



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE
RAQUIS DE BANANO MEDIANTE EXTRACCIÓN TRADICIONAL Y
EXTRACCIÓN ACELERADA

PEREZ NIEBLA ANDRES TEODORO
INGENIERO QUÍMICO

SANCHEZ CHUNGA DANNY JOEL
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA A
PARTIR DE RAQUIS DE BANANO MEDIANTE EXTRACCIÓN
TRADICIONAL Y EXTRACCIÓN ACELERADA

PEREZ NIEBLA ANDRES TEODORO
INGENIERO QUÍMICO

SANCHEZ CHUNGA DANNY JOEL
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS
DE BANANO MEDIANTE EXTRACCIÓN TRADICIONAL Y EXTRACCIÓN
ACELERADA

PEREZ NIEBLA ANDRES TEODORO
INGENIERO QUÍMICO

SANCHEZ CHUNGA DANNY JOEL
INGENIERO QUÍMICO

GADVAY YAMBAY KATTY ALEXANDRA

MACHALA, 15 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

Trabajo Titulacion

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

7%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.researchgate.net

Fuente de Internet

3%

2

www.scribd.com

Fuente de Internet

2%

3

www.palermo.edu

Fuente de Internet

1%

4

dominiodelasciencias.com

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad de Huelva

Trabajo del estudiante

<1%

6

Submitted to Universidad Privada Boliviana

Trabajo del estudiante

<1%

7

repositorio.esan.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, PEREZ NIEBLA ANDRES TEODORO y SANCHEZ CHUNGA DANNY JOEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado ANÁLISIS DE LA OBTENCIÓN DE FIBRAS DE CELULOSA A PARTIR DE RAQUIS DE BANANO MEDIANTE EXTRACCIÓN TRADICIONAL Y EXTRACCIÓN ACELERADA, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.


Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 15 de mayo de 2020


PEREZ NIEBLA ANDRES TEODORO
0705830800


SANCHEZ CHUNGA DANNY JOEL
0706617255

DEDICATORIA

En primer lugar, este trabajo de investigación se lo dedicamos a Dios por ser nuestra primera fuente de inspiración en la vida y permitir que se cumplan cada uno de nuestros sueños y metas.

A nuestros padres, por su amor incondicional y sacrificio por nosotros durante toda nuestra etapa de preparación académica, quienes han sido los pilares fundamentales para lograr este objetivo.

A nuestros familiares y amigos que aportaron con un gesto de apoyo y de felicitación siendo fuente de inspiración para no declinar y continuar,

A los docentes que estuvieron presente durante todo este camino de preparación universitaria, que portaron con sus conocimientos en cada clase impartida, quienes no hacían más que nutrirnos de conocimiento.

Autores:

AGRADECIMIENTO

Agradecemos infinitamente a Dios por sus bendiciones otorgadas cada día de nuestras vidas, por ser la fortaleza que necesitamos cuando se han presentado adversidades.

Gracias a nuestros amados padres por ese apoyo incondicional, moral, espiritual, económico. Ustedes son nuestra mayor inspiración de superación, ustedes creen y confían siempre en nosotros.

Agradecemos de manera muy cordial a nuestros docentes universitarios y tutores de proyecto por los conocimientos compartidos en las aulas clases, con la finalidad de prepararnos para ser unos profesionales extraordinarios en nuestro campo laboral.

Autores:

RESUMEN

En la actualidad los residuos agroindustriales están siendo utilizados para la elaboración de nuevos productos y subproductos de las diferentes industrias a nivel mundial. El presente trabajo experimental consiste en realizar un análisis de la obtención de fibras de celulosa a partir de raquis de banano mediante un pretratamiento de las muestras con extracción tradicional y extracción acelerada, lo cual permitirá y aportará como beneficio económico para los productores de banano de la provincia de El Oro y el país al comercializar sus desechos postcosecha. Se conoce que la morfología del raquis o pinzote de banano es de un 73.5 % de celulosa, el cual es utilizado para la elaboración de cartón, por ser biodegradable y de consistencia resistente. Además, tiene otros componentes tales como: Hemicelulosa 6-8%, Lignina 12,99%, Cenizas 6-8% y Humedad 8,7%. El objetivo de la presente investigación es realizar el aislamiento de fibras de celulosa a partir de raquis de banano, comparando la extracción tradicional (A₁) con la extracción acelerada (A₂), utilizando una metodología de carácter experimental–cualitativo mediante un tratamiento alcalino y bibliográfico basado en artículos científicos. La parte experimental inicia con la recolección del raquis de banano, se lava y se corta en rodajas disminuyendo su tamaño para luego moler en su totalidad. Para el pretratamiento de la muestra se procede a la extracción de 2 formas, con un agitador orbital y un agitador acelerado. Para ambos procesos de extracción se lava con etanol, agua y dimetilsulfoxido. A las diferentes muestras se les aplica el tratamiento alcalino, tratamiento con NaOH 5% por 14 horas a temperatura ambiente, tratamiento con Ca(ClO)₂ al 1% para ajustar el pH a 5 durante 1 hora a 70°C, Tratamiento con NaOH 5% por 14 horas a temperatura ambiente y se termina con el tratamiento usando HCL al 1% para poner en agitación durante 2 horas a 80°C eliminando así las trazas de los minerales existentes en el material. Además, durante dichos procesos se procede a determinar la cantidad de lignina existente en cada muestra, luego de realizar cada procedimiento respetivamente se determinó que la mayor concentración la muestra A₁ con un 4.69% y la muestra A₂ un 1.84%, dándonos un mayor grado de pureza. Los métodos de caracterización utilizados fueron microscopía electrónica de barrido (SEM) donde se pudo distinguir los haces vasculares de las fibras de raquis de banano, encontrándonos con microfibras para las muestras tratadas con la extracción tradicional y nanofibras para las muestras en la que se realizó el pretratamiento de extracción acelerada, se realizó también análisis por espectroscopía infrarroja (FTIR)

diferenciándose los grupos funcionales de las muestras comparadas contra el raquis puro, se identificaron grupos como C=C a una longitud de onda de 1377 cm^{-1} , O-H producto de la flexión a 1607 cm^{-1} , C-H de los grupos alquil alifáticos (H-C-H) presentes en la celulosa y hemicelulosa a 2926 cm^{-1} , OH en un pico de 3308 cm^{-1} , presentes también grupos C-C y C-OH a una señal de 1033 cm^{-1} , todos estos grupos funcionales fueron corroborados por la literatura, comparando las señales obtenidas en la presente investigación con las señales de otros autores.

Palabras claves: Raquis, Fibra de celulosa, Nanofibra, Microfibra, Lignina

ABSTRACT

Currently, agro-industrial waste is being used for the elaboration of new products and by-products of the different industries worldwide. The present experimental work consists of carrying out an analysis of the obtaining of cellulose fibers from banana rachis by means of a pre-treatment of the samples with traditional extraction and accelerated extraction, which will allow and contribute as an economic benefit for the banana producers of the El Oro province and the country, when marketing their post-harvest waste. The morphology of the rachis or banana pinzote is known to be 73.5% cellulose, which is used to make cardboard, as it is biodegradable and has a resistant consistency. In addition, it has other components such as: Hemicellulose 6-8%, Lignin 12.99%, Ash 6-8% and Moisture 8.7%, with biodegradable characteristics. The objective of this research is to isolate cellulose fibers from banana rachis, comparing traditional extraction (A₁) with accelerated extraction (A₂). Using an experimental-qualitative methodology through an alkaline and bibliographic treatment based on scientific articles. When making the comparison, two samples were needed to apply the isolation methodologies; traditional and accelerated isolation. Where it was obtained with sample A₁ microfibers and with sample A₂ nanofibres. In addition, during these processes, the amount of lignin in each sample is determined, after carrying out each procedure, respectively, it was determined that the highest concentration of sample A₁ was 4.69% and sample A₂ 1.84%, giving us a higher degree of purity. The characterization methods used were scanning electron microscopy (SEM) where it was possible to distinguish the vascular bundles from the banana rachis fibers, finding us with microfibers for the samples treated with the traditional extraction and nanofibers for the samples in which the pretreatment of accelerated extraction, analysis was also performed by infrared spectroscopy (FTIR) differentiating the functional groups of the samples compared against the pure spine, groups were identified as C=C at a wavelength of 1377 cm⁻¹, OH product of the flexion at 1607 cm⁻¹, CH of the alkyl aliphatic groups (HCH) present in the cellulose and hemicellulose at 2926 cm⁻¹, OH in a peak of 3308 cm⁻¹, also present CC and C-OH groups at a signal of 1033 cm⁻¹, all these functional groups were corroborated by the literature, comparing the signals obtained in the present investigation with the signals of other authors.

With the characterization analyzes of the samples, it was possible to establish that in the present work the isolation of cellulose fibers of both micrometric and nanometric size was achieved. The fiber obtained has a wide field of application in any type of industry in which you want to use it according to its characteristics, either focusing on cellulose microfibers from the traditional extraction process or isolated cellulose nanofibers with the extraction process. accelerate.

Key words: Spine, Cellulose fiber, Nanofiber, Microfiber, Lignin

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	X
CONTENIDO	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA.....	3
HIPÓTESIS	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
Objetivo general.....	5
Objetivo específico	5
1. MARCO TEÓRICO.	6
1.1 Residuos agrícolas	6
1.2 Raquis de banano	7
1.3 Raquis de banano como fuente de producción de celulosa.....	8
1.3.1 Celulosa.	8
1.3.2 Hemicelulosa.	9
1.3.2 Lignina.....	10
1.3.3 Pectina.....	11
1.3.4 Extractivos (otros elementos presentes en las fibras vegetales).	12
1.4 Microfibras de celulosa.....	12
1.5 Nanofibras de celulosa.....	13
1.6 Comparación entre las microfibras y nanofibras de celulosa	13
1.7 Métodos de obtención de microfibrillas de celulosa	14

1.8 Aplicación de las fibras de celulosa.....	14
2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.1 Reactivos.....	15
2.2 Materiales.....	15
2.3 Equipos	16
2.4 Recolección de la muestra.	16
2.5 Desarrollo experimental.....	16
2.5.1 Pretratamiento de la muestra.....	17
2.5.2 Tratamiento alcalino	17
2.5.3 Caracterización de la muestra.	18
3 RESULTADOS	19
3.1 Caracterización del material	19
3.1.1 Determinación de lignina.....	19
3.1.2 Microscopio electrónico de barrido.	19
3.1.3 Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR).	20
4 CONCLUSIONES	23
5 RECOMENDACIONES.....	24
6 BIBLIOGRAFÍA	25

ÍNDICE DE IMAGEN

	pág.
Imagen 1. Raquis o Pinzote de banano	7
Imagen 2. Estructura de la celulosa	9
Imagen 3. Estructura de la hemicelulosa	10
Imagen 4. Estructura de la lignina	11
Imagen 5. Estructura de la pectina	11
Imagen 6. Microscopio electrónico de barrido de raquis puro	20
Imagen 7. Microscopio electrónico de barrido de muestra A ₁	20
Imagen 8. Microscopio electrónico de barrido de muestra A ₂	20
Imagen 9. Espectroscopia infrarroja para RP, A ₁ y A ₂	21

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición química y características de raquis de banano.....	8
Tabla 2. Porcentaje de lignina presente en las muestras.....	19
Tabla 3. Grupos funcionales presentes en las fibras según la literatura.	22

ÍNDICE DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Raquis de banano	31
Anexo 2. Troceado del raquis de banano	31
Anexo3. Secado del raquis	31
Anexo 4. Celulosa de raquis antes de moler.....	32
Anexo 5. Muestra molida y tamizada	32
Anexo 6. Muestra empaquetada y almacenada.....	32
Anexo 7. Preparación de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ regulando el pH hasta 5.....	33
Anexo 8. Celda con muestra del equipo de extracción acelerada.....	33
Anexo 9. Tratamiento alcalino	33
Anexo 10. Filtrado después de las distintas etapas del tratamiento alcalino	34

INTRODUCCIÓN

Existen aproximadamente 25 fibras vegetales que están siendo utilizadas por artesanos de diferentes partes del país. Se conoce que no todas las bananeras aprovechan sus desechos orgánicos mal llamados desperdicios, que procesándolos de manera adecuada pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de otros productos¹.

En Ecuador, la agroindustria no cuenta con un tratamiento adecuado para el manejo de desechos o residuos orgánicos, lo cual es una fuente de contaminación al medio ambiente. Actualmente se procede a la quema de ciertos residuos a cielo abierto o amontonados de forma inadecuada lo cual provoca proliferación de plagas o insectos que afectan el ecosistema. Sin embargo, cabe mencionar que dichos residuos son de gran valor dependiendo de su cantidad y su procedencia. Estos pueden ser considerados de primera y segunda generación².

El valor de la primera generación está orientado a la obtención de productos para el consumo de alimentos para diferentes animales tales como: fertilizantes para el cultivo de plantaciones de hongos, etanol, bioetanol. Por otra parte, el valor proporcionado por la segunda generación está direccionado a la extracción de diferentes componentes como: celulosa, pectina, almidones azúcares, colágenos, aminoácidos entre otros más, los mismos que son utilizados para elaborar otros productos mediante procesos químicos².

Después de la cosecha del banano se puede aprovechar varios subproductos como son: las hojas, el tallo, el raquis o pinzote, raíces, brácteas, de la fruta se puede aprovechar la cáscara. La recolección de estos desechos “mal llamados” constituye una biomasa que se utiliza como materia prima para la obtención de nuevos productos, los mismos que proporcionan valor agregado a estos residuos, entre estos productos tenemos: la celulosa, carbohidratos, minerales, compuestos antioxidantes, colorantes de composición natural entre muchos más, lo cual puede ser beneficioso para los productores de banano ya que tendrían otro ingreso económico al vender la fruta y sus residuos orgánicos resultado de la cosecha³.

El raquis o tallo del racimo tiene una composición de un 73.5 % de celulosa, la cual es utilizada para la elaboración de cartón por ser biodegradable y de una consistencia

resistente. Además, tiene otros componentes tales como: Hemicelulosa 6-8%, Lignina 12,99%, Cenizas 6-8% y Humedad 8,7%.

El objetivo de la presente investigación es realizar el aislamiento de fibras de celulosa a partir de raquis de banano, comparando la extracción tradicional con la extracción acelerada, utilizando una metodología de carácter cualitativo y bibliográfica mediante la utilización de un tratamiento alcalino. Para realizar la comparación se utilizaron dos muestras, con el propósito de aplicar las dos metodologías de aislamientos: la tradicional y el aislamiento acelerado, en donde se obtuvo de la muestra A₁ microfibra y de la muestra A₂ nanofibra. Además, durante dichos procesos se determinó la cantidad de lignina existente en cada muestra respectivamente, teniendo la mayor concentración la muestra A₁ con un 4.69% respecto de la muestra A₂ con 1.84%.

Para realizar la comparación de los dos procedimientos antes mencionados se recolectó muestras de los raquis de banano, para ser tratado de la siguiente manera: primero un lavado, troceado y secado a 60° C por un tiempo de 24 horas con el propósito de eliminar la humedad, luego se procedió a molerlo y pasarlo por un tamiz de 200mm almacenándolas en fundas ziploc para más adelante continuar con el aislamiento de fibras de celulosa.

PROBLEMA

La agroindustria ecuatoriana no realiza ningún tratamiento a los residuos de las diferentes plantaciones agrícolas, por lo general son utilizados como desechos y en algunos casos utilizados como abonos orgánicos para repotenciar el suelo, pero cabe mencionar que esta última práctica la realizan de manera empírica. Si los residuos agro industriales se aprovecharan en Ecuador, se diera valor agregado al producto y más ingresos económicos a los productores, además de proteger el medioambiente de desechos que contribuyen con la destrucción del suelo y su entorno².

Por los motivos antes expuestos se procedió a realizar el estudio comparativo del aprovechamiento de la microfibras de celulosa presente del raquis de banano para determinar su aplicación en las diferentes industrias, además de establecer un proceso de extracción responsable y amigable con el medioambiente, el cual puede servir de referente para próximos estudios e implementación de aprovechamiento de desechos orgánicos en Ecuador y el mundo.

Con esto se optimiza la agroindustria en cuanto a producción limpia y responsable de productos primarios y subproductos de sus residuos orgánicos.

HIPÓTESIS

El pretratamiento del raquis de banano puede influir en las características morfológicas de la obtención de fibras de celulosa.

JUSTIFICACIÓN

Ecuador siendo un país exportador de banano y concentrando sus sembríos en la provincia de El Oro específicamente la ciudad de Machala conocida también como la Capital Mundial del banano; cuenta con los raquis de banano llamados “residuos” que resultan de la cosecha del mismo fruto, pudiendo ser aprovechados para la obtención de fibras de celulosas de aplicación industrial dando un valor agregado a este residuo.

El raquis de banano como fuente de producción de fibra de celulosa tendría gran acogida debido a su aprovechamiento e incluso al darle un tratamiento de disposición final siendo este un problema al ser acumulado y secretar lixiviados al suelo. Se puede administrar el tratamiento adecuado dependiendo las características morfológicas de las fibras de celulosa que necesitan para alguna actividad industrial en específico, por lo que se aplicaran dos tipos de pretratamiento para la obtención de dichas fibras diferenciando las características resultantes dependiendo el pretratamiento utilizado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar el aislamiento de fibras de celulosa a partir de raquis de banano, comparando la extracción tradicional con la extracción acelerada para la diferenciación morfológica de la fibra obtenida según la extracción.

Objetivo específico

- Extraer fibras de celulosa del raquis de banano utilizando un tratamiento alcalino.
- Remover la lignina presente en el raquis de banano.
- Identificar los grupos funcionales característicos de las fibras.
- Determinar la morfología de la superficie de los haces vasculares del raquis de banano.

1. MARCO TEÓRICO.

1.1 Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas afectan de manera negativa al ecosistema y medioambiente, esto se debe a las altas concentraciones que existen de materias orgánicas o por su mal manejo o un tratamiento inadecuado. Hoy en día, se está aprovechando en mínima proporción los residuos o desechos agroindustriales por medio de la implementación de proyectos académicos que no tiene un fin económico. Sino más bien, han sido realizados para aprovechar los residuos de las cosechas y darle un valor agregado donde se benefician los productores. Además de contribuir con la prevención y cuidado del medio ambiente con responsabilidad. Para ello se debe conocer las características y propiedades de cada uno de los residuos que se generan en la agroindustria y sus procesos⁴.

Con el trato adecuado de los residuos agroindustriales durante todo el proceso se pretende crear una producción más limpia (PML). Se puede mencionar un ejemplo en cuanto al trato de Residuos Sólidos Orgánico (RSO) que provienen de la industria agrícola y forestal respectivamente, estos son utilizados por sus características y componentes biodegradables que aportan con propiedades nutritivas con la ayuda de la intervención de la química⁵.

Mediante la degradación de los residuos de una manera irresponsable se está provocando la disminución de la capacidad productiva de los suelos, y por efecto se ve reflejado en la productividad agrícola. Por otra parte, si son tratados de manera correcta se realiza una producción limpia, esto creara una ventaja competitiva en cuanto a producción, lo cual permitirá que esos productos lleguen a nuevos mercados por su excelente calidad y por ser un producto que causa un mínimo impacto ambiental, ya que en la actualidad los clientes requieren productos que sean elaborados con responsabilidad y no afecten al medio ambiente⁶.

Una de las fuentes que generan residuos, es la industria agrícola, de la que provienen raíces, tallos, hojas o cualquier otra parte de la planta que no son utilizadas, la mayoría

de estos subproductos son provenientes del cultivo del arroz, café, banano entre otros que se convierten en desechos, debido a que no se les da una adecuada utilización.

Cómo se ha mencionado, la industria bananera produce grandes volúmenes de residuos de composición vegetal, de la planta solamente se aprovecha la fruta dejando como desechos a las demás partes como: el tallo, hoja, raquis o pinzote (tallo del racimo), raíces. Debido a la composición fibrosa de los residuos se debe aprovechar y utilizar como materia prima para la extracción y obtención de celulosa que luego de procesarla genera un valor agregado y es fuente de elaboración de nuevos productos⁷. Así también, se conoce que los residuos del banano son fuente de azúcares, almidones, carbohidratos que con el respectivo trato químico son útiles para otros productos y al igual que la fibra genera un valor agregado⁸.

1.2 Raquis de banano

El raquis de banano o pinzote es el tallo que sostiene a las frutas, su mayor compuesto es la fibra, la cual está compuesta a su vez por celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales son determinados como polímeros de procedencia natural que se utilizan para la elaboración de nuevos productos que se complementa perfectamente con los biopolímeros sintéticos que existen en el mercado⁹.

Imagen 1. Raquis o Pinzote de banano



Fuente: ¹⁰

A continuación, es la tabla 1. Se detalla la composición química y las características del raquis de banano:

Tabla 1. Composición química y características de raquis de banano

COMPONENTE	PORCENTAJE
Celulosa	73,5%
Hemicelulosa	6-8%
Lignina	12,99%
Cenizas	6-8%
Humedad	8,7%
Características	Biodegradable

Fuente: ¹¹

1.3 Raquis de banano como fuente de producción de celulosa

La principal característica del raquis de banano es su compuesto de fibra que a su vez está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina. Debido a la características y composición antes mencionada nace la iniciativa de reciclar y comercializarlo para darle un valor agregado¹².

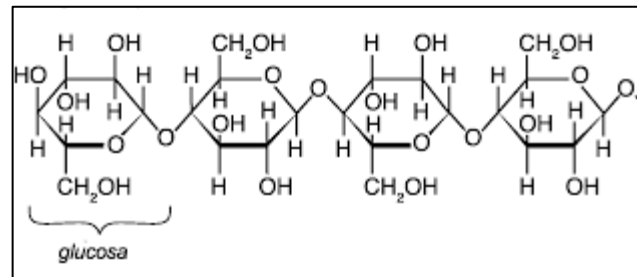
Varios estudios realizados sobre la obtención de celulosa en los diferentes residuos de banano, menciona que los procesos a seguir son similares a la obtención de celulosa en la industria papelera, cuyos procesos están establecidos para trabajar con materias que contengan lignina en grandes cantidades. Para realizar el proceso de extracción de fibras naturales se necesita un bajo consumo de energía y es mínimo la generación de emisión de CO₂, estas fibras son reciclables de característica biodegradable además de su bajo costo el cual las hace accesible, en la actualidad existen una gran cantidad de ofertas en el mercado¹³.

1.3.1 Celulosa. Es el principal componente de las paredes celulares de las plantas, Su composición es de moles de D-glucosa las cuales están unidas con enlaces llamados β-1-4 glucosídicos los cuales se encuentran en grandes cantidades en la biosfera, una de sus características es la resistencia a la fermentación. Pero por otra parte se encuentran en la naturaleza los microorganismos celulíticos que son los responsables de permitir el proceso de degradación por medio de sus enzimas las cuales son celobiohidrolasas y endoglucanasas¹⁴. Su fórmula es (C₆H₁₀O₅)_n. Los diferentes enlaces de las moléculas de celulosa conforman las microfibrillas de celulosa que son aproximadamente 50

moléculas, para ello se necesita 8 unidades monoméricas de glucosa formándose el producto insoluble¹⁵.

La estructura de las fibras de celulosa se encuentra alineadas a lo largo de la fibra, esta característica es la responsable de la rigidez cuando se adiciona con la matriz⁹. Por lo general estas fibras son resistentes, lo cual las hace perfectas para la elaboración de papel y cartón, además de su flexibilidad, de composición química estable y de color blanco¹⁶.

Imagen 2. Estructura de la celulosa



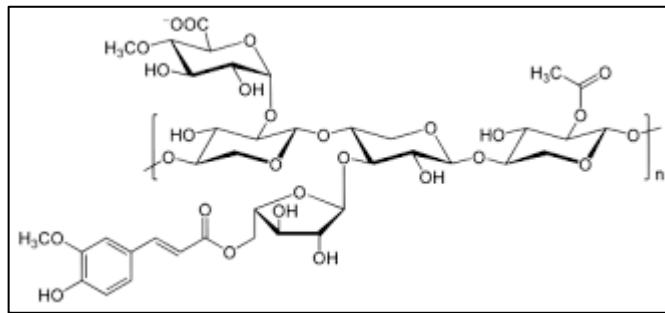
Fuente: ¹⁶

Se debe recordar que la celulosa está compuesta por polímeros y está a su vez por unidades de glucosa del tipo D, la cual tiene una resistencia por las formaciones de los diferentes puentes de hidrógeno. Cabe mencionar que la celulosa ha sido objeto de estudio por la elaboración de nuevos productos debido a su característica insoluble a pesar que si absorbe agua, esto se debe a sus diferentes cadenas lineales, a diferencia de las cadenas espirales de otros polisacáridos como por ejemplo: el almidón que está compuesto por fibras espirales¹⁷.

Para realizar el aislamiento de la celulosa se requiere un proceso que está subdividido en cuatro etapas: Primera, hidrólisis ácida; Segunda, cloración; Tercera, hidrólisis alcalina y la Cuarta es, el blanqueo. El raquis de banano tiene pocas cantidades de lignina lo que hace que celulosa se afecte un poco en la etapa 3 y 4.

1.3.2 Hemicelulosa. Las paredes de las células de las plantas están diseñadas por diferentes componentes de los cuales uno es la Hemicelulosa, conformadas con ramificaciones en menor proporción en cuanto al grado de polimerización¹⁸. Esta se encuentra por lo general en los tallos de las plantas, también en las cáscaras de los frutos y granos. Las hemicelulosas no se digieren, pero se pueden fermentar con la ayuda de levaduras y bacterias.

Imagen 3. Estructura de la hemicelulosa



Fuente: ¹⁸

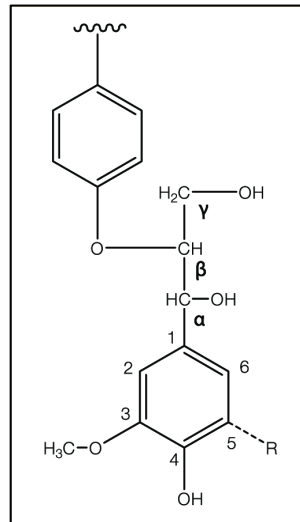
Las hemicelulosas pertenecen a los polisacáridos, que si se aísla la celulosa quedaría solamente la pared celular, quedando libre para la extracción con ayuda de soluciones alcalinas¹⁹. Su estructura química consiste en varias cadenas largas que contienen pectosa, hexosa y sus respectivos ácidos uránicos.

Se conoce que la función de la celulosa es sostener las estructuras de las fibras conjuntamente con la lignina la cual determina la rigidez, pero por otro lado las hemicelulosas no tienen un rol específico. Ya que se encuentra siempre junto a la lignina, a esto se lo conoce como el complejo hemicelulosa–lignina tornándose casi imposible su separación sin que se la elimine de manera parcial o total.

Para la remoción de la hemicelulosa se utiliza ácido diluido el cual permite la hidrolización de la hemicelulosa pasando a ser unidades de pentosas de grado soluble en agua²⁰.

1.3.2 Lignina. La lignina es del grupo de los polímeros de carácter aromático con una estructura de característica tridimensional considerada compleja, con muchas ramificaciones y además se la describe como amorfo¹⁸. La remoción de la lignina se la lleva a cabo con el uso de tratamiento de tipo alcalino el cual permite que esta se vuelva soluble. Con las condiciones alcalinas se modifica las estructuras cristalinas de las celulosas, la cual procede a hincharse permitiendo la hidrólisis de la misma²⁰.

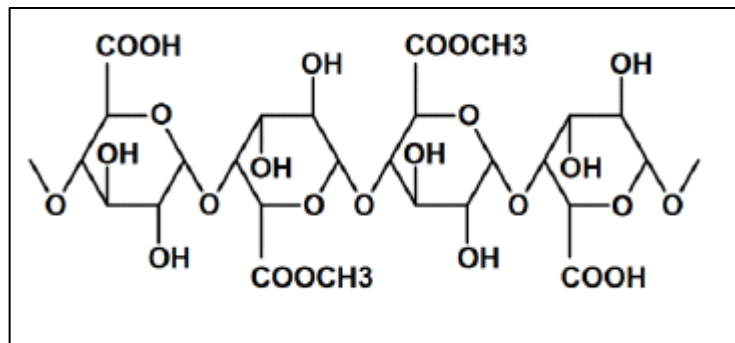
Imagen 4. Estructura de la lignina



Fuente: ²⁰

1.3.3 Pectina. La pectina es un componente de procedencia vegetal la cual está presente en las plantas, y de manera especial en los frutos, su característica es la gelificación natural.

Imagen 5. Estructura de la pectina



Fuente: ²¹

Esta sustancia pertenece al grupo de los heteropolisacáridos estructurales compuesta por unidades de ácido galacturónico. Dichos componentes se encuentran en las paredes primarias de las células y en las laminillas que se encuentran en el medio de las células parenquimáticas de las diferentes plantas, donde también se encuentra alojada conjuntamente con otros componentes como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, debido a la lignina que es la responsable directa de la rigidez de los diferentes productos, por lo cual se debe llevar a cabo el ablandamiento de la especie vegetal mediante la disolución de la misma²¹.

Por otra parte, se conoce que la pectina se está aislando de manera y a escala industrial, con la ayuda de ácidos mediante la hidrólisis, dichos ácidos son de procedencia inorgánica y están afectando al medio ambiente, ya que es difícil realizar la acidificación de los suelos y afluentes que se ven afectados por el proceso realizado²².

1.3.4 Extractivos (otros elementos presentes en las fibras vegetales). Las fibras vegetales tienen otros compuestos extraíbles tales como: alcoholes, grasas vegetales, además de varios tipos de ácidos, sustancias aromáticas, oleorresinas entre otros extractivos¹⁶.

Los componentes extractivos de la biomasa son de diferentes características, algunos orgánicos y otros inorgánicos como son los minerales. Cuando se refiere a los orgánicos son los que aportan con el color, densidad, olor y hasta inflamabilidad de la biomasa. Estos compuestos son solubles con solventes que ayudan la solubilidad de resinas y ceras, en agua fría solo se diluyen los azúcares y los colorantes, pero por otra parte solo los almidones tienen solubilidad con agua caliente. Otra categoría de los extractivos son los aceites y los ácidos volátiles, polifenoles y resinas²³.

Mientras que los inorgánicos son los minerales que requiere la planta para su desarrollo, variando del 2.5 hasta un 12% de peso total de la biomasa. Los compuestos extractivos minerales se los encuentra en las hojas, raíces, ramas, esto se debe al tipo de suelo donde se encuentre la planta, algunos de los componentes más frecuentes encontrados y extraídos son el calcio, hierro, sodio, fósforo, magnesio zinc y cobre por lo general²³.

1.4 Microfibras de celulosa

Las microfibras de celulosa se encuentran entrelazadas entre ellas y demás glúcidos como es la hemicelulosa y la pectina, las cuales resultan estar en las fibras y fibrillas de celulosa. Están observadas mediante el uso de un microscopio. Las medidas de las microfibras pueden ser de 0,5 μm de diámetro y de 4 a 7 μm de longitud. Una de las características es su resistencia comparada con la resistencia del acero, además de las uniones de las moléculas con los puentes de hidrógenos aportando propiedades cristalinas en las microfibras en algunas de sus partes y las otras propiedades de carácter paracristalinas²³.

1.5 Nanofibras de celulosa

La nanofibra es material proveniente de la nanocelulosa, es un material celulósico con estructura básica de polisacárido, se la obtiene mediante diferentes procesos como son: químicos, enzimáticos, o a su vez un proceso biológico teniendo como resultado la nanofibra y los nanocristales. Se está realizando estudios para aprovechar esta nanomateria de procedencia de fuentes renovables. Es bajo este contexto que se obtiene la nanocelulosa el cual tiene un alto índice de aceptación y atractivo por su procedencia de origen vegetal²⁴. Unas de las ventajas de la nanofibra en la industria de la ingeniería de materiales son; lo bajos costos, característica renovable, biodegradable, y un aspecto importante de la nanofibra es que no es tóxica, por otra parte, estas pueden ser utilizadas como ayuda de polímeros, exposición térmica baja, entre otras más.

En el caso particular para la obtención de las nanofibra de celulosa procedente del raquis de banano, se procede a desfibrar los raquis para luego secar la fibra, luego se procede al tratamiento alcalino, donde se obtiene lignina y otros residuos como el licor negro. Para luego continuar con el blanqueamiento, se procede a tener una celulosa libre de lignina. Una vez culminado con el proceso anterior se realiza una evaluación de carácter morfológico de las nanofibras con la ayuda de un microscopio óptico eléctrico, donde se obtiene la celulosa. La medida de la nanofibra es de 104 micras, las cuales están formadas por un espesor de 4 micras, y a su vez compuestas por 500 nanómetros de espesor respectivamente²⁵.

1.6 Comparación entre las microfibras y nanofibras de celulosa

Las microfibras son las fibras que componen las nanofibra celulosas con características similares a la del acero, la cual es requerida por las diferentes industrias para elaborar productos, como, cartón y papel, cosméticos, cemento, alimentos, textiles, productos agrícolas, entre muchos más, mientras que las nanofibras son utilizadas para crear nuevos elementos y es objeto de estudio de la agroindustria. Ambas son de interés para elaborar artesanías, papel y cartón de origen vegetal con características biodegradables.

1.7 Métodos de obtención de microfibrillas de celulosa

Existen diferentes tipos de procedimientos para el aislamiento de la microfibrilla de celulosa, se puede realizar con el medio acuoso, con la utilización de materias hidrosolubles. Otro de los métodos es utilizando la técnica de secado con temperaturas bajas, con este proceso se previene la aparición de nuevas redes celulósicas que se forman por puentes de hidrogeno que obstruyen la distribución de la matriz. Otro de los métodos es la utilización de polímeros que ayudan con la extracción de los nanocompuestos de la celulosa. También se utiliza técnicas de laboratorios en pequeñas escalas²⁶.

1.8 Aplicación de las fibras de celulosa.

Las fibras de celulosa al igual que cualquier otra materia prima tiene un amplio campo de utilización industrial dependiendo de su caracterización. como, por ejemplo:

- Producción de hidrogeles a base de fibras de celulosa obtenidas de cáscaras de arroz y avena²⁷.
- Las nanofibras de celulosa (CNF) son biodegradables, y sus propiedades estructurales y mecánicas son útiles para el tratamiento de aguas residuales²⁸.
- Síntesis electroquímica de microfibras de celulosa para la reducción de óxido de grafeno y su aplicación hacia la detección electroquímica mejorada y de menor potencial de fenitroton²⁹.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la presente investigación los materiales, reactivos y equipos utilizados fueron los siguientes.

2.1 Reactivos.

- Etanol concentrado al 99%
- Dimetilsulfoxido al 50% (CH_3SOCH_3)
- Agua destilada
- Agua desionizada
- Hidróxido de sodio al 5% en peso (NaOH)
- Hipoclorito de calcio al 1% ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$)
- Ácido acético glacial (CH_3COOH)
- Ácido clorhídrico al 1% (HCl)

2.2 Materiales

- Vasos de precipitación 50ml, 100ml, 250ml, 500ml, 1000ml
- Matraz Erlenmeyer 250ml, 300ml
- Micropipeta 100ul -1000ul
- Varilla de agitación
- Probeta graduada 25ml, 100ml
- Papel filtro
- Soporte para embudos
- Embudo de vidrio
- Balón Volumétrico 100ml, 250ml, 1000ml
- Frascos para reactivos 500ml, 1000ml
- Frasco 250ml
- Piseta
- Pera

- Cápsulas de porcelana
- Tamiz 250um
- Pinzas
- Fundas ziploc
- Mandil de laboratorio
- Guantes
- Mascarilla

2.3 Equipos

- Extractor acelerado DIONEX ASE 150
- Agitador orbital
- Balanza analítica
- Estufa
- Agitador digital con calefacción Cimarec™
- pH-Metro
- Termómetro
- Desecador
- Campana de extracción

2.4 Recolección de la muestra.

Las muestras fueron recolectadas en la hacienda “MEDIA MONTAÑA” ubicada en el sitio Juana de Oro en el cantón Pasaje provincia de El Oro.

2.5 Desarrollo experimental.

En este ítem se indica, las técnicas de recolección de muestras y los procedimientos que se desarrollaron para realizar la presente investigación.

Una vez realizada la recolección de la muestra de raquis de banano, se procedió a lavarla, cortarla en rodajas, con el fin de facilitar el troceado en cuadros pequeños de 2mm x 2mm aproximadamente, para luego secarla a 60 °C durante 24 horas. Una vez eliminada la humedad se procedió a molerla para pasarla por un tamiz de 200mm y posteriormente almacenarlas en fundas ziploc hasta pasar al siguiente proceso.

2.5.1 Pretratamiento de la muestra. El pretratamiento del raquis de banano se realizó con dos formas diferentes de extracción, la primera extracción fue con agitador orbital y la segunda con un extractor acelerado.

2.5.1.1 Extracción tradicional (A1). Se pesó 20 gramos de raquis de banano colocándolos en un frasco de 250 ml, primero con etanol durante 24 horas, luego con agua desionizada por el mismo periodo de tiempo y finalmente con dimetilsulfoxido otras 24 horas más. Realizados los tres lavados a la muestra se procedió a filtrar y secar en la estufa a 60 ° C durante 24 horas.

2.5.1.2 Extracción acelerada (A2). Se pesó 1.5 gramos de raquis de banano poniéndolos en la celda del equipo de extracción acelerada con sus respectivos filtros, previamente tomado el peso del filtro para luego saber la cantidad de muestra restante del lavado. La celda se colocó en el equipo y se procedió a lavar primero con etanol, agua y dimetilsulfoxido, terminado el lavado se secó la muestra a 60 ° C durante 24 horas.

2.5.2 Tratamiento alcalino. El tratamiento alcalino se realizó por separado para la muestra por extracción mecánica y acelerada.

2.5.2.1 Tratamiento con NaOH. Se preparó 200ml de NaOH al 5% en peso, con el material inmerso en la solución se sometió a agitación mecánica durante 14 horas a temperatura ambiente, después de haber transcurrido el tiempo se filtró y se separó la parte insoluble.

2.5.2.2 Tratamiento con Ca(ClO)₂. Se preparó 200ml de hipoclorito de calcio al 1% regulando el pH con ácido acético glacial hasta un pH de 5, sumergiendo la parte insoluble del proceso anterior a agitación durante 1 hora a 70 °C.

2.5.2.3 Tratamiento con NaOH. Continuando con el proceso se agitó nuevamente el material con hidróxido de sodio al 5% en peso por 14 horas a temperatura ambiente, transcurrido el tiempo del proceso se filtró y separó la parte insoluble.

2.5.2.4 Tratamiento con HCL. Finalmente se prepararon 200ml de HCl al 1% para luego poner en agitación junto con el material durante 2 horas a 80 °C, eliminando así las trazas de los minerales existentes en el material.

Procesos que se hicieron por separado tanto para el material pretratado con extracción mecánica y el material con agitación mecánica.

2.5.3 Caracterización de la muestra.

2.5.3.1 Determinación de lignina. Es importante separar la lignina de la celulosa por lo que su determinación se realiza mediante un ataque ácido aplicando el método Klason³⁰.

2.5.3.2 Microscopio electrónico de barrido. Se usó SEM para investigar la microestructura y la morfología de la superficie de los haces vasculares de raquis de banano. Las muestras se incluyeron en cera de parafina y se secaron al aire durante la noche. Las secciones transversales se cortaron usando un microtomo rotativo. Secciones más gruesas se revistieron con oro / paladio usando un dispositivo de recubrimiento por pulverización iónica y se observaron con un microscopio Jeol JSM 5910 LV operado a 15 kV.

2.5.3.3 Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR). Los espectros de infrarrojo se obtuvieron mediante un espectrómetro de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) Perkin Elmer en un rango de longitud de onda de 4.400 a 400 cm^{-1} . Cada una de las muestras se mezcló con bromuro de potasio (KBr) puro y seco para remover el efecto dispersor de los cristales grandes. La mezcla se trituró en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino, con una proporción de muestra/KBr de 1:100 (relación en peso). Una pequeña porción del polvo se colocó en un portador de muestra para preparar pastillas mediante una prensa de troquel mecánica. La pastilla se colocó en una placa y se analizó con el espectrómetro.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización del material

3.1.1 Determinación de lignina. El raquis molido (tamiz 250um) libre de extraíbles se sometió a hidrólisis ácida con solución de H₂SO₄ (72% w/w). Después de dispersar el material en el ácido a 20 ± 1°C, se mantuvo en baño a esta temperatura por 2 horas con agitación frecuente. Se continuó la hidrólisis del material diluyendo el H₂SO₄ en peso por adición de agua desionizada y ebullición a reflujo por 4 horas. Las muestras se filtraron y el residuo sólido se secó y pesó para la determinación de la lignina Klason.

Tabla 2. Porcentaje de lignina presente en las muestras.

Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% Lignina
RP	1.5345	0.1887	12.3
Fibras A1	1.5103	0.0709	4.69
Fibras A2	1.5534	0.0286	1.84

Fuente: Los autores

La determinación de lignina realizado en el raquis puro como en las muestras A₁ y A₂ se aprecia que al inicio del proceso se inicia con 12.3 % de lignina presente en el RP, en la muestra A₁ este porcentaje disminuye alrededor de ¼ de la inicial siendo el mismo 4.69% y finalmente en la muestra A₂ el porcentaje de lignina es mínimo 1.84%.

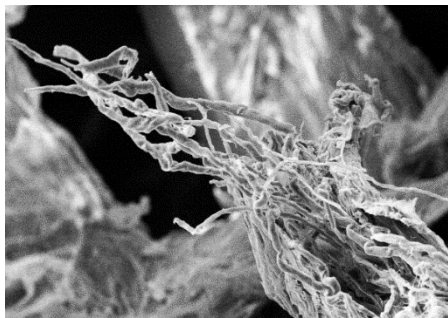
3.1.2 Microscopio electrónico de barrido. Para realizar un análisis morfológico de las fibras obtenidas del raquis de banano se muestran las siguientes figuras por microscopía electrónica de barrido, en la imagen 6 tenemos la morfología del raquis puro, en la imagen 7 se observa claramente que la muestra A1 las fibras de celulosa se encuentran aglomeradas y recubiertas por una pequeña parte de lignina que aún está presente en la muestra, cada fibra elemental consiste en espirales helicoidales, es decir, las microfibrillas³¹. En la imagen 8 observamos nanofibras de celulosa alargadas, pequeños hilos brillantes dispersos.

Imagen 6. Microscopio electrónico de barrido de raquis puro.



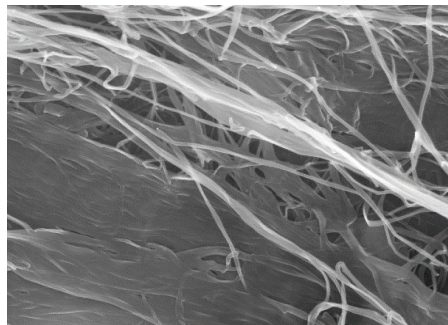
Fuente: Los autores

Imagen 7. Microscopio electrónico de barrido de muestra A₁.



Fuente: Los autores

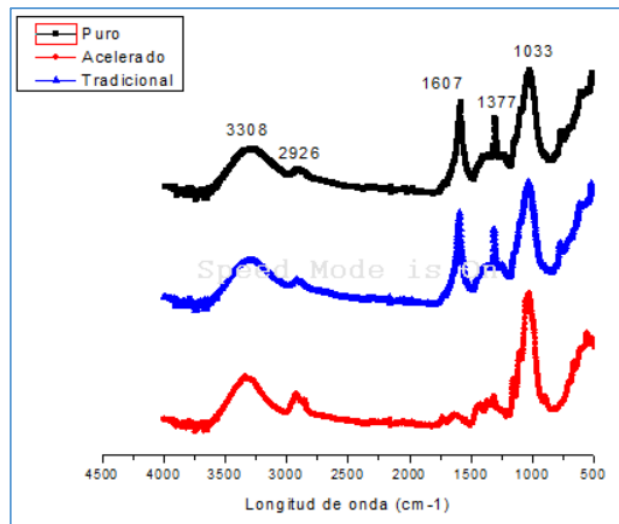
Imagen 8. Microscopio electrónico de barrido de muestra A₂.



Fuente: Los autores

3.1.3 Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR). Esta técnica permitió caracterizar la estructura química de las microcelulosas mediante la identificación de los grupos funcionales presentes, a través del estudio de la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y las muestras analizadas.

Imagen 9. Espectroscopia infrarroja para RP, A₁ y A₂



Fuente: Los autores

En la imagen 9 se observa la tensión C=C aromático a un pico de 1377 cm⁻¹ característico de grupos CH₃O-φ (metoxi) de la lignina en el raquis puro, en la muestra A₁ se observa una disminución lo que corrobora el valor del porcentaje de lignina obtenido en el análisis anterior, mientras que en la muestra A₂ desaparece el pico casi en su totalidad por lo que el porcentaje de lignina es de 1.84%, lo que evidencia la remoción de lignina.

Se observa un pico alrededor de 1607 cm⁻¹, producto de la flexión O-H, por otra parte, en el espectro observa un pico alrededor de 2926 cm⁻¹ correspondiente a la tensión C-H de los grupos alquil alifáticos (H-C-H) presentes en la celulosa y hemicelulosa.

Encontramos también un pico en 3308 cm⁻¹ indicador de la presencia de OH (Tensión o estiramiento) y finalmente la señal de 1033 cm⁻¹ nos hace referencia a los grupos C-C y C-OH vibraciones del anillo aromático y de grupos secundarios.

Todos estos grupos funcionales comparados con la información reportada en la literatura como la tabla a continuación.

Tabla 3. Grupos funcionales presentes en las fibras según la literatura.

Tipo de fibra	Grupos funcionales				
	C-C y C-OH	CH ₃ O- φ	OH	C-H y H-C-H	OH (estiramiento)
Fibras de bagazo	1033 cm ⁻¹	-	1610 cm ⁻¹	2917 cm ⁻¹	3333 cm ⁻¹
Fibras de estopa	1029 cm ⁻¹		1622 cm ⁻¹	2921 cm ⁻¹	3336 cm ⁻¹
Fibra de fique	-	1420 cm ⁻¹	-	2920 cm ⁻¹	-

Fuente: ³¹&³²

4 CONCLUSIONES

- En la presente investigación se determinó el aislamiento de microfibras de celulosa con la extracción tradicional, mientras que la extracción acelerada dio como resultado nanofibras de celulosa.
- La lignina presente en el raquis puro fue de 12.3%, en comparación con el porcentaje presente en la muestra A₁ hay una disminución hasta quedar en 4.69%, finalmente la presencia de lignina es muy baja en la muestra A₂ con un porcentaje de 1.84% por lo que la eliminación por los distintos tratamientos tuvo éxito.
- Entre los grupos funcionales presente en la fibras de celulosa se tiene C=C aromático a una longitud de onda de 1377 cm⁻¹ característico del grupo CH₃O-φ (metoxi) de la lignina, corroborando los porcentajes de lignina presentes en el RP, A₁ y A₂, también existe presencia de grupos O-H a 1607 cm⁻¹, en 2926 cm⁻¹ correspondiente a la tensión C-H de los grupos alquil alifáticos (H-C-H) presentes en la celulosa y hemicelulosa y en 1033 hace referencia a los grupos C-C y C-OH, todos estos grupos característicos de fibras de celulosa respaldados por la literatura.
- Se ha podido determinar que dependiendo del pretratamiento en este caso una extracción tradicional y una extracción acelerada se puede obtener micro y nano fibras de celulosa que podrían ser aplicadas en distintas ramas de estudio.

5 RECOMENDACIONES.

- Desarrollar estudios sobre la modificación estructural de las nanofibras para hacerla selectivas empleadas en la absorción de metales.
- Para mejorar la eliminación de lignina se debería trabajar con reactivos de grado analítico.
- Reducir aún más el tamaño de partícula para obtener fibras de celulosa con una estructura más homogénea.
- Realizar un estudio económico sobre la obtención de fibras de celulosa a partir del raquis de banano.
- Estudiar la capacidad de producción de fibras de celulosa a partir del raquis de banano empleando diferentes métodos de obtención.
- Realizar un estudio medio ambiental de la producción de fibras de celulosa.

6 BIBLIOGRAFÍA

- (1) Armas Ruiz, D.; Ruiz, S.; Piován, M.; Carrión, L.; Narváez, C. Caracterización de propiedades mecánicas de las fibras de banano de la corteza y el cuerpo del tallo. *Científica* **2016**, *20*, 21-31.
- (2) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. Agro-Industrial Residues Generated in Ecuador for the elaboration of bioplastics. *Rev. Ing. Ind.* **2018**, *3*, 227-246.
- (3) Pilco, G.; Borja, D.; Goetschel, L.; Andrade, P.; Irazabal, J.; Vargas, P.; Guil, L.; Rueda, V.; Ramos, L. Caracterización bromatológica y evaluación de la actividad antimicrobiana en cáscara de banano Ecuatoriano (*Musa paradisiaca*) (Bromatological characterization and evaluation of the antimicrobial activity of Ecuadorian banana peel (*Musa paradisiaca*)). *Enfoque UTE* **2018**, *9*, 48-58.
- (4) Rojas González, A. F.; Flórez Montes, C.; López Rodríguez, D. F. Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Rev. Cuba. Química* **2019**, *31*, 31-52.
- (5) Chávez Porras, Á.; Rodríguez González, A. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Acad. y Virtualidad* **2016**, *9*, 90-107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>.
- (6) Gómez Orejuela, I. A.; Vianchá Sánchez, Z. H. Buenas prácticas agrícolas como alternativa de producción limpia en el proceso productivo de cítricos y mango en el municipio de Viotá, Cundinamarca. *Ing. Solidar.* **2017**, *13*, 137-151. <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1840>.
- (7) Rojas, J.; Viviana, Q.; Benavides, F. Evaluación del aprovechamiento de subproductos generados a partir del procesamiento industrial del plátano (*Musa paradisiaca*) variedad hartón, en el municipio de Sotomayor del departamento de Nariño. *SATHIRI* **2015**, *9*, 32-52.
- (8) Haro Velasteguí, A.; Borja Arévalo, A.; Triviño Bloisse, S. Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la

- producción de materiales plásticos biodegradables. *Dominio las Ciencias* **2017**, 3, 506-525.
- (9) Pinos, J. A. STUDY OF THE DOSAGE OF BANANA FIBER IN A POLYMERIC RESIN OF TYPE EPOXY. *Ingeniería* **2018**, 22, 17-29.
- (10) Martínez Cardozo, C.; Cayón Salinas, G.; Ligarreto Moreno, G. Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Cienc. y Tecnol. Agropecu.* **2016**, 17, 217-227.
- (11) Jaramillo, S. Manual de Aplicabilidad de Buenas practicas Agrícolas de banano. *Agencia Ecuatoriana Asegur. las Calid. del Agro(AGROCALIDAD)* **2013**, 1, 1-95.
- (12) Castillo-tumaille, G. I.; Espinoza-espinoza, W. N. Análisis de aceptación del papel a base de pinzote de banano como alternativa de reemplazo al papel tradicional , en la ciudad de Guayaquil , Ecuador. *Ing. Ind. Actual. y Nuevas Tendencias* **2017**, 18, 59-70.
- (13) Rodríguez, Lady; Fanguero, R.; Orrego, C. Efecto de tratamientos químicos y de plasma DBD en las propiedades de fibras del seudotallo de plátano. *Rev. Latinoam. Metal. y Mater.* **2015**, 35, 295-304.
- (14) Llenque Díaz, L. A.; Muñoz Ríos, M.; Espejo Vargas, E.; Moreno, A. Producción de celulasas por *Aspergillus niger* a partir de bagazo de caña de azúcar en biorreactor aireado. *Cienc. y Tecnol.* **2016**, 11, 39-49.
- (15) Gutiérrez Rojas, I.; Moreno Sarmiento, N.; Montoya, D. Mechanisms and regulation of enzymatic hydrolysis of cellulose in filamentous fungi: Classical cases and new models. *Rev. Iberoam. Micol.* **2015**, 32, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2013.10.009>.
- (16) González Velandia, K.-D.; DazaRey, D.; Caballero Amado, P.-A.; Martínez González, C. Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul* **2016**, 43, 499-517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>.
- (17) Pinos, A.; Braulio, J. Modification of the cellulose obtained from banana fiber for

to use in biodegradable polymers. *Afinidad* **2019**, 76, 45-51.

- (18) Flórez Montes, C.; Rojas González, A. Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural. *Rev. Fac. Ciencias Basicas* **201d. C.**, 14, 143-151.
- (19) Agrotendencia. HEMICELULOSA
<https://agrotendencia.tv/agropedia/glosario/hemicelulosa/>.
- (20) Torres Jaramillo, D.; Morales Vélez, S. P.; Quintero Díaz, J. C. Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Ingeniare* **2017**, 25, 733-743. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400733>.
- (21) Prieto, C.; Páez, G.; Ortega, J.; Araujo, K.; Mármol, Z.; Rincón, M.; Raga, J. Optimization of the extraction conditions of pectin from mango peel using response surface methodology. *Rev. Técnica la Fac. Ing. Univ. del Zulia* **2017**, 40, 161-169.
- (22) Mendoza Vargas, L.; Jiménez Forero, J.; Ramírez Niño, M. Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica* **2017**, 20, 131-138. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n1.2017.70>.
- (23) Bustamante García, V.; Carrillo Parra, A.; Prieto Ruíz, J. Á.; Corral Rivas, J. J.; Hernández Díaz, J. C. Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Rev. Mex. Ciencias For.* **2017**, 7 (38), 5-24. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i38.8>.
- (24) González Soto, R. .; Reyes Atrizco, J. N.; Gutiérrez Meráz, F.; Pacheco Vargas, G. Nanocelulosa obtenida de residuos agroindustriales del cultivo de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.). *Investig. y Desarro. en Cienc. y Tecnol. Aliment.* **2016**, 1, 301-306.
- (25) Galeana, E. A. Aislamiento De Nanofibrillas De Celulosa a Partir De Residuos Sólidos Orgánicos Agrícolas Para La Producción De Biomateriales Que Puedan Sustituir a Las Fibras Sintéticas, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE

MÉXICO, 2017.

- (26) Celulares, D. E. P.; Raquis, D. E. L. Nano-composites reforzados con microfibrillas de celulosa aisladas de paredes celulares del raquis de banano. *Sci. Tech.* **2007**, *XIII*, 689-694. <https://doi.org/10.22517/23447214.5047>.
- (27) de Oliveira, J.; Bruni, G.; Lima, K.; El Halal, S.; da Rosa, G.; Dias, A.; da Rosa Zavareze, E. Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. *Food Chem.* **2017**, *221*, 153-160.
- (28) Balea, A.; Monte, M. C.; de la Fuente, E.; Negro, C.; Blanco, Á. Application of cellulose nanofibers to remove water-based flexographic inks from wastewaters. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2017**, *24*, 5049-5059. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8257-x>.
- (29) Velusamy, V.; Palanisamy, S.; Chen, S. W.; Balu, S.; Yang, T. C. K.; Banks, C. E. Novel electrochemical synthesis of cellulose microfiber entrapped reduced graphene oxide: A sensitive electrochemical assay for detection of fenitrothion organophosphorus pesticide. *Talanta* **2019**, *192*, 471-477. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.09.055>.
- (30) Toscano Palomar, L.; Ayala Bautista, A. G.; Montero Alpirez, G.; Cervantes Díaz, L.; Torres Ramos, R.; Romero Uscanga, E.; Amado Moreno, M. G.; García Velázquez, Á. Determinación simplificada del contenido de Lignina en paja de trigo por método volumetrico y su caracterización química. *Cienc. y Tecnol.* **2015**, *15*, 113-124. <https://doi.org/10.18682/cyt.v1i15.286>.
- (31) Zuluaga, R.; Putaux, J. L.; Cruz, J.; Vélez, J.; Mondragon, I.; Gañán, P. Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydr. Polym.* **2009**, *76*, 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.09.024>.
- (32) García Villamizar, C. P. Obtención por hidrólisis ácida y caracterización de nanofibras de celulosa a partir del bagazo y la estopa de fique, Universidad Industrial de Santander, 2015. <https://doi.org/10.5897/ERR2015>.

- (33) Espitia Sibaja, H. M. Aislamiento de nanofibras de celulosa a partir de residuos agroindustriales de fique y caña de azúcar, con potencial aplicación en reforzamientos de polímeros termoplásticos, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2010.

ANEXOS

Anexo 1. Raquis de banano



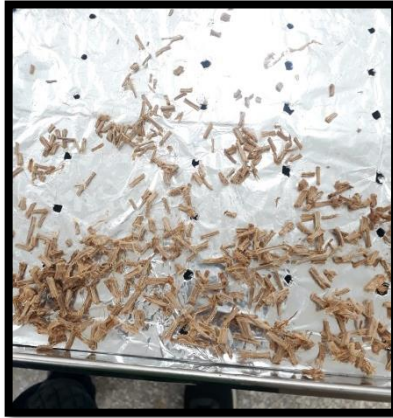
Anexo 2. Troceado del raquis de banano



Anexo3. Secado del raquis



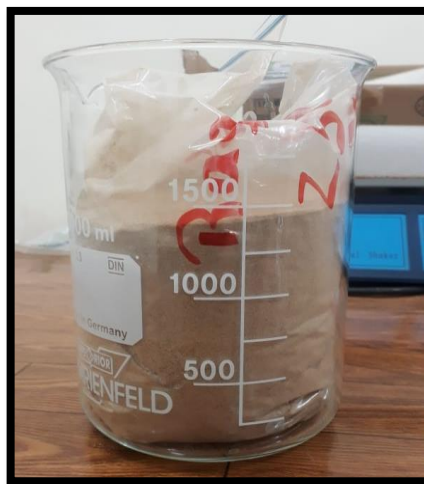
Anexo 4. Celulosa de raquis antes de moler



Anexo 5. Muestra molida y tamizada



Anexo 6. Muestra empaquetada y almacenada



Anexo 7. Preparación de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ regulando el pH hasta 5



Anexo 8. Celda con muestra del equipo de extracción acelerada



Anexo 9. Tratamiento alcalino



Anexo 10. Filtrado después de las distintas etapas del tratamiento alcalino

