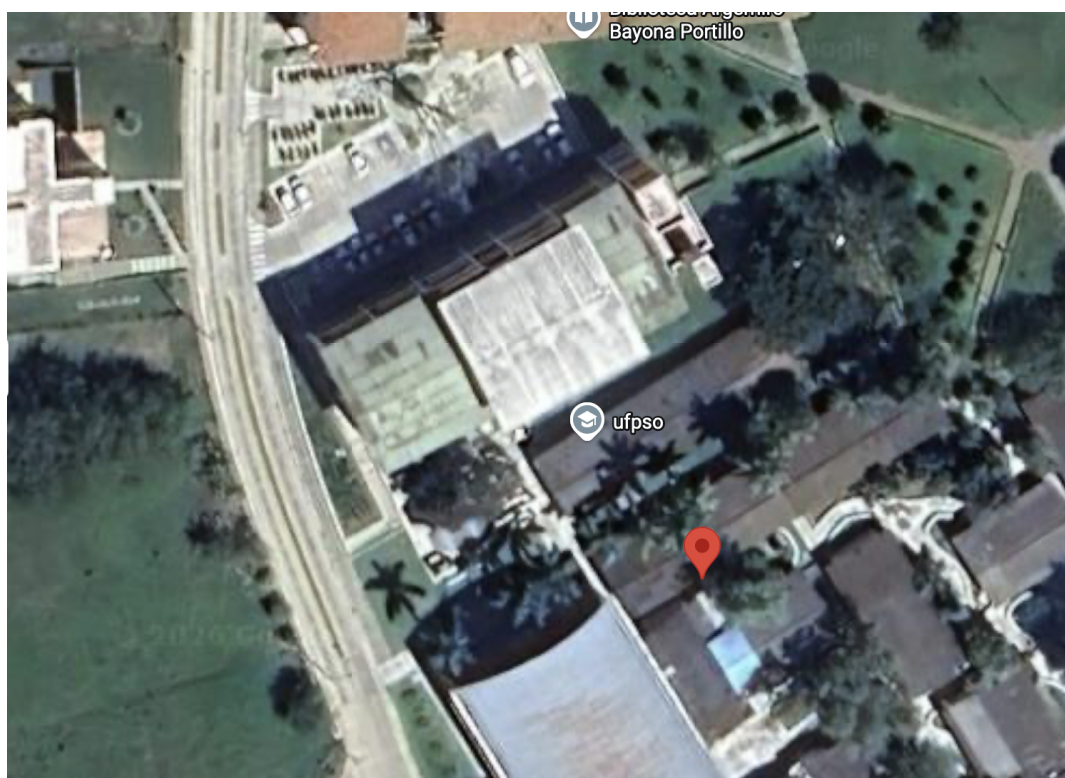


Figura 6. Punto de recolección de la planta fibrosa de Figue, *Furcraea spp*

2.2 Tratamiento 1

El tratamiento 1 (T1) se llevó a cabo mediante una secuencia de etapas químicas orientadas a la eliminación progresiva de componentes no celulósicos y a la purificación del material. Inicialmente, en la Etapa 1 el material lignocelulósico previamente acondicionado fue sometido a un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) al 5 % (P/V) durante 2 horas a 80 °C. En particular, esta etapa se enfocó a la remoción inicial de componentes no celulósicos presentes en la biomasa de fique, tales como lignina y hemicelulosa. Este proceso permitió favorecer la apertura de la estructura lignocelulósica y facilitar el acceso a la celulosa.

Posteriormente, en la Etapa 2 el material fue lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro, con el fin de eliminar residuos de reactivos y subproductos.. A continuación, en la Etapa 3, se aplicó un segundo tratamiento de carácter alcalino-oxidativo utilizando una mezcla de NaOH y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 10 % (P/V), durante 3 horas a

50 °C, lo que permitió una mayor remoción de lignina y la mejora en la pureza de la celulosa.

Después de este tratamiento, el material fue nuevamente lavado con agua destilada hasta alcanzar pH neutro. Finalmente, la muestra se sometió a un proceso de secado en estufa a 50 °C durante 5 horas, obteniéndose así la celulosa purificada correspondiente al tratamiento T1. En esta etapa se eliminan residuos de reactivos y subproductos generados durante el proceso. La Figura 7 esquematiza el procedimiento del tratamiento 1.

2.3 Tratamiento 2.

El tratamiento 2 (T2) consistió en una ruta de procesamiento que integra etapas alcalinas y de blanqueamiento con el objetivo de optimizar la eliminación de componentes no celulósicos y mejorar las propiedades estructurales del material. En primer lugar, el material acondicionado fue sometido a un tratamiento alcalino–oxidativo mediante una mezcla de NaOH y H₂O₂ al 10 % (p/v), durante 3 horas a 50 °C, condiciones basadas en la metodología propuesta por S. Ventura-Cruz y A. Tecante (2019), favoreciendo la remoción inicial de lignina y hemicelulosa.

Posteriormente, el material fue lavado con agua destilada hasta alcanzar pH neutro. Enseguida, se llevó a cabo una primera etapa de blanqueamiento utilizando una solución de NaOH y H₂O₂ al 16 % (V/V), durante 2 horas a 50 °C, con el fin de continuar la eliminación de compuestos cromóforos y mejorar la blancura del material. Tras este proceso, el material fue nuevamente lavado hasta pH neutro.

Posteriormente, se realizó una segunda etapa de blanqueamiento empleando NaOH y H₂O₂ al 10 % (V/V), durante 2 horas a 50 °C, reforzando así la purificación de la celulosa. Una vez finalizado este tratamiento, se efectuó un lavado final con agua destilada hasta alcanzar pH neutro. Finalmente, el material fue secado al aire libre durante 24 horas, obteniendo la celulosa correspondiente al tratamiento T2. La Figura 8 esquematiza el procedimiento del tratamiento 2.

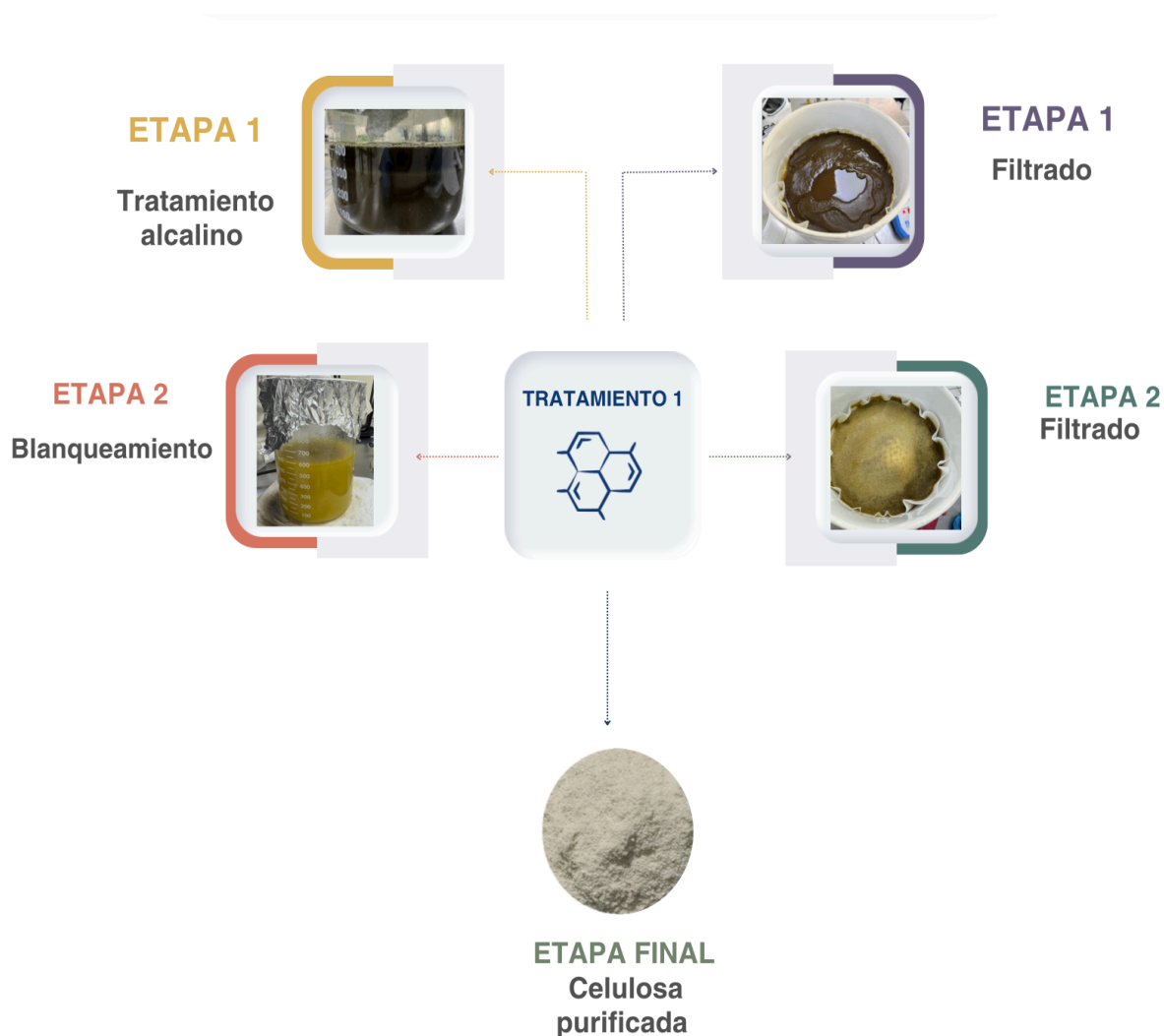


Figura 7. Esquema del tratamiento 1 de extracción de celulosa a partir de la planta de Fique.

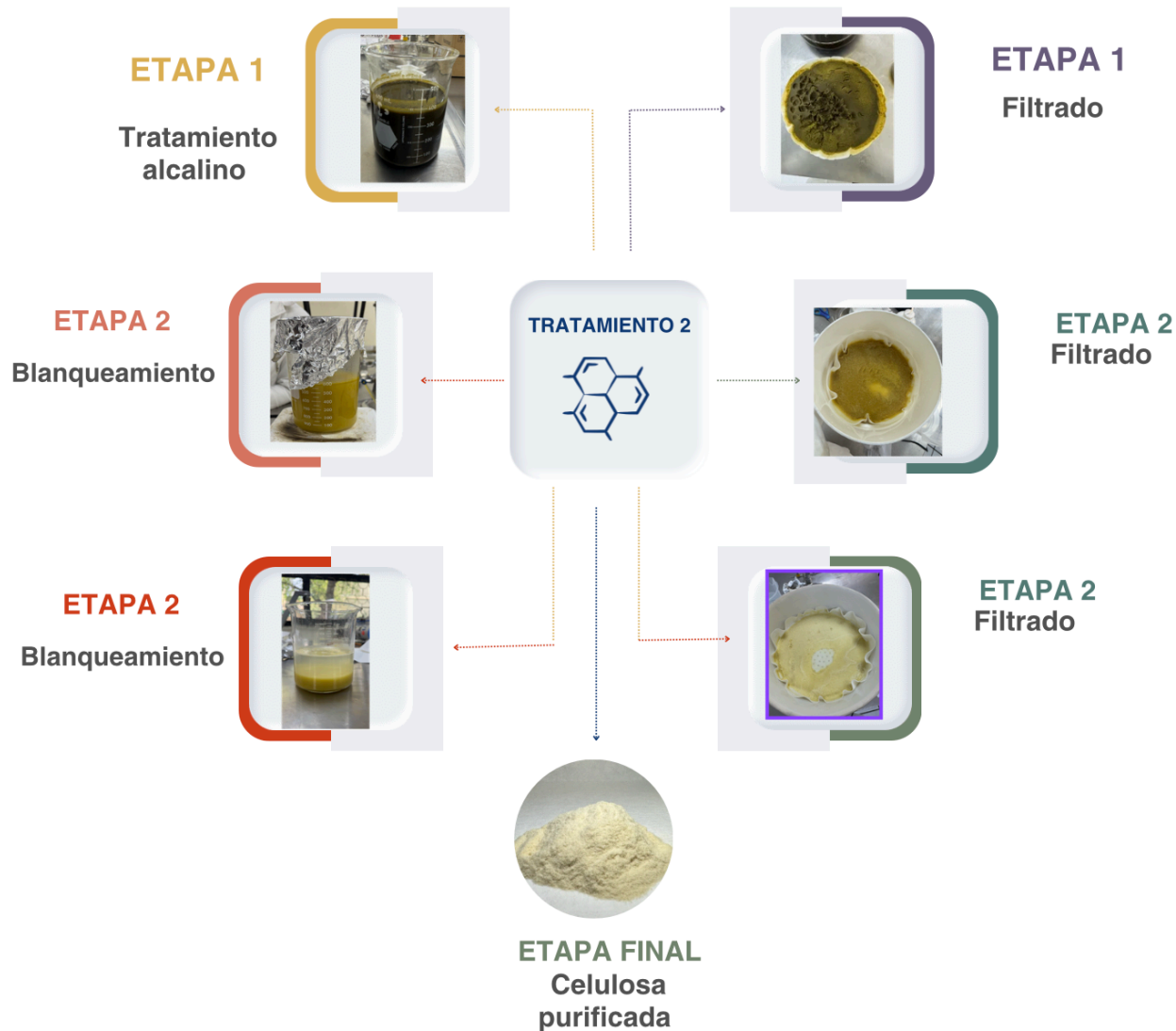


Figura 8. Esquema del tratamiento 2 de extracción de celulosa a partir de la planta de Fique.

En conjunto, los tratamientos T1 y T2 permitieron obtener celulosa a partir de fique mediante enfoques diferenciados de procesamiento químico, evidenciando la influencia de las condiciones operativas y la secuencia de etapas en la calidad del material final.

Mientras que T1 se caracteriza por una estrategia escalonada con mayor intensidad térmica inicial, orientada a la remoción estructural de componentes no celulósicos, T2 incorpora un enfoque más progresivo basado en etapas sucesivas de blanqueamiento que favorecen la purificación y mejora de las propiedades visuales del material.

Estas diferencias metodológicas permiten establecer una base comparativa para evaluar el efecto de cada tratamiento sobre parámetros clave, como el índice de cristalinidad y las propiedades estructurales de la celulosa, contribuyendo así a la identificación de condiciones de proceso más eficientes para su aprovechamiento como materia prima de valor agregado.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir del proceso de obtención y purificación de celulosa de la biomasa de fique (*Furcraea* spp.), mediante tratamientos químicos alcalinos y etapas sucesivas de blanqueamiento. El análisis se centra en evaluar los cambios estructurales, químicos y térmicos inducidos durante cada una de las etapas del proceso, con el propósito de determinar la eficiencia de los tratamientos aplicados en la remoción de componentes no celulósicos y en el incremento del grado de pureza del material. Para ello, se emplearon técnicas de caracterización como Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Difracción de Rayos X (DRX) y Análisis Termogravimétrico (TGA), las cuales permitieron identificar grupos funcionales, evaluar la estructura cristalina y analizar la estabilidad térmica de la celulosa obtenida. Asimismo, los resultados se discuten en relación con lo reportado en la literatura, con el fin de establecer la viabilidad del proceso propuesto y su potencial aplicación en el aprovechamiento sostenible de residuos lignocelulósicos.

3.1 Celulosa purificada.

En las Figuras 9a y 9b se presenta la celulosa microcristalina (CMC) obtenida a partir de la planta de fique, la cual exhibe un tono blanco característico. Este cambio en la coloración del material es un indicador cualitativo de la efectividad del proceso de purificación, ya que refleja la remoción de compuestos cromóforos presentes en la biomasa lignocelulósica, principalmente lignina y, en menor proporción, hemicelulosas.

La lignina, responsable de la coloración oscura o amarillenta en las fibras naturales, contiene estructuras aromáticas que absorben radiación en el espectro visible; por lo tanto, su eliminación durante los tratamientos químicos contribuye significativamente a la obtención de un material más claro.

Asimismo, la disminución de hemicelulosas y otros componentes amorfos favorece la exposición de la fracción celulósica, lo que no solo impacta en la apariencia visual, sino también en la organización estructural del material. La obtención de una celulosa con tonalidad blanca sugiere un adecuado proceso de deslignificación y blanqueamiento, lo cual es relevante para aplicaciones donde se requiere alta pureza y uniformidad, como en la producción de materiales de valor agregado (Romero-Zúñiga et al., 2022).

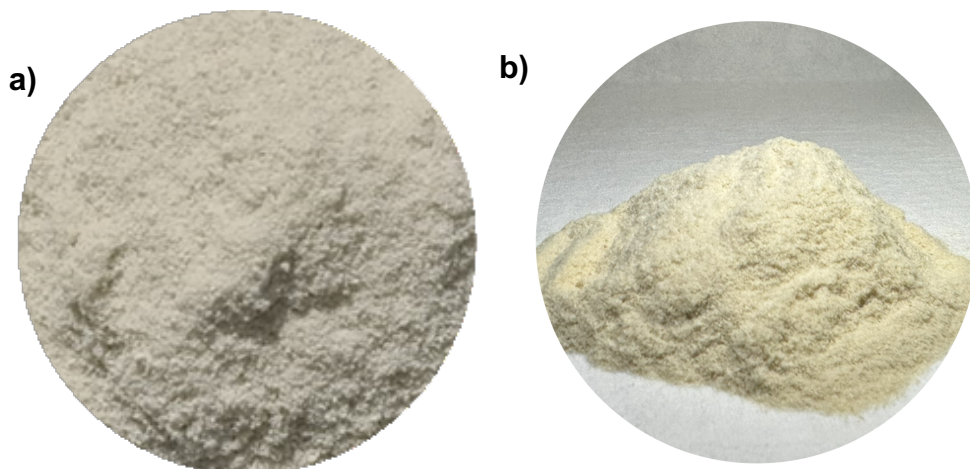


Figura 9. Celulosa obtenida de fique después del tratamiento químico T1(a) y T2(b) respectivamente.

3.2. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR)

En las Figuras 10a y 10b se presentan los espectros FTIR de la celulosa microcristalina obtenida a partir de los tratamientos T1 y T2, en los cuales se identifican las bandas características asociadas a los principales grupos funcionales de la estructura celulósica.

En ambos casos, la presencia de estas señales confirma que los tratamientos aplicados favorecieron la conservación de la fracción celulósica del fique. No obstante, se observaron diferencias en la intensidad y definición de ciertas bandas, particularmente aquellas relacionadas con componentes no celulósicos como lignina y hemicelulosa.

En los espectros correspondientes a T1 y T2 se distingue una banda ancha alrededor de 3336 cm^{-1} , atribuida al estiramiento de los grupos hidroxilo (O–H), característica de los enlaces de hidrógeno presentes en la celulosa. De igual manera, la señal cercana a 2917 cm^{-1} corresponde al estiramiento de los enlaces C–H alifáticos. Estas bandas evidencian la presencia de la matriz polisacáridica en ambos tratamientos, lo que confirma la integridad estructural de la celulosa obtenida (Ríos, J. et al 2025).

Las principales diferencias entre los tratamientos se identifican en la región de 1733 cm^{-1} , asociada a grupos carbonilo (C=O) provenientes de hemicelulosas y compuestos acetilados, así como en la banda cercana a 1504 cm^{-1} , relacionada con las vibraciones aromáticas de la lignina. En el tratamiento T1, estas señales presentan una disminución más pronunciada en comparación con T2, lo que sugiere una mayor remoción de hemicelulosa y lignina residual. Este comportamiento indica que T1 fue más eficiente en el proceso de deslignificación y purificación del material.

Por otra parte, en ambos tratamientos se mantiene señales en el intervalo de 1406 y 1317 cm^{-1} , asociadas a deformaciones de grupos CH_2 , en la estructura interna de la celulosa, así como una banda intensa en 1031 cm^{-1} atribuida al estiramiento C–O de los carbonos C2, C3 y C6 (Ovalle et al., 2018; Katakojwala & Mohan, 2020). Finalmente, la banda en 897 cm^{-1} , correspondiente a los enlaces β -glicosídicos característicos de la celulosa, se presenta con mayor definición en T1, lo que refuerza la obtención de una estructura celulósica más purificada en este tratamiento.

a

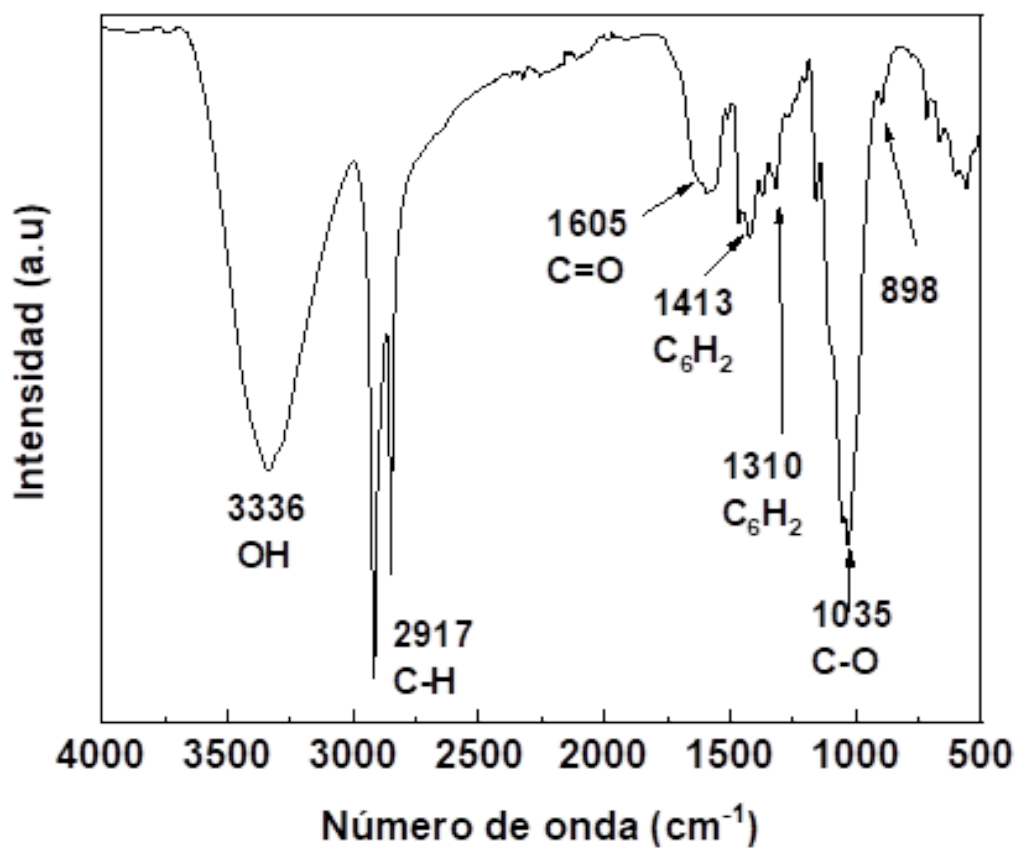


Figura 10a . Espectro FTIR de celulosa de fique obtenida mediante el tratamiento T1.

b

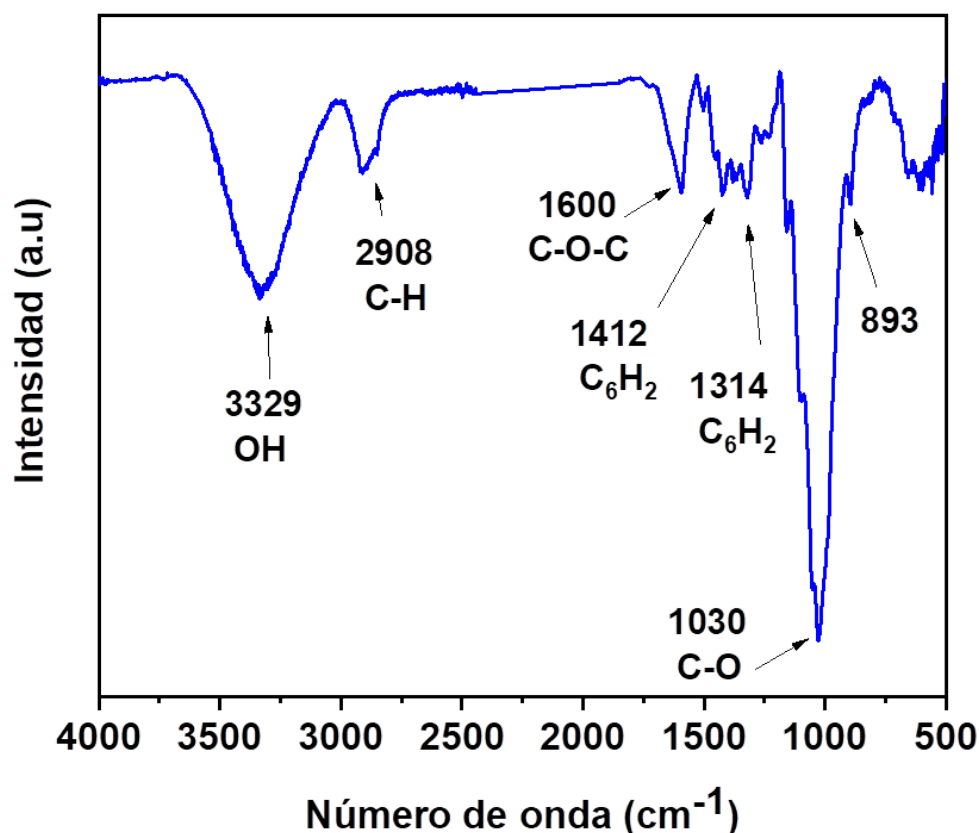


Figura 10b. Espectro FTIR de celulosa de fique obtenida mediante el tratamiento T2.

3.3. Difracción de Rayos X (DRX)

En la Figura 11a y 11b se presentan los difractogramas de rayos X (DRX por sus siglas en inglés) de las muestras de celulosa obtenidas mediante los tratamientos T1 y T2. En ambos casos, se identifican los picos característicos de la celulosa tipo I, particularmente alrededor de $2\theta \approx 16^\circ$ y 22° , correspondientes a los planos cristalográficos (110) y (200), (Romero-Zúñiga et al., 2022) respectivamente, lo que confirma la conservación de la estructura cristalina de la celulosa tras los procesos de tratamiento. No obstante, se observaron diferencias en la intensidad y definición de estos picos entre ambos tratamientos.

En el tratamiento T1, el pico asociado al plano (200) se presenta con mayor intensidad y menor ancho, lo que sugiere un mayor grado de ordenamiento estructural y, por ende, un incremento en el índice de cristalinidad. En contraste, el tratamiento T2 muestra picos ligeramente más anchos y de menor intensidad, lo que indica la presencia de una mayor fracción amorfa, posiblemente asociada a residuos de hemicelulosa y lignina. Estos resultados son consistentes con el análisis FTIR, donde T1 evidenció una mayor remoción de componentes no celulósicos, lo que favorece la reorganización de las regiones cristalinas. En conjunto, el análisis por DRX confirma que las condiciones empleadas en T1 fueron más efectivas para mejorar la cristalinidad de la celulosa obtenida a partir de fique.

a

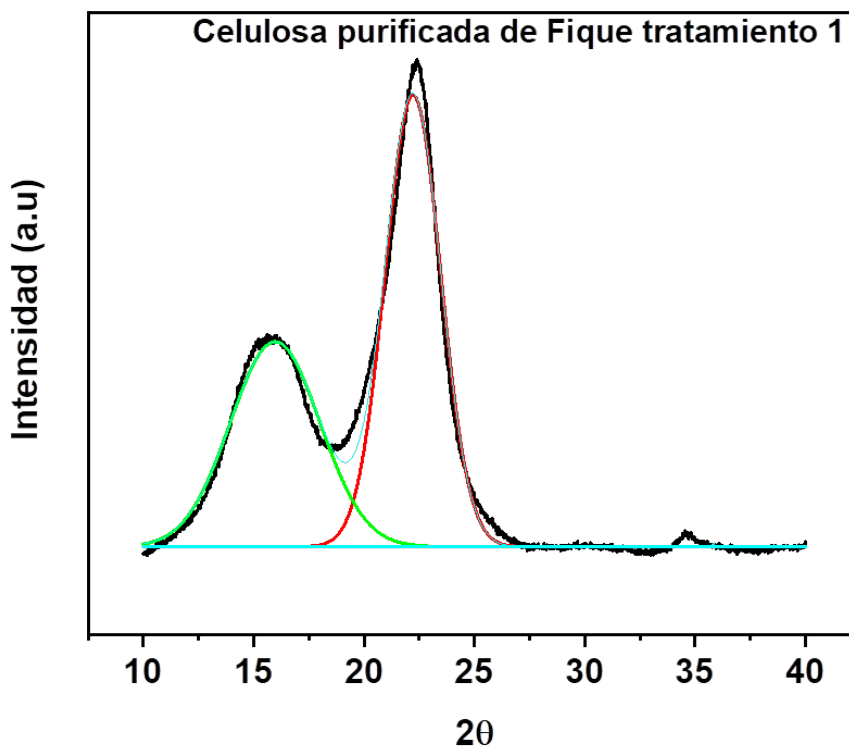


Figura 11a. Difractograma de bagazo de fique obtenida mediante el tratamiento 1.

b

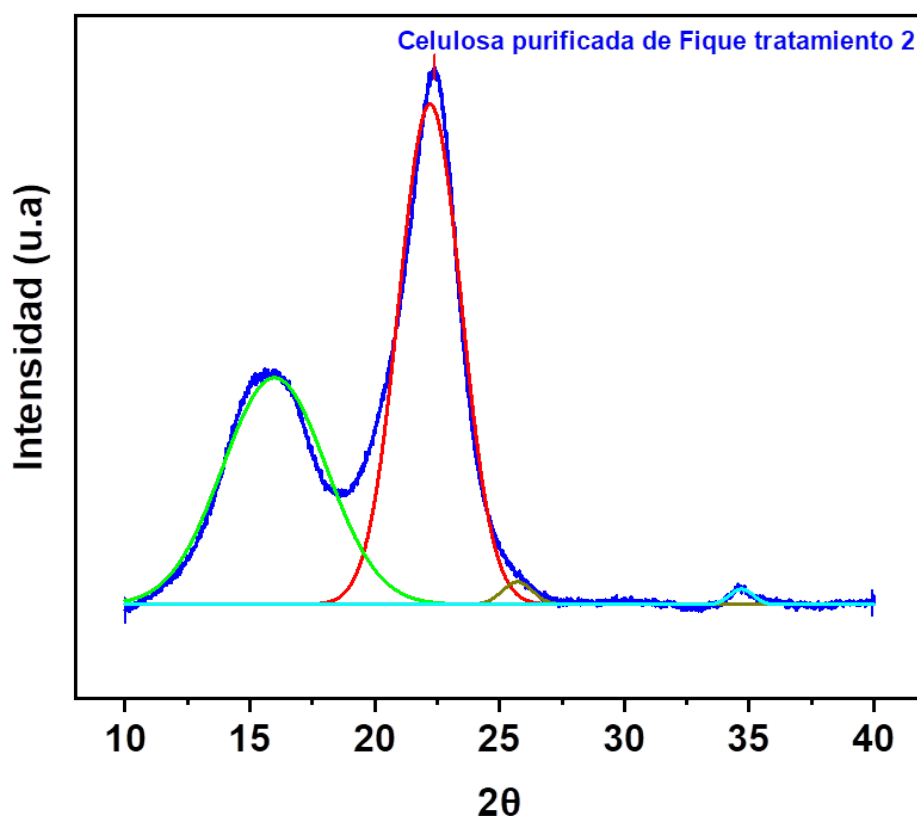


Figura 11b. Difractograma de bagazo de fique obtenida mediante el tratamiento 2.

El índice de cristalinidad (IC) de las muestras de celulosa obtenidas mediante los tratamientos T1 y T2 fue estimado a partir de los difractogramas de rayos X utilizando el método de Segal. Este se basa en la relación entre la intensidad máxima del pico cristalino correspondiente al plano (200), ubicado aproximadamente en $2\theta \approx 22^\circ$, y la intensidad mínima asociada a la región amorfa, alrededor de $2\theta \approx 18^\circ$. El índice de cristalinidad se calculó mediante la ecuación 1.

Ecuación de Seagal

$$IC (\%) = \left[\frac{(I_{200} - I_{am})}{I_{200}} \right] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$



Donde I_{200} representa la intensidad máxima del pico cristalino y I_{am} corresponde a la intensidad de la fase amorfa (Paucara, S et al., 2023).

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 1 se puede observar que la cristalinidad de la celulosa obtenida mediante el tratamiento T1 fue de 79.5 % y para la correspondiente al tratamiento T2 de 76.5 %. Este incremento en la cristalinidad indica una remoción efectiva de componentes amorfos, como lignina y hemicelulosa, favoreciendo el aumento relativo de las regiones cristalinas propias de la celulosa. Además de la diferencia en el índice de cristalinidad, es importante destacar que los valores de intensidad del pico cristalino (I_{200}) son muy similares en ambos tratamientos, lo que indica que la formación de la fase cristalina de la celulosa se mantiene en condiciones comparables. Sin embargo, la principal diferencia radica en la intensidad de la región amorfa (I_{am}), donde el tratamiento T2 presentó un valor mayor (6000) en comparación con T1 (5200). Esto sugiere que el tratamiento T2 conserva una mayor proporción de componentes amorfos, como lignina y hemicelulosa residual, mientras que T1 favorece una mayor remoción de estas fracciones.

En consecuencia, el incremento en el índice de cristalinidad observado en T1 no se debe a una mayor generación de estructura cristalina, sino a una reducción más eficiente de la fracción amorfa, lo que resulta en un material más ordenado y estructuralmente homogéneo.

Tabla 1. Índices de cristalinidad de la celulosa purificada en condiciones óptimas.

Muestra	I_{200}	I_{am}	IC (%)
Celulosa tratamiento-T1	25433	5200	79.5
Celulosa tratamiento- T2	25560	6000	76.5

3.4. Análisis Termogravimétrico (TGA)

En la Figura 12a y 12b se muestran los termogramas (TGA) correspondientes a la celulosa purificada de fique obtenida mediante los tratamientos T1 y T2 respectivamente, donde se observa la variación de la pérdida de masa en función del incremento de la temperatura. Ambas curvas muestran un comportamiento típico de materiales celulósicos, caracterizado por etapas bien definidas de descomposición térmica.

Para el tratamiento T1, en la Figura 12a, se identifica una primera etapa de pérdida de masa cercana a 7 % a una temperatura de 82.19 °C, la cual se atribuye a la eliminación de humedad superficial y compuestos volátiles adsorbidos en la muestra. Posteriormente, se observa una región de relativa estabilidad térmica que se extiende hasta aproximadamente 267 °C. A partir de esta temperatura inicia la etapa principal de degradación, en la que ocurre la descomposición de la estructura celulósica, registrándose una pérdida de masa cercana al 69 %. Finalmente, al alcanzar una temperatura de 687 °C, la pérdida total de masa asciende aproximadamente a 93 %, correspondiente a la degradación completa del material orgánico y la formación de residuos carbonosos.

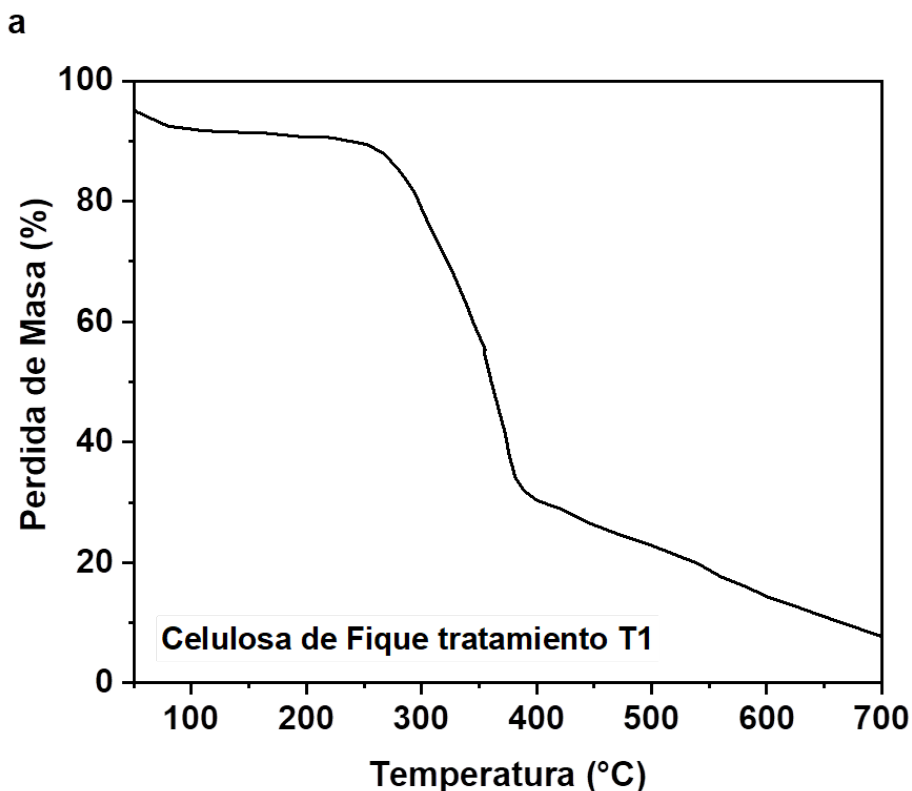


Figura 12a . Termograma de celulosa de Fique obtenida mediante el tratamiento T1.

En el caso del tratamiento T2 (Figura 12b), se presenta una primera pérdida de masa de 6 % a 72.45 °C, igualmente asociada a la eliminación de agua retenida en la estructura. Posteriormente, la muestra mantiene una estabilidad térmica hasta alrededor de 270 °C. Superada esta temperatura, se observa la etapa principal de degradación térmica, con una pérdida de masa cercana al 66 %, atribuida a la descomposición de la celulosa. Finalmente, al alcanzar los 695 °C, la pérdida total de masa es aproximadamente de 92 %, evidenciando un comportamiento térmico comparable al del tratamiento T1.

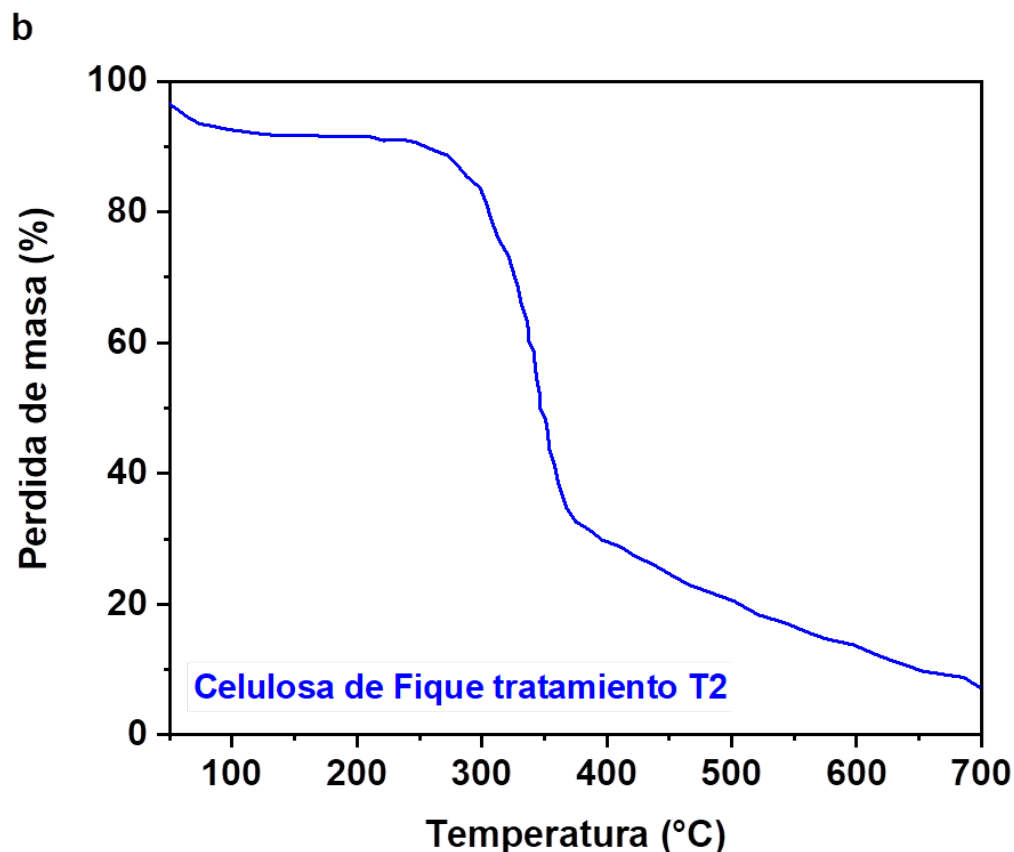


Figura 12b . Termograma de celulosa de Figue obtenida mediante el tratamiento T2.

De manera comparativa, ambos tratamientos presentan perfiles térmicos similares, lo que confirma la obtención de materiales con naturaleza celulósica. No obstante, el tratamiento T1 muestra una temperatura inicial de degradación ligeramente mayor y una pérdida de masa más pronunciada en la etapa principal, lo que sugiere una mayor pureza y menor presencia de componentes residuales como lignina y hemicelulosa. Por su parte, el tratamiento T2 presentó degradación inicial a menor temperatura, lo que podría indicar la presencia de fracciones amorfas o impurezas remanentes. En conjunto, estos resultados evidencian que el tratamiento T1 proporciona una celulosa con mejor comportamiento térmico, asociada a una estructura más homogénea y purificada.



3.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La caracterización morfológica de las muestras se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés), con el fin de evaluar los cambios estructurales inducidos por los tratamientos químicos aplicados. Para el análisis dimensional de las micrografías se empleó el software ImageJ, previa calibración utilizando la barra de escala incorporada en cada imagen, lo que permitió obtener mediciones precisas de longitud y ancho de las fibras.

En las micrografías correspondientes a la Figura 13a (tratamiento T1) se observan superficies con alta rugosidad, caracterizadas por la presencia de estructuras fibrilares alargadas, fragmentadas y con una notable separación entre ellas. Este comportamiento evidencia un efecto significativo del tratamiento químico sobre la biomasa lignocelulósica, favoreciendo la desintegración de los haces fibrilares y la exposición de la fracción celulósica (Ríos, J. et al 2025). En la Figura 13a se determinó una longitud promedio de 159.19 μm y un diámetro aparente de 16.591 μm , mientras que en la Figura 13b se obtuvo una longitud de 101.853 μm y un diámetro aparente de 10.48 μm . Estas dimensiones, junto con la morfología observada, indican una mayor apertura estructural y una reducción en el tamaño de las fibras, lo que sugiere una remoción más eficiente de componentes amorfos como lignina y hemicelulosa. Asimismo, se aprecia una orientación irregular y diámetros variables, características típicas de materiales sometidos a procesos de deslignificación y fibrilación.

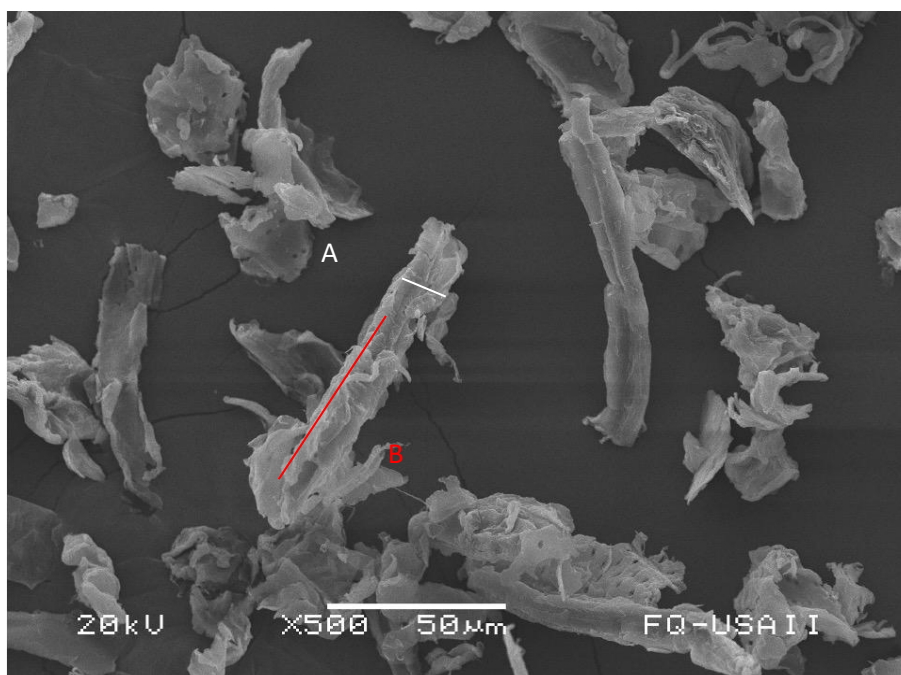
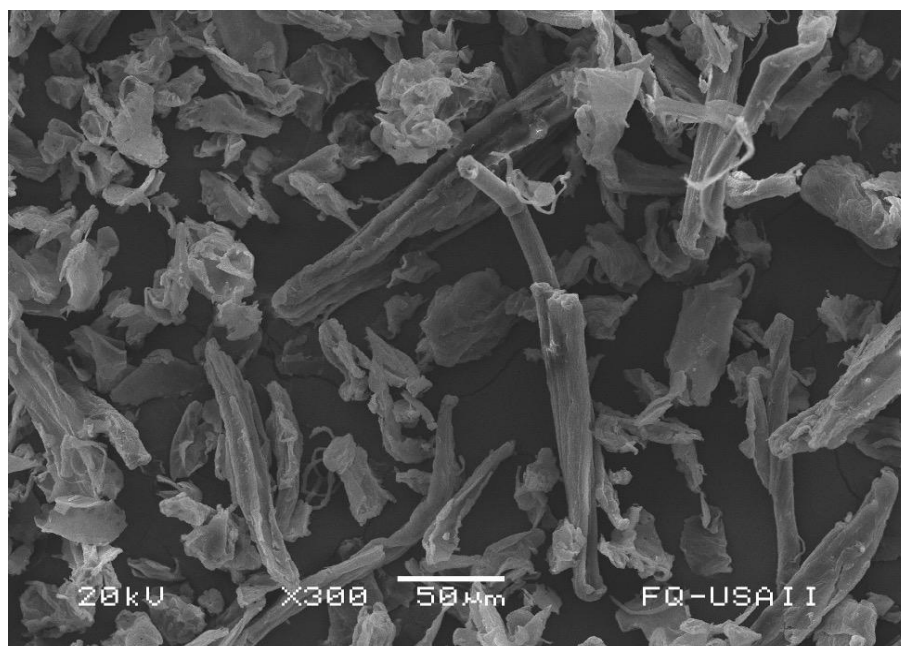
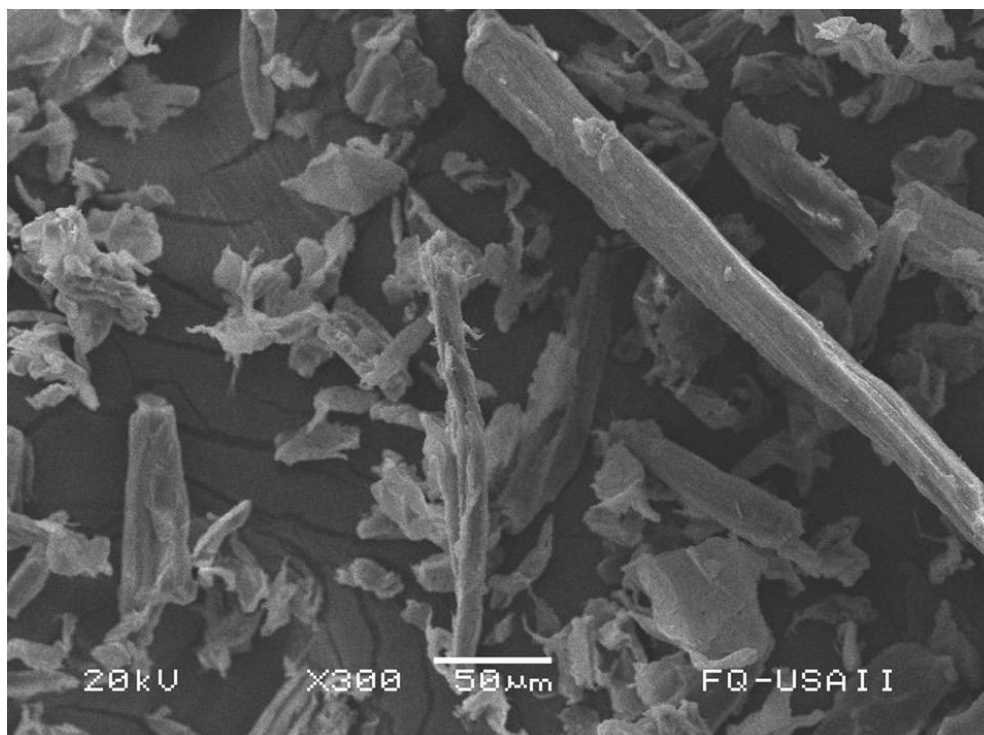


Figura 13. Micrografías de celulosa purificada obtenida mediante el tratamiento T1 a 300X y 500X aumentos.

Por otro lado, en las micrografías de la Figura 14 (tratamiento T2) se observan fibras de mayor tamaño, con una morfología más compacta y menos fragmentada en comparación con T1. En la Figura 14a se registró una longitud promedio de 625.12 μm y un ancho de 57.49 μm , mientras que en la Figura 14b se observó una longitud de 903.69 μm y un ancho de 71.45 μm . Estas estructuras conservan haces fibrilares más gruesos y parcialmente unidos, lo que sugiere una menor eliminación de los componentes amorfos que actúan como matriz cementante entre las fibras. La menor apertura estructural observada indica que el tratamiento T2 fue menos agresivo en términos de desintegración de la estructura lignocelulósica.

De manera comparativa, el tratamiento T1 mostró una modificación más evidente en la estructura del fique, generando fibras más finas, separadas y con mayor grado de fibrilación. En contraste, el tratamiento T2 conservó en mayor proporción la morfología original del material. Estos resultados indican que el tratamiento T1 presenta una mayor eficiencia en la remoción de lignina y hemicelulosa, favoreciendo la obtención de una estructura más homogénea y rica en celulosa, lo cual es consistente con los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos previos.



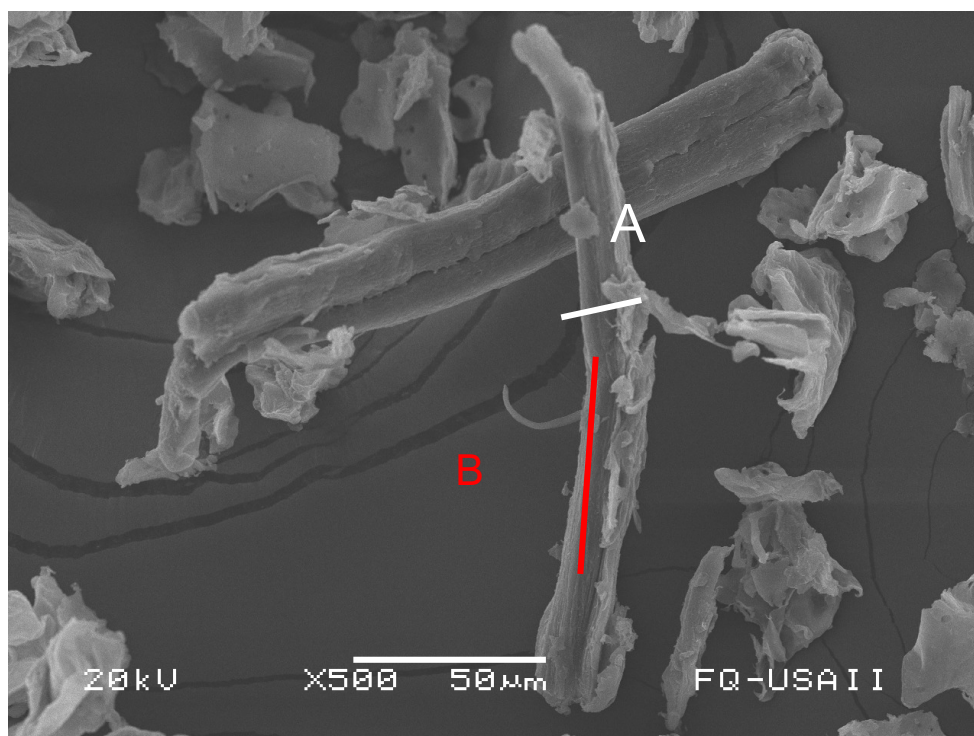


Figura 14. Micrografías de celulosa purificada obtenida mediante el tratamiento T2 a 500X y 300X aumentos.



3.6 Análisis comparativo de los tratamientos T1 y T2: efecto sobre la cristalinidad y propiedades estructurales de la celulosa de fique.

Las diferencias entre los tratamientos T1 y T2 radican principalmente en la secuencia de las etapas químicas, las condiciones de operación y el enfoque del proceso de purificación. El tratamiento T1 se basa en una estrategia escalonada que inicia con un tratamiento alcalino más severo (NaOH al 5 % a 80 °C), seguido de una etapa alcalino-oxidativa, lo que favorece una remoción progresiva de lignina y hemicelulosa. En contraste, el tratamiento T2 emplea desde el inicio un tratamiento alcalino-oxidativo (NaOH y H₂O₂ al 10 % a 50 °C), complementado con dos etapas de blanqueamiento sucesivas, lo que intensifica la eliminación de compuestos cromóforos y mejora la blancura del material. Asimismo, T1 finaliza con un secado en estufa bajo condiciones controladas, mientras que T2 utiliza un secado al aire libre, lo que puede influir en las propiedades finales de la celulosa. En conjunto, T1 prioriza la remoción estructural inicial de componentes no celulósicos, mientras que T2 enfatiza procesos de blanqueamiento para lograr una mayor pureza y calidad visual del producto final.

En términos de condiciones operativas, ambos tratamientos presentan diferencias relevantes en el tiempo total de procesamiento, la temperatura y la intensidad del tratamiento aplicado. El tratamiento T1 implica una etapa inicial a mayor temperatura (80 °C), lo que favorece una mayor remoción estructural en menor tiempo; sin embargo, su secuencia de etapas y el secado en estufa incrementan el tiempo total del proceso bajo condiciones controladas. Por otro lado, el tratamiento T2 se desarrolla a temperaturas moderadas (50 °C) en todas sus etapas, lo que implica un proceso más uniforme pero con mayor número de etapas, incluyendo dos ciclos de blanqueamiento, lo que puede aumentar el tiempo global de procesamiento. En cuanto a la velocidad de agitación, aunque se mantiene constante en ambos tratamientos para asegurar una adecuada interacción entre la biomasa y los reactivos, su efecto es determinante en la homogeneidad del proceso y en la eficiencia de remoción de componentes no celulósicos. En conjunto, T1 representa un proceso más intensivo en temperatura, mientras que T2 prioriza condiciones más suaves pero con mayor repetición de etapas,

lo que permite evaluar el impacto de estas variables en la calidad final de la celulosa obtenida.

A partir de los valores obtenidos del índice de cristalinidad, se observa que el tratamiento T1 presentó un mayor grado de cristalinidad (79.5 %) en comparación con el tratamiento T2 (76.5 %), lo que indica una mayor eficiencia en la eliminación de componentes amorfos como lignina y hemicelulosa. Esta diferencia puede explicarse por la naturaleza más intensiva del tratamiento T1, el cual inicia con una etapa alcalina a mayor temperatura (80 °C), favoreciendo una desestructuración más efectiva de la matriz lignocelulósica y facilitando el acceso a la fracción celulósica. En contraste, el tratamiento T2, aunque incorpora etapas adicionales de blanqueamiento, opera bajo condiciones térmicas más suaves (50 °C), lo que puede limitar la remoción estructural profunda de los componentes amorfos, manteniendo parcialmente la organización original de la biomasa.

Asimismo, el mayor índice de cristalinidad en T1 correlaciona con los resultados obtenidos mediante técnicas complementarias como FTIR y SEM, donde se evidenció una mayor eliminación de lignina y una estructura más fibrilada. Por otro lado, aunque T2 mostró una mejora en la apariencia visual del material debido a sus etapas de blanqueamiento, este enfoque no necesariamente se traduce en una mayor organización cristalina. En este sentido, se puede inferir que existe una relación directa entre la severidad del tratamiento químico y el incremento en la cristalinidad, siendo T1 el tratamiento más efectivo para la obtención de celulosa con mayor orden estructural y potencial para aplicaciones de mayor valor agregado.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El proceso de purificación de la celulosa obtenida a partir de la planta de fique demostró ser eficiente en la remoción de componentes no celulósicos, principalmente lignina y hemicelulosa. Esta eficiencia se evidenció de manera cualitativa mediante el cambio de coloración hacia un tono blanquecino en el material obtenido, así como de forma cuantitativa a través del análisis FTIR, donde se observó una disminución significativa en la intensidad de las bandas características de lignina ($\approx 1504 \text{ cm}^{-1}$) y grupos carbonilo asociados a hemicelulosas ($\approx 1733 \text{ cm}^{-1}$).

El análisis por difracción de rayos X (DRX) confirmó la presencia de celulosa tipo I, al identificarse los picos característicos en $2\theta \approx 16^\circ$, 22° y 35° . Asimismo, se observó un incremento en el grado de cristalinidad del material, lo cual indica una eliminación efectiva de la fracción amorfa. A partir del método de Segal y del análisis del mínimo local, se determinó que el índice de cristalinidad alcanzó valores cercanos al 79.5 % para el tratamiento T1 y 76.5 % para el tratamiento T2, evidenciando una mayor eficiencia del tratamiento T1 en la obtención de una estructura más ordenada.

Los resultados de microscopía electrónica de barrido (SEM) corroboraron estos hallazgos, mostrando que el tratamiento T1 promovió una mayor fibrilación, con fibras más delgadas, separadas y con mayor apertura estructural, mientras que el tratamiento T2 conservó en mayor medida la morfología original del material. Esto sugiere que T1 favorece una desestructuración más profunda de la matriz lignocelulósica.

Por su parte, el análisis termogravimétrico (TGA) evidenció un comportamiento térmico característico de materiales celulósicos, donde el tratamiento T1 presentó una mayor estabilidad térmica inicial y una degradación más definida, lo que se asocia con una mayor pureza estructural del material.

En conjunto, los resultados obtenidos mediante FTIR, DRX, SEM y TGA son consistentes y permiten concluir que el tratamiento T1 es más eficiente en la purificación de la celulosa de fique, ya que favorece una mayor eliminación de componentes amorfos, incrementa



el grado de cristalinidad y mejora las propiedades estructurales del material. Finalmente, el alto índice de cristalinidad alcanzado posiciona a la celulosa obtenida como un material con alto potencial para aplicaciones de valor agregado, particularmente como refuerzo en matrices de biopolímeros, donde puede contribuir a mejorar propiedades mecánicas como rigidez, dureza y resistencia.

Recomendaciones

Se recomienda optimizar las condiciones del tratamiento químico, particularmente en términos de temperatura, concentración de reactivos y tiempo de reacción, con el fin de maximizar la remoción de componentes amorfos sin comprometer la integridad estructural de la celulosa.

Asimismo, se sugiere evaluar el efecto de la velocidad de agitación en el proceso, ya que esta variable puede influir significativamente en la homogeneidad del tratamiento y en la eficiencia de interacción entre la biomasa y los reactivos.

Se recomienda complementar el estudio con técnicas adicionales de caracterización, como análisis térmico diferencial (DSC) o espectroscopía Raman, que permitan profundizar en la comprensión de la estructura y estabilidad del material.

De igual forma, sería conveniente explorar aplicaciones específicas de la celulosa obtenida, particularmente en la formulación de biocompuestos o materiales biodegradables, con el fin de validar su desempeño en condiciones reales de uso.

Finalmente, se aconseja realizar estudios comparativos con otras fuentes lignocelulósicas, lo que permitiría establecer el potencial del fique como materia prima en procesos industriales orientados a la obtención de materiales sostenibles.

REFERENCIAS.

1. Solarte, M. L. S., & Solarte, C. M. S. (2023). Productos y experimentos elaborados con fique: una revisión sistemática de literatura. *Gestión y Desarrollo Libre*, 8(16). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.2.2>
2. Barrantes-Jiménez, I., Marín-Sandí, E., Murillo-Murillo, M., Rojas-Rojas, D., Vallecillo-Cedeño, S., & Valverde-Rojas, S. (2024). Micorremediación: el caso de *Pleurotus ostreatus* sobre polímeros sintéticos como el acetato de celulosa. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(2), 15-22. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v37i2.6478>
3. Torres, S., & del Pilar, A. (2022). Diseño e implementación de instrumentos de mejoramiento productivo y de gestión ambiental de Artesanías de Colombia. <https://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/handle/001/8769>
4. Tovar, C. T., Moreno, L. M. R., & Payares, L. S. (2026). Usos alternativos de hidrogeles a base de celulosa, almidón y quitosano: revisión de literatura y análisis bibliométrico. *Revista EIA*, 45. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10521531>
5. Riveros-Gamboa, P. A. (2022). Propuesta de diseño de un prototipo de vivienda con industria artesanal de bajo impacto, enfocada al desarrollo productivo de la fibra de fique en el municipio de Mogotes, Santander. (*trabajo de grado*). Colombia: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/44365>.
6. Jiménez, F. J., Posada, L., Castro, C. I., Betancur, M., & Arango, J. A. R. (2024). Una Caracterización fisicoquímica y evaluación ambiental del jugo generado durante la extracción de la fibra de fique (*Furcraea* sp). *Revista EIA*, 21(42), 4228-pp.
7. Durán González, D. V., & Gómez Gutiérrez, A. F. (2022). Determinación del uso de los residuos de fique provenientes del proceso de desfibrado, como sustrato para la producción de sorbitol. <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/c3c476e6-890c-4e5b-b28b-2b5e898c26e7/content>

8. Pérez Mejía, J. A. (1964). El fique su taxonomía cultivo y tecnología.
9. Solarte, M. A. R., Burbano, D. S. S., & Perafán, R. G. M. Desarrollo de un prototipo desfibrador semiautomático de fique para la obtención de fibra en el municipio del Tambo, Nariño. *Título del libro: Tecnología e Innovación: el camino a la transformación productiva e-ISBN: 978-628-7548-16-9 Formato: 18x 26cm–Digital Páginas: 83 Fecha: 2023, 27.*
10. Espinosa-Negrín, A. M., López-González, L. M., & Casdelo-Gutiérrez, N. L. (2022). Pretratamientos aplicados a biomásas lignocelulósicas: una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 87-110. <http://scielo.sld.cu/scielo.php>
11. Romero-Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoLógicas*, 25(54). <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
12. García, J. I. B., Ramos, M. M. F., Alemán, L. S. E. A., & López, E. V. (2023). El experimento formativo en la obtención de celulosa microcristalina a partir del pennisetum purpureum. *Revista Universidad y Sociedad*, 15(2), 389-399. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218>
13. Prieto Piñeros, H. S. (2023). Evaluación experimental de la resistencia a corte de muros de mampostería reforzados externamente con mortero y tejido de fique (fique TRM). <https://doi.org/10.22430/22565337.2505>
14. Muñoz-Blandón, O., Ramírez-Carmona, M., Rendón-Castrillón, L., & Ocampo-López, C. (2023). Exploring the potential of fique fiber as a natural composite material: a comprehensive characterization study. *Polymers*, 15(12), 2712. <https://doi.org/10.3390/polym15122712>
15. Hernández Restrepo, S. (2023). *Modelo de transferencia tecnológica a partir de la caracterización de las capacidades tecnológicas de los actores de la cadena*

productiva del fique en Antioquia (Master's thesis, Escuela de Ingeniería).
<http://hdl.handle.net/20.500.11912/10953>

16. Prieto Piñeros, H. S. (2023). Evaluación experimental de la resistencia a corte de muros de mampostería reforzados externamente con mortero y tejido de fique (fique TRM). <https://doi.org/10.3390/polym15122712>
17. Torres, D. N. R., Salmerón, I., Ramos, A. Q., Vega, S. B. P., & de la Cueva, S. C. (2023). Producción y cuantificación de carbohidratos a partir de residuos lignocelulósicos por hongos del género *aspergillus*. *Emerging Trends in Education*, 9(24), 2. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9493693>
18. Zambrano Flores, S. S. (2025). Caracterización mecánica y térmica de materiales compuestos poliméricos preparados con un refuerzo híbrido natural y de bajo costo: caracterización mecánica y térmica de materiales epóxicos reforzados con un refuerzo híbrido constituido por partículas de carbón activado y arenas ferrotitaníferas ecuatorianas. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream>
19. Ventura-Cruz, S., & Tecante, A. (2019). Extraction and characterization of cellulose nanofibers from Rose stems (*Rosa* spp.). *Carbohydrate polymers*, 220, 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.053>
20. 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. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.179>
21. Paucara, S. M. M., Caceda, 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.
22. Romero-Zúñiga, G. Y., González-Morones, P., Sánchez-Valdés, S., Yáñez-Macías, R., Sifuentes-Nieves, I., García-Hernández, Z., & Hernández-Hernández, E. (2022). Microwave radiation as alternative to modify natural fibers: recent trends and opportunities—a review. *Journal of Natural Fibers*, 19(14), 7594-7610.



23. Ríos, J. J. R., Salinas, R. I. V., Reyes, M. A. C., Hernández, E. H., Morones, P. G., & Pineda, L. M. P. (2025). Producción sustentable de microfibrillas de celulosa a partir de fibras de agave mediante irradiación de microondas. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, 12(12), 109-120.

ANEXOS

Como parte de mi formación profesional y académica, participé en el Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico, Programa Delfín, en las convocatorias correspondientes a los años 2024 y 2025. Esta experiencia me permitió integrarme en estancias académicas enfocadas al fortalecimiento de competencias investigativas, al intercambio de conocimientos y a la colaboración con estudiantes e investigadores de diversas instituciones de educación superior.

De manera complementaria, durante el año 2024 realicé una estancia corta en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), donde participé en actividades científicas y académicas orientadas al desarrollo de proyectos de investigación.

Asimismo, asistí al Primer Foro Nacional de Divulgación de Ingeniería y Desarrollo Sustentable, espacio orientado a la difusión del conocimiento, el análisis de problemáticas actuales y la promoción de soluciones innovadoras en el área de la ingeniería.

De igual manera, tuve la oportunidad de participar en la Incubadora de talento hídrico INNODROP, encuentro académico centrado en la creatividad, la generación de ideas y el impulso a proyectos innovadores, permitiéndome ampliar mi perspectiva sobre el emprendimiento y la aplicación de nuevas tecnologías.

Adicionalmente, participé en el CLIMATÓN, competencia orientada al desarrollo de propuestas innovadoras y solución de problemáticas mediante el trabajo colaborativo, logrando avanzar hasta la etapa final.



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TES



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



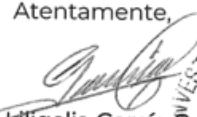
DIRECCIÓN DE DOCENCIA
Mérida, Yucatán, a 8 de abril del 2024
OFICIO No. DD-SAE-174/2024
Asunto: Terminación Estancia de Investigación.

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

Por este medio, me permito comunicar a usted que la C. Citlali Estefanía Valencia Díaz estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental con número de matrícula 202025061 de ese Instituto, ha realizado satisfactoriamente su Estancia de Investigación con el proyecto denominado "PROPIEDADES TERMO-MECÁNICAS DE PELÍCULAS PLÁSTICAS A BASE DE TEREFTALATO DE POLIETILENO RECICLADO REFORZADO CON CELULOSA CRISTALINA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS" adscrita a la Unidad de Materiales de este Centro, bajo la asesoría de la 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, CP.9720, Mérida, Yuc., México.
Tel: (52) 99 9942 8330 www.cicy.mx



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TEST



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

Citlali Estefanía Valencia 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.

F. González

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

J. Arriaga

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



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



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: Citlali Estefania Valencia Diaz

Por su destacada participación en la estancia académica presencial del
XXIX Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico,
realizada del 17 de junio al 2 de agosto de 2024

"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



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN, CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TEST



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División
Académica
de Ingeniería
y Arquitectura



La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y el Tecnológico Nacional de
México Campus Villahermosa entregan la presente:

CONSTANCIA

A:

Sagnite Ventura Cruz, Citlali Estefanía Valencia Díaz,
Linda Estrella Pech Cab, Ángel de Jesús Montes Luna,
Carlos Cupul Manzano y Jesús Ortiz Espinoza

Por su participación con la ponencia "**Pellets de rpet reforzados con celulosa cristalina de residuos agrícolas**" en el marco del **1er. Foro Nacional de Divulgación de Ingeniería y Desarrollo Sustentable**, realizado el 16 y 17 de agosto del presente año, en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Cunduacán, Tabasco; a 17 de agosto de 2024

Dra. Dora María Frías Márquez
Directora



DIRECCIÓN

FOLIO: CDCE/2024/2290