



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A
PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (*Musa sapientum*)
APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA
PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

Carmen Mercedes Linares Chang

Asesorado por el Ing. Juan Carlos González Soto

Guatemala, abril de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR
DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO
(*Musa sapientum*) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS
ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARMEN MERCEDEZ LINARES CHANG
ASESORADO POR EL ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ SOTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín González
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR
DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO
(*Musa sapientum*) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS
ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 8 de febrero de 2021.



Carmen Mercedes Linares Chang

Guatemala 30 de septiembre de 2022

Ingeniero
Williams Álvarez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el informe final del trabajo de graduación titulado: "ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (*Musa sapientum*) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Carmen Mercedes Linares Chang, quien se identifica con el registro académico 201513627 y con el CUI 3000 71876 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Juan Carlos González Soto
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 1785

Juan Carlos Gonzalez Soto
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1785



Guatemala, 10 de febrero de 2023.
Ref. EIQ.TG-IF.002.2023.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **081-2020**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Carmen Mercedes Linares Chang**.
Identificado con número de carné: **3000718760101**.
Identificado con registro académico: **201513627**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **TESIS (Informe Final, Seminario de Investigación)**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (*Musa sapientum*) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Juan Carlos González Soto, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Hilda Piedad Palma Ramos de Martini
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.085.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (Musa sapientum) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**, presentado por: **Carmen Mercedes Linares Chang** , procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Alvarez Mejia. M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

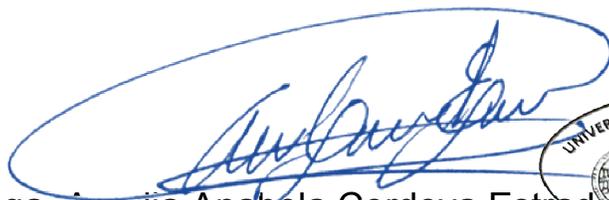
Guatemala, abril de 2023.

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.354.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CELULOSA MICROCRISTALINA OBTENIDA A PARTIR DEL RAQUIS Y PSEUDOTALLO DEL BANANO (Musa sapientum) APLICANDO EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA-ALCALINA PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS**, presentado por: **Carmen Mercedes Linares Chang**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, abril de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Miriam Aida Chang López y Néstor Eliseo Linares Ramírez, por apoyarme incondicionalmente y ser los pilares de mi vida.

Mis hermanos

Néstor, Emely, Javier y Mandy, por motivarme y creer en mí.

Mis abuelas

Por sus sabios consejos, palabras de aliento y por brindarme su amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haber permitido mi formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos y recursos para el desarrollo de mi formación profesional.
Mis amigos de la Facultad	Cecilia Monroy y Joselyn López, por su amistad, apoyo, ánimos y por acompañarme todos estos años de lucha y esfuerzo en la carrera.
Ing. Juan Carlos González Soto	Por permitirme realizar prácticas profesionales y desarrollar mi trabajo de tesis en las instalaciones de su empresa. Pero especialmente por compartirme su valioso conocimiento y guiarme en mi crecimiento profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. El Banano	3
2.1.1. Características botánicas	4
2.1.1.1. Sistema radicular	4
2.1.1.2. Bulbo	5
2.1.1.3. Sistema foliar	6
2.1.1.4. Inflorescencia o bellota	8
2.1.1.5. Fruto	9
2.2. Residuos agroindustriales	10
2.2.1. Tipo de residuos agroindustriales	10
2.2.1.1. Residuos secos	10
2.2.1.2. Residuos húmedos	11
2.2.2. Composición de los residuos agroindustriales.....	12
2.2.3. Materia lignocelulósica	12
2.3. Celulosa.....	13

2.4.	Celulosa microcristalina	15
2.4.1.	Aplicaciones de celulosa microcristalina en la industria.....	15
2.4.2.	Métodos utilizados para la obtención de celulosa microcristalina	16
2.4.2.1.	Método alcalino	16
2.4.2.2.	Método de sulfato.....	16
2.4.2.3.	Método de hidrólisis ácida	17
2.4.2.4.	Tratamiento con ácido acético-ácido nítrico.....	17
2.4.2.5.	Tratamiento con hidróxido de sodio	17
2.5.	Aditivo alimentario	18
2.5.1.	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios.....	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Variables	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	22
3.2.1.	Etapas que conforman la investigación	23
3.2.2.	Lugar de desarrollo de la investigación	23
3.3.	Recursos humanos disponibles	23
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	23
3.4.1.	Cristalería	24
3.4.2.	Instrumentos de medición	24
3.4.3.	Equipos	24
3.4.4.	Reactivos.....	25
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	25
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	26
3.6.1.	Obtención de celulosa microcristalina	26

3.6.2.	Caracterización de la celulosa microcristalina	28
3.6.2.1.	Determinación de porcentaje de celulosa presente en la muestra	28
3.6.2.2.	Determinación de solubilidad.....	29
3.6.2.3.	Evaluación de suspensión	30
3.6.2.4.	Determinación de perdidas por deseccación.....	30
3.6.2.5.	Determinación de pH.....	30
3.6.2.6.	Determinación de ceniza sulfatada.....	31
3.6.2.7.	Medición de sustancia soluble en agua.....	31
3.6.2.8.	Identificación en almidón	32
3.6.2.9.	Cuantificación de plomo	32
3.7.	Tabulación ordenamiento y procesamiento de la información	32
3.8.	Metodología de cálculo y análisis estadístico	38
3.8.1.	Porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina obtenida	38
3.8.2.	Porcentaje de celulosa presente en la muestra	39
3.8.3.	Solubilidad de la celulosa microcristalina	39
3.8.4.	Porcentaje de perdidas por desecación.....	39
3.8.5.	Porcentaje de ceniza sulfatada.....	40
3.8.6.	Porcentaje de sustancias solubles en agua.....	40
3.8.7.	Media.....	40
3.8.8.	Desviación estándar	41
3.8.9.	Coefficiente de variación	41
4.	RESULTADOS	43

5. INTERPRETACIÓN	45
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	55
APÉNDICES.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta de banano y sus partes.....	3
2.	Vista de la raíz de la planta de banano	4
3.	Bulbo de la planta de banano.....	5
4.	Pseudotallo de la planta de banano	6
5.	Pseudopetiolos de la planta de banano.....	7
6.	Envés y haz, lámina foliar del banano.....	8
7.	Bellota o inflorescencia del banano.....	9
8.	Fruto del banano	9
9.	Composición de algunos residuos agrícolas.....	12
10.	Componentes de la materia lignocelulósica	13
11.	Estructura química de la celulosa	15

TABLAS

I.	Definición operacional de variables en la etapa de obtención de celulosa	21
II.	Definición operacional de variables en la etapa de caracterización de la celulosa	22
III.	Solubilidad aproximada según la prueba de identificación.....	29
IV.	Obtención de celulosa microcristalina por hidrólisis ácida-alcalina a partir del Raquis y pseudo tallo del banano	32
V.	Datos para la determinación del rendimiento de celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano ..	33

VI.	Datos para la determinación del porcentaje de celulosa presente en la muestra obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano	33
VII.	Datos para la determinación de la solubilidad de la celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano ...	34
VIII.	Datos para la determinación del porcentaje de pérdidas por desecación de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	34
IX.	Medición del pH de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	35
X.	Datos para la determinación de la ceniza sulfatada de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	35
XI.	Datos para la determinación del porcentaje de sustancia soluble en agua de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	36
XII.	Identificación de presencia de almidón en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	36
XIII.	Cuantificación de Plomo en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	37
XIV.	Datos para la evaluación del cumplimiento de las especificaciones establecidas por JECFA de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	37
XV.	Porcentaje de rendimiento de materia celulósica obtenida a partir de raquis y pseudotallo del banano	43
XVI.	Cumplimiento de las especificaciones establecidas por JECFA de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano	44

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
β	Beta
C_v	Coefficiente de variación
σ	Desviación estándar
$^{\circ}C$	Grados Celsius
g	Gramos
g/L	Gramos por litro
g/mL	Gramos por mililitro
NaOH	Hidróxido de sodio
h	Horas
\leq	Menor o igual que
mg/Kg	Miligramos por kilogramo
mL	Mililitro
min	Minutos
n	Número de datos
P_m	Peso de la muestra
W	Peso de la muestra en base seca
P_c	Peso del crisol vacío
P_{rf}	Peso final del residuo después del filtrado
P_{fi}	Peso final después de la incineración
P_{fs}	Peso final después del secado
P_o	Peso seco final de la muestra después del tratamiento ácido-alcalino

P_f	Peso seco inicial de la muestra después de tratamiento ácido-alkalino
%	Porcentaje
%C	Porcentaje de celulosa contenido en la muestra
%Cs	Porcentaje de ceniza sulfatada
%PD	Porcentaje de las pérdidas por desecación
%R	Porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina
%Ss	Porcentaje de sustancias solubles en agua
%v/v	Porcentaje de volumen a volumen
S_o	Solubilidad
Na₂S	Sulfuro de sodio
∑X_i	Sumatoria de los datos
X_i	Valor de cada dato individual
\bar{X}	Valor medio de los datos
B	Volumen de titulante gastado en el blanco
S	Volumen del titulante gastado en la muestra
V_s	Volumen requerido de disolvente

GLOSARIO

Aditivo alimentario	Sustancia que no se consume normalmente por sí misma, cuya adición es intencional con el objetivo de modificar sus características organolépticas o facilitar el proceso de elaboración o conservación.
Antioxidante	Aditivo alimentario que prolonga la vida en almacén de los alimentos, protegiéndolos del deterioro ocasionado por la oxidación.
AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Oficiales: asociación que tiene por objetivo ser un proveedor activo en el ámbito mundial, responsable de la organización, desarrollo, empleo y armonización de métodos analíticos validados y programas de aseguramiento de la calidad de los servicios de laboratorio.
Catalizador	Sustancia que, sin ser modificada o consumida durante un proceso químico, cambia la velocidad de la reacción.
Colorante	Aditivo alimentario que da o restituye color a un alimento.
Edulcorante	Sustancia capaz de dar sabor dulce a un alimento.

Emulsionante	Sustancia que permite la mezcla entre dos sustancias que normalmente son poco miscibles, formando una emulsión.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre. También es fuente de conocimiento e información y ayuda a los países en vías de desarrollo y transición a modernizar y mejorar sus actividades agrícolas, forestales y pesqueras, con el fin de asegurar una buena nutrición para todos.
Helicoidal	Figura de tipo geométrica que tiene forma de hélice, análogo a la espiral o línea curva.
Hemicelulosa	Heteropolisacáridos que forman una cadena lineal ramificada. Son de naturaleza amorfa y sirven, con la lignina, para formar la matriz en la cual se incrustan las fibrillas de celulosa.
Hidrólisis	Descomposición química de un compuesto en compuestos más simples por la acción del agua.
IDA	Ingesta diaria admisible. Estimación de la cantidad de una sustancia presente en los alimentos o el agua

potable que puede consumirse diariamente durante toda la vida sin que se aprecie un riesgo sobre la salud.

JECFA

Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios. Comité científico internacional de expertos sobre aditivos alimentarios, administrado conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud.

Lignina

Es una molécula de materia orgánica compleja, que se encuentra en la pared celular secundaria, les imparte rigidez a las microfibrillas de celulosa.

Lignocelulosa

Biomasa compuesta por los polímeros de carbohidratos, celulosa y hemicelulosa, y el polímero aromático, lignina. Esta, junto con la hemicelulosa, es el principal componente de la pared celular de las plantas.

Oligoelementos

Componentes químicos imprescindibles para el organismo, ya que brindan los nutrientes esenciales para que todos los procesos funcionen correctamente; están presentes en pequeñas cantidades en los seres vivos y, tanto su ausencia como su exceso, puede ser perjudicial para el organismo.

OMS

Organización Mundial de la Salud. Organismo de la Organización de las Naciones Unidas especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención a nivel mundial en la salud, definida en su constitución como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente como la ausencia de afecciones o enfermedades.

Polisacáridos

Carbohidrato o hidrato de carbono complejo formado por más de cuatro moléculas de monosacárido enlazadas entre sí.

Rizoma

Tallo horizontal, generalmente bajo el sustrato que sirve a las plantas como almacén de nutrientes o como vía de reproducción.

RESUMEN

La siguiente investigación tuvo como objetivo la obtención de celulosa microcristalina a partir del raquis y pseudotallo del banano para, posteriormente, evaluar la matriz que genera un mayor rendimiento, y si es apta para usar como aditivo alimentario, proporcionando así una alternativa para el aprovechamiento de estos residuos de los cultivos de banano.

Para la obtención de celulosa microcristalina se empleó la metodología propuesta por Arroca y Estrada (2015), el cual consistió en tratamientos ácidos y alcalinos para el aislamiento de la celulosa presente en las muestras de raquis y pseudotallo del banano. La evaluación de su uso como aditivo alimentario se realizó caracterizando la celulosa microcristalina obtenida con base en los parámetros establecidos por el Comité Conjunto FAO/OMS en Aditivos Alimentarios, JECFA.

Se determinó que la matriz que proporciona mayor rendimiento de celulosa microcristalina es el pseudotallo del banano versus el raquis del mismo. En la caracterización de la celulosa microcristalina obtenida de ambas matrices se comprobó que, tanto la celulosa microcristalina del pseudotallo como la del raquis del banano, son aptas para su uso como aditivo alimentario, según el cumplimiento de los valores establecidos por el comité JECFA.

OBJETIVOS

General

Comparar el rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis del banano, con la obtenida del pseudotallo del banano y evaluar su aplicación en la industria de alimentos.

Específicos

1. Obtener celulosa microcristalina a partir de las matrices de raquis y pseudotallo de banano, empleando la metodología de hidrólisis ácido-alcalina.
2. Determinar la matriz que proporciona el mayor rendimiento de celulosa microcristalina.
3. Caracterizar la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallos de banano, según los parámetros establecidos por JECFA.
4. Evaluar la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo de banano como aditivo alimentario, comparándola con las especificaciones establecidas en el comité mixto JECFA.

HIPÓTESIS

Hipótesis nulas, H_0 :

- H₀₁:** no existe diferencia significativa en el rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida del raquis, con la obtenida del pseudotallo del banano.
- H₀₂:** la matriz de donde se obtiene la celulosa microcristalina no afecta significativamente en la pureza y características de la misma.
- H₀₃:** la celulosa microcristalina obtenida a partir de raquis del banano no cumple con las especificaciones para su uso como aditivo alimentario.
- H₀₄:** la celulosa microcristalina obtenida a partir del pseudotallo del banano no cumple con las especificaciones para su uso como aditivo alimentario.

Hipótesis alternas, H_a :

- H_{a1}:** existe diferencia significativa en el rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida del raquis, con la obtenida del pseudotallo del banano.
- H_{a2}:** la matriz de donde se obtiene la celulosa microcristalina afecta significativamente en la pureza y características de la misma.
- H_{a3}:** la celulosa microcristalina obtenida a partir de raquis del banano cumple con las especificaciones para su uso como aditivo alimentario.
- H_{a4}:** la celulosa microcristalina obtenida a partir del pseudotallo del banano, cumple con las especificaciones para su uso como aditivo alimentario.

INTRODUCCIÓN

La celulosa es el compuesto orgánico de mayor abundancia en la naturaleza y de gran importancia a nivel biológico e industrial; es el principal componente en la mayoría de las fibras naturales como: algodón, lino, cáñamo, caña de azúcar, banano, entre otras (Romero, et al., 2014).

De las fibras celulósicas se deriva la celulosa microcristalina en consecuencia del grado de polimerización de la cadena de celulosa. Las microfibrillas que componen la α -celulosa consisten en una fase cristalina y una fase amorfa. La fase amorfa se hidroliza fácilmente cuando es sometida a hidrólisis ácida, dando como resultado la fragmentación de la cadena lineal de la celulosa (Trache, et al., 2016). De la hidrólisis ácida se obtiene una fracción soluble en ácido y otra insoluble que posteriormente es tratada con una hidrólisis alcalina. Esta última fracción contiene más de 97 %, en base seca, de celulosa de alta cristalinidad y se caracteriza por ser un polvo blanco y fino, inodoro, inerte, insoluble en agua, en solventes orgánicos y ácidos diluidos, y parcialmente soluble en álcalis diluidos (García, et al., 2013).

La celulosa, junto con la hemicelulosa y lignina componen la pared celular de fibras vegetales. En los últimos años, las fibras vegetales están siendo aprovechadas para obtener productos aplicables en la industria.

En Guatemala, existen muchas fuentes de residuos vegetales debido la importancia de la agricultura en el país. Dichos residuos vegetales, también llamados agrícolas, no son aprovechados eficientemente.

El cultivo de banano en Guatemala es uno de los más importantes debido a su volumen de exportación y comercialización a nivel nacional. Por lo que el cultivo de banano es una fuente significativa de residuos agrícolas en el país.

Durante la etapa de recolección del fruto en las plantaciones de banano se obtienen residuos de la planta como el raquis que es el vástago que sostiene los frutos y el pseudotallo de la planta de banano. Estos residuos pueden ser aprovechados debido a su contenido de fibra, para la obtención de celulosa microcristalina, como un producto de valor agregado.

En esta investigación se tuvo como objetivo proponer una alternativa del aprovechamiento del raquis y pseudotallo residual, por medio de la obtención de celulosa microcristalina; posteriormente se evaluó su aplicación en la industria de alimentos, dándole así una utilidad a los residuos.

1. ANTECEDENTES

Guatemala, en el transcurso de su historia se ha caracterizado por ser un país eminentemente agrícola, constituyendo el agro un renglón muy importante en el desarrollo económico y social. Las empresas bananeras ocupan un lugar predominante dentro del marco de la economía nacional, porque además de ser generadoras de divisas se constituyen en fuentes de trabajo, tanto en la costa suroccidental como en la costa norte del país (Jiménez, 2014).

En la actualidad, los residuos generados en los cultivos de banano no están siendo aprovechados, ya que su producción va enfocada en la exportación y comercialización nacional del fruto, dejando sin uso los residuos, como el raquis y el pseudotallo del banano.

Se han realizado estudios para mejorar los procesos de producción de banano en Guatemala, como el caso de la investigación de H. Jiménez en el 2014 titulado: Aspectos ambientales y buenas prácticas de manufactura para una empresa de banano. Sin embargo, no se han investigado alternativas para aprovechar estos residuos agrícolas generados en la producción de este fruto.

P. Romero, S. Marfisi, P. Olivero, B. Rojas y G. Peña (2014) de la Universidad de Oriente de Venezuela, realizaron una investigación para Síntesis de celulosa microcristalina y la obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas de Cambur. En dicha investigación, los estudiantes demostraron las condiciones óptimas para obtener celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas.

El mismo año 2014, D. Carchi, estudiante de la universidad Cuenca en Ecuador, realizó un estudio para el aprovechamiento de los residuos provenientes del cultivo de banano para la obtención de nanocelulosa, empleando el método de hidrólisis ácida y caracterizando la nanocelulosa obtenida, basado en las normas de papel y cartón, TAPPI.

M. Aroca y P. Estrada (2015), estudiantes de la universidad de Guayaquil en Ecuador, realizaron el estudio comparativo de la celulosa obtenida a partir del pseudotallo de banano, con la obtenida de bagazo de la caña de azúcar; en esta investigación evalúan las diferentes metodologías para obtener la celulosa y determinar el rendimiento de los residuos con el fin de evaluar, además, la factibilidad de extraer de los residuos, un producto de valor agregado.

En el 2018, A. Pineda y J. Navarrete, también estudiantes de la universidad de Guayaquil en Ecuador, realizaron el estudio titulado: Obtención de celulosa microcristalina a partir de la estopa de coco, dándole una utilidad a este residuo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El Banano

El banano se define como una planta herbácea con pseudotallos aéreos que se originan de cormos carnosos, en los que se desarrollan numerosas yemas laterales o hijillos. Las hojas tienen una distribución helicoidal, filotaxia espiral, y las bases foliares circundan el tallo, dando origen al pseudotallo. La inflorescencia es terminal y crece a través del centro del pseudotallo, hasta alcanzar la superficie (Torres, 2012).

Figura 1. Planta de banano y sus partes



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 9.

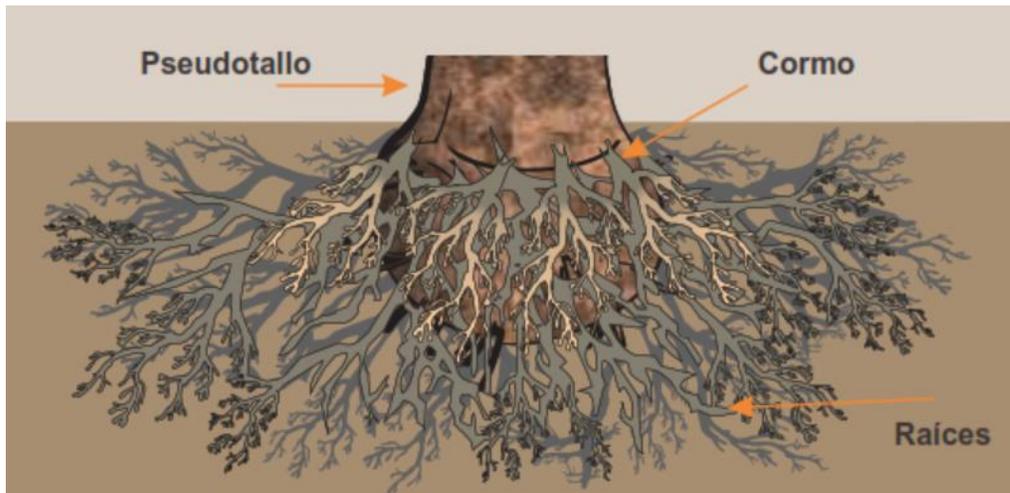
2.1.1. Características botánicas

El banano es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de Musáceas, género Musa; este se encuentra dentro del subgrupo Cavendish. La planta se caracteriza por:

2.1.1.1. Sistema radicular

Este está formado por una abundante cantidad de raíces primarias, secundarias y terciarias. Según investigadores, sugieren que, se planten dos tipos de raíces primarias: las horizontales y verticales, que conforman un sistema entrecruzado que le brinda a la planta, soporte y fijación al suelo.

Figura 2. Vista de la raíz de la planta de banano



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 10.

2.1.1.2. Bulbo

Este bulbo sólido es de forma cilíndrica y de textura corta, gruesa y carnosa, con un alto contenido de agua. Este tiene una función importante debido a las reservas energéticas que almacena. Este se origina de la yema vegetativa de la planta madre que da origen al pseudotallo y al penacho foliar; esta yema floral da origen al tallo verdadero y al racimo de fruto. En la zona interna del bulbo se da origen a las raíces y yemas vegetativas que dan origen a hijuelos.

Figura 3. **Bulbo de la planta de banano**



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 10.

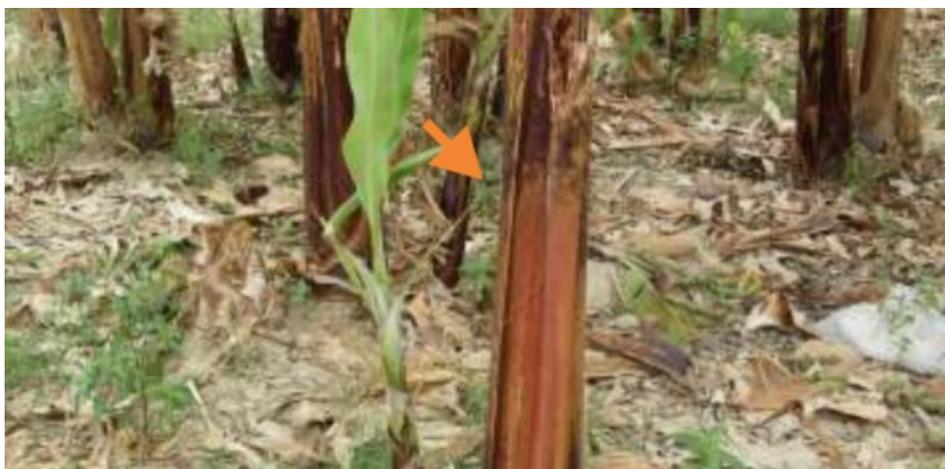
2.1.1.3. Sistema foliar

Este está conformado por tres partes importantes:

- Vainas foliares: estas se originan del bulbo y están conformadas por la prolongación y modificación de las hojas, las cuales están en los rizomas, creciendo de forma helicoidal y traslapándose a lo largo, originando el pseudotallo.

El pseudotallo, inicialmente es de color blanco y se torna verde al exponerse al sol. Es de forma cilíndrica recto y rígido; tiene la misma estructura que la del bulbo, pero se diferencia por el espeso de la corteza que se reduce, y en la composición del sistema vascular que solamente está formado por haces que serán parte del sistema foliar. (Torres,2012).

Figura 4. **Pseudotallo de la planta de banano**



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 11.

- Pseudopeciolo: el pseudopeciolo es el extremo superior de la vaina foliar que se adelgaza hacia la lámina foliar. Los haces de fibras quedan más juntos, lo que le da mayor rigidez, haciéndolos robustos y aptos para soportar el peso del limbo, que en algunos clones es de consideración. Cada vaina es más larga que la anterior, por lo que los peciolo se encuentran de manera escalonada.

Figura 5. **Pseudopeciolo de la planta de banano**



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 11.

- Lamina foliar: esta es una lámina delgada que se encuentra surcada por una nervadura estirada formada por las venas mayores que resaltan en la cara haz. Se extiende de la vena media al margen casi perpendicular al eje donde se encuentran otras venas menores no definidas. Las estomas se encuentran con mayor frecuencia en la superficie del envés que en la superficie del haz.

Figura 6. **Envés y haz, lámina foliar del banano**



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 12.

2.1.1.4. Inflorescencia o bellota

Esta inflorescencia o bellota se origina de brotes florales cuyo crecimiento se desarrolla dentro del pseudotallo. La bellota contiene las flores que posteriormente se desarrollarán como fruto.

Las flores femeninas y las masculinas quedan expuestas. Las flores femeninas dispuestas en grupos de dos filas apretadas y sobrepuestas entre sí, se les conoce con el nombre de mano, cuya distribución es en forma helicoidal, a lo largo del eje floral. Al conjunto de flores femeninas agrupadas en manos se conoce con el nombre de racimo. Las flores masculinas quedan ubicadas al final del racimo en la parte apical, conformando la estructura comúnmente conocida como bellota. (Torres, 2012).

Figura 7. **Bellota o inflorescencia del banano**



Fuente: Swing Torres, Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira, 2012, pág. 13.

2.1.1.5. Fruto

El fruto es carnoso y suave, compuesto por tres carpelos que son los últimos órganos florales que aparecen, fusionándose para formar el estilo y el estigma. Es de forma angulosa cuando es joven y progresivamente cilíndrica a medida que va aumentando de grosor por la acumulación de almidón. (Torres, 2012).

Figura 8. **Fruto del banano**



Fuente: el cultivo del banano.

https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banano_.asp.

2.2. Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales se derivan del procesamiento de un cultivo o producto animal en particular, generalmente por una empresa agrícola. En esta categoría se incluyen materiales como la melaza, el bagazo, las tortas de semillas oleaginosas y los subproductos de la molienda del maíz, así como los desechos de la cerveza. Los residuos agrícolas abarcan todos los desechos agrícolas como la paja, tallo, hojas, cáscara, piel, pelusa, semillas, pulpa, rastrojo que proviene de cereales como arroz, trigo, maíz o maíz, sorgo, cebada, mijo, algodón, maní, yute, legumbres, café, cacao, aceituna, té, frutas como, plátano, banano, mango, coco, anacardo y aceite de palma (Ibrahim, 2013).

2.2.1. Tipo de residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son de una amplia variedad de tipos, y las tecnologías de conversión de energía y los protocolos de manipulación más apropiados varían de un tipo a otro. La división más significativa se da entre los residuos que son predominantemente secos, como la paja, y los húmedos como los purines de animales, (Ibrahim, 2013).

2.2.1.1. Residuos secos

Estos incluyen aquellas partes de cultivos herbáceos que no se utilizan con el propósito principal de producir alimentos o fibras.

- **Campo y cultivo de semillas:** los residuos de cultivos de campo y semillas son los materiales que quedan por encima del suelo después de la cosecha, incluida la paja o rastrojo de cebada, frijol, avena, arroz, centeno y trigo, tallos o raspaduras de maíz, algodón, sorgo, soja y alfalfa.

- Cultivo de frutas y nueces: los residuos de cultivos de frutas y nueces incluyen podas de huertos y cepillos. Los tipos de los cultivos de frutas y nueces incluyen almendras, manzanas, albaricoques, aguacates, cerezas, dátiles, higos, toronjas, uvas, limones, limas, aceitunas, naranjas, melocotones, peras, ciruelas, ciruelas pasas, y nueces.
- Cultivo de hortalizas: los residuos de cultivos vegetales consisten principalmente en enredaderas y hojas que permanecen en el suelo después de la cosecha. Los tipos de cultivos de hortalizas incluyen plantas como alcachofas, espárragos, pepinos, lechugas, melones, patatas, calabacines y tomates.
- Cultivo de vivero: los residuos de cultivos de vivero incluyen las podas y recortes extraídos de las plantas durante su crecimiento y en la preparación para el mercado. Hay más de 30 diferentes especies de cultivos de vivero, por ejemplo, flores y plantas de interior que se cultivan.

2.2.1.2. Residuos húmedos

Estos son residuos y desechos que tienen un alto contenido de agua cuando se recolectan. Estos incluyen:

- Lechada de animales
- Estiércol de corral
- Ensilaje de pasto

2.2.2. Composición de los residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales consisten en lignocelulosa que es compacta, estructura parcialmente cristalina que consiste en polisacáridos lineales y cristalinos celulosa, heteropolisacáridos ramificados no celulósicos y no cristalinos y lignina ramificada, no cristalina, (Ibrahim, 2013).

Figura 9. Composición de algunos residuos agrícolas

Materiales	Celulosa, %	Hemicelulosa, %	Lignina, %
Lignocelulósicos			
Maderas Duras	40-55	24-40	18-25
Maderas Suaves	45-50	25-35	25-35
Algodón	80-95	5-20	0
Papel	85-99	0	0-15
Bagazo de caña de azúcar	40-42	27-38	10-20
Paja de arroz	36-48	20-25	10-24
Paja de trigo	30	50	15
Cáscara de Nuez	25-30	25-30	30-40
Mazorca de Maíz	45	35	15
Hojas	15-20	80-85	0
Hierbas	25-40	35-50	10-30
Papel periódico	40-55	25-40	18-30

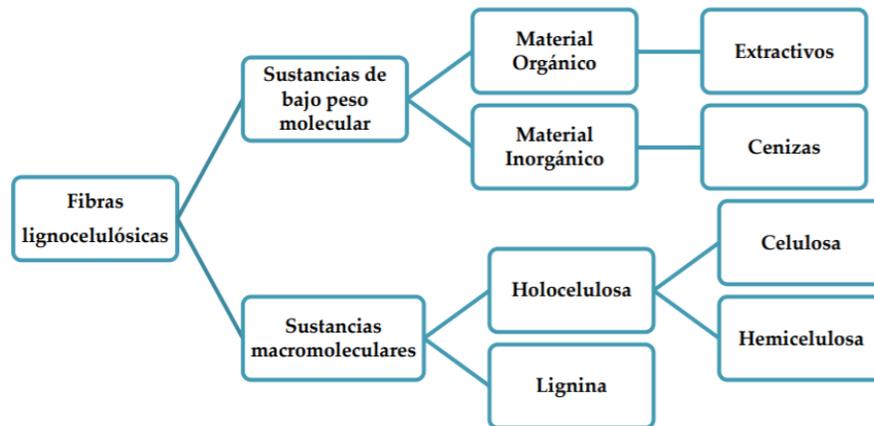
Fuente: David Carchi, Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banana para obtener nanocelulosa, pág. 14.

2.2.3. Materia lignocelulósica

Además de los constituyentes mayoritarios: Celulosa, Hemicelulosa y Lignina, existen algunos elementos minoritarios como los extraíbles por solventes orgánicos, y otros materiales inorgánicos.

La composición química de las fibras depende de su origen, pero de una manera general se puede decir que corresponde una mayor parte a Celulosa, entre 40 a 50 %, aunque algunas veces es superior como en el caso del algodón, entre 10 a 30 % de Lignina y de 20 a 30 % de Hemicelulosa. Estas últimas sustancias que son heteropolímeros, presentan una gran variedad en su composición, según las diferentes especies. El contenido de cenizas varía de una manera sustancial, como en el caso de la madera, cuyo contenido es inferior a 1 % o, en el caso de fibras naturales, cuyo contenido normalmente es superior (Carchi, 2014).

Figura 10. **Componentes de la materia lignocelulósica**



Fuente: Gellerstedt G. Pulp and Paper Chemistry and Technology Vol. I, pág. 199.

2.3. Celulosa

La celulosa es un biopolímero natural renovable muy abundante en la tierra; se considera uno de los compuestos orgánicos más importantes producidos en la biósfera. Este puede ser biosintetizado por una serie de organismos vivos que van desde plantas inferiores a superiores, animales marinos, bacterias y hongos.

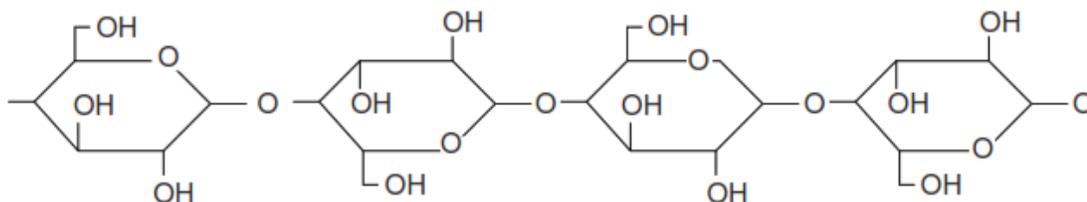
Se considera una fuente inagotable de materia prima para la creciente demanda de materiales y productos biocompatibles y amigables con el medio ambiente.

La celulosa puede obtenerse de numerosas fuentes, como la madera, el algodón, plantas anuales, bacterias u otros residuos agrícolas, para producir respectivamente un tamaño deseado de celulosa. Las cantidades y las propiedades de la celulosa dependen del proceso de extracción, el origen y la vida útil de la fuente natural. Comúnmente, estas fuentes están compuestas por celulosa, hemicelulosa, lignina y oligoelementos.

En sus paredes celulares, la celulosa está en espiral, desempeña el papel de refuerzo en la matriz blanda de hemicelulosa y lignina. Un proceso de eliminación eficaz de hemicelulosa, lignina y otras impurezas genera celulosa pura. La celulosa es insípida, hidrófoba, inodora, quiral, renovable y biodegradable. Es insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos, lo que conduce a una limitación en su reactividad y procesabilidad para su utilización. (Ibrahim, 2013)

La celulosa es un polisacárido lineal conformado por moléculas β -D-glucosa, unidas mediante enlaces β -1,4-glucosídicos, lo que le da la característica de ser inmiscible en agua. Esta se encuentra formando una especie de microfibrillas en la pared celular de los vegetales, las cuales, a su vez, en determinada orientación, forman capas de fibras elementales en las cuales es posible identificar dos regiones importantes: una región amorfa y la otra cristalina. La celulosa se considera amorfa cuando los enlaces de hidrógeno son pocos, por lo contrario, la disposición especial de estos enlaces de hidrógeno genera formas cristalinas (García, et al., 2013).

Figura 11. **Estructura química de la celulosa**



Fuente: Ashok Pandey, Biotecnología para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, pág. 16.

2.4. Celulosa microcristalina

La celulosa microcristalina es un derivado de la celulosa despolimerizada y purificada a partir de plantas fibrosas (Morán J., 2008). Es un producto blanco, inodoro y libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Es insoluble en agua, solventes orgánicos y ácido diluido, acetona, etanol anhidro, tolueno, en ácidos diluidos y en una disolución de 50 g/L de NaOH. Su punto de fusión está entre 260 a 270 °C. A temperaturas mayores, carboniza (acofarma distribución, S.A., 2010).

2.4.1. Aplicaciones de celulosa microcristalina en la industria

En particular, la celulosa microcristalina se utiliza como excipiente en las industrias farmacéuticas cuya función es actuar como agente de compactación y desintegración en el tableteo farmacéutico; es utilizada en cápsulas, como portador de color y de sabor (Morán J., 2008).

Las diversas propiedades que presenta la celulosa microcristalina la hacen útil en la manufactura de comprimidos y cápsulas orales; se utiliza tanto en la granulación húmeda como en compresión directa. Es posiblemente el diluyente más usado para compresión directa, a pesar de que puede retrasar la liberación de 23 principios activos poco solubles y disminuir la dureza de los comprimidos expuestos a ambientes húmedos. Actúa como adsorbente, antiadherente, y lubricante (Acofarma distribución, S.A., 2010). En el área farmacéutica también se emplea en la fabricación de cremas, cosméticos y detergentes.

2.4.2. Métodos utilizados para la obtención de celulosa microcristalina

A continuación, se describen los métodos comúnmente utilizados para la obtención de celulosa microcristalina:

2.4.2.1. Método alcalino

También conocido como Proceso de Kraft. Emplea NaOH o Na₂S, para aislar la lignina de la celulosa en la obtención de pulpa; es muy eficaz en diversas clases de maderas, especialmente la madera que contiene contaminantes. La desventaja es el problema del olor, basado en los tioles y los sulfuros. La pulpa que se obtiene es más blanca, comparada con el proceso del sulfato (Lenntech, 2010).

2.4.2.2. Método de sulfato

El proceso del sulfato es un procedimiento basado en los ácidos. El efecto no es igual comparado con el proceso alcalino, su transformación es más sensible

contra la contaminación. Las ramas y la corteza interfieren en el proceso químico y no disuelven la madera como se da en el método alcalino (Lenntech, 2010).

2.4.2.3. Método de hidrólisis ácida

Prevalece la alta corrosividad en el desarrollo de hidrólisis ácida por el uso de temperaturas altas y pH bajos. Tiende a producir un bajo rendimiento al compararlo con el método enzimático. Su desventaja es el alto costo del catalizador, ya que se produce escasez del producto y los tiempos de hidrólisis son más extensos (Álvarez, et al., 2012).

2.4.2.4. Tratamiento con ácido acético-ácido nítrico

Posterior a la extracción por el Método de Soxhlet, la fibra se trata con ácido acético y ácido nítrico con agitación durante una hora. Posteriormente, con el propósito de neutralizar las fibras, estas se separan del ácido por decantación y por medio de lavados sucesivos con agua destilada. Seguidamente, se adiciona NaOH hasta lograr un pH neutro, haciéndose necesario un lavado final con agua destilada para retirar la sal formada después de la neutralización con la base. Por último, las fibras se filtran al vacío, se secan y pesan (Aroca y Estrada, 2015).

2.4.2.5. Tratamiento con hidróxido de sodio

Después de efectuado el procedimiento anterior, las fibras se tratan con NaOH a temperatura ambiente; a continuación, las fibras se neutralizan como se hizo en el tratamiento ácido. Por último, se lleva a cabo una filtración al vacío y el secado de las fibras, las cuales finalmente son pesadas en una balanza analítica (Rueda, 2009). Se realiza un tratamiento mecánico con el objetivo de individualizar las microfibras de celulosa; la muestra tratada químicamente se

congela en nitrógeno líquido y se somete a impacto mecánico en un molino planetario (Aroca y Estrada, 2015).

2.5. Aditivo alimentario

Según el Codex Alimentarius, aditivo alimentario es cualquier sustancia que por sí misma no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo y cuya adición al alimento en sus fases de producción, fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte directa o indirectamente por sí o sus subproductos, un componente del alimento o bien afecte a sus características.

Los aditivos proceden de varias fuentes, pueden tener origen vegetal, como los espesantes extraídos de semillas, fruta y algas marinas, o acidulantes como el ácido tartárico que contiene la fruta. Se pueden obtener a partir de productos idénticos a la naturaleza, elaborados por síntesis o biosíntesis, tales como ácido ascórbico de la fruta, tocoferoles de los aceites vegetales o colorantes como los carotenoides. Entre los aditivos obtenidos mediante la modificación de sustancias naturales, están los emulsionantes y espesantes, como los almidones y celulosa modificados. Además, existen los aditivos artificiales, tales como antioxidantes, colorantes y edulcorantes, entre otros.

Todas las disposiciones relativas a aditivos alimentarios, incluidos los coadyuvantes de elaboración, y a los contaminantes que figuran en las normas del Codex sobre productos se remiten al Comité del Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes, preferentemente después que los productos hayan sido pasados al trámite 5. Dichas normas son sancionadas teniendo en cuenta la justificación tecnológica, las recomendaciones del comité JECFA,

relativas a la inocuidad en el uso de aditivos alimentarios, ingesta diaria admisible, IDA y otras restricciones, así como una estimación de la ingesta potencial, con el fin de garantizar la observancia de los principios generales para el uso de aditivos alimentarios. También es tarea de la JECFA verificar la pureza y las especificaciones de identidad de los aditivos alimentarios.

2.5.1. Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios

El Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios, JECFA, es un comité científico internacional de expertos administrado conjuntamente por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO y la OMS. Este comité ha venido reuniéndose desde 1956, inicialmente para evaluar la inocuidad de los aditivos alimentarios. Su trabajo incluye ahora la evaluación de los contaminantes de las sustancias tóxicas naturalmente presentes en los alimentos y los residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos.

Hasta la fecha, JECFA ha evaluado más de 1 300 aditivos alimentarios, aproximadamente 25 contaminantes y sustancias tóxicas naturalmente presentes en los alimentos, y los residuos de aproximadamente 80 medicamentos veterinarios. El comité ha elaborado también principios para evaluar la inocuidad de los productos químicos presentes en los alimentos que son compatibles con los actuales criterios sobre evaluación de riesgos y tiene en cuenta la evolución reciente de la toxicología y otras ciencias pertinentes.

JECFA se reúne normalmente dos veces por año para tratar temas relativos a:

- Aditivos alimentarios, contaminantes y sustancias tóxicas naturalmente presentes en los alimentos.
- Residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos.

La composición de los participantes en las reuniones varía consecuentemente, invitándose a diferentes grupos de expertos, dependiendo de la cuestión que se trate en la reunión.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables consideradas para esta investigación se presentan continuación:

Tabla I. **Definición operacional de variables en la etapa de obtención de celulosa**

No.	Variable	Dimensional	Dependiente	Independiente	Constante	Variable
1	Peso de muestra del raquis del banano	g		x	x	
2	Peso de muestra del pseudotallo del banano	g		x	x	
3	Concentración del ácido sulfúrico H ₂ SO ₄	%		x	x	
4	Concentración del hidróxido de sodio NaOH	%		x	x	
5	Temperatura de calentamiento en tratamiento ácido	°C		x	x	
6	Temperatura de calentamiento del tratamiento alcalino	°C		x	x	
7	Tiempo de reacción ácida	min		x	x	
8	Tiempo de reacción alcalina	min		x	x	
9	Peso final del residuo	g	x			X
10	contenido de celulosa	g	x			X

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla II. **Definición operacional de variables en la etapa de caracterización de la celulosa**

No.	Variable	Dimensional	Dependiente	Independiente	Constante	Variable
1	Porcentaje de celulosa presente en la muestra	%	x			X
2	Solubilidad en etanol	g/mL	x			X
3	Solubilidad en solución de NaOH	g/mL	x			x
4	Suspensión	Presencia de burbuja	x			X
5	Pérdida por desecación	%	x			X
6	pH	adimensional	x			X
7	Ceniza sulfatada	%	x			X
8	Sustancia soluble en agua	%	x			X
9	Almidón	Presencia / Ausencia	x			X
10	Plomo	mg/kg	x			X

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El campo de estudio de esta investigación abarca la gestión de los residuos agroindustriales de Guatemala, como es el caso del raquis y pseudotallo del banano, sacando provecho de estos residuos para obtener un producto de valor agregado, celulosa microcristalina, la cual es utilizada ampliamente en la industria de alimentos.

3.2.1. Etapas que conforman la investigación

- Recolección de las muestras.
- Obtención de celulosa microcristalina a partir del raquis y pseudotallo del banano.
- Determinación del rendimiento de celulosa microcristalina.
- Caracterización de la celulosa microcristalina.

3.2.2. Lugar de desarrollo de la investigación

Las muestras de residuos de la planta de banano se recogerán en la locación de Santa Lucia Cotzumalguapa.

La obtención y caracterización se llevará a cabo en las instalaciones de Desarrollo de Soluciones Globales conocido como DSG laboratorio, ubicado en la 31 avenida 0-56 zona 7, Uatlán 1.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Carmen Mercedes Linares Chang
- Asesor Ing. Qco. Juan Carlos González Soto
- Personal técnico de DSG Laboratorio

3.4. Recursos materiales disponibles

Basado en la metodología que se utilizará, tanto para la obtención de celulosa microcristalina y la caracterización, se requiere de los siguiente:

3.4.1. Cristalería

- Crisoles
- Desecador con silica gel
- Erlenmeyer de 100 mL, 250 mL y 300 mL.
- Extractor Soxhlet de 250 mL
- Matraz fondo plano de 500 mL
- Tubos de ensayo de 20 mL
- Vaso de precipitado de 100 mL y 250 mL

3.4.2. Instrumentos de medición

- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Bureta de 25 mL
- Espectrofotómetro de absorción atómica de llama, PERKIN ELMER 3110
- Matraz aforado de 100 mL y 250 mL
- Pipeta serológica de 1 mL, 5 mL y 10 mL
- Potenciómetro Hanna Instruments
- Probeta de 100 mL
- Termómetro Thomas Scientific

3.4.3. Equipos

- Agitador Vortex Scilogex
- Baño termostático
- Bomba de vacío

- Centrífuga
- Estufa
- Horno
- Licuadora
- Mufla
- Plancha con agitador magnético

3.4.4. Reactivos

- Ácido sulfúrico grado reactivo
- Dicromato de potasio
- Etanol al 95 %
- Éter de petróleo
- Hidróxido de sodio grado reactivo
- Hipoclorito de sodio 3,5 %
- Indicador Orto-Fenantrolina
- Solución de yodo y yoduro potásico
- Sulfato de amonio ferroso

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Para la obtención de celulosa microcristalina se emplearán diferentes técnicas, así como para la cuantificación de la celulosa microcristalina que se obtendrá de las diferentes matrices. Posteriormente a la obtención y cuantificación se caracterizará la celulosa microcristalina basándose en las especificaciones del comité mixto JECFA, mediante técnicas cuantitativas, como el porcentaje de celulosa presente en la muestra, porcentaje de pérdida por desecación, solubilidad, pH, porcentaje de ceniza sulfatada, porcentaje de

sustancia soluble en agua y cuantificación de plomo en la muestra, además de las técnicas cualitativas de presencia de almidón en la muestra y suspensión de la muestra.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La investigación consta de dos fases, la primera en la obtención de celulosa microcristalina utilizando el método de hidrólisis ácida-alcalina para poder determinar el rendimiento de las diferentes matrices. La segunda fase es la caracterización de la celulosa microcristalina sobre la base de las especificaciones de la JECFA, con la cual se evaluará si la celulosa microcristalina obtenida es apta para la utilización en la industria de alimentos como un aditivo alimentario.

3.6.1. Obtención de celulosa microcristalina

La metodología que se ha utilizado para obtener celulosa microcristalina a partir de los residuos de la planta de banano es la propuesta por Aroca y Estrada (2015), la cual se describe a continuación:

- Lavar las muestras para quitar cualquier interferente de polvo o tierra.
- Dejar secar a temperatura ambiente.
- Cortar las muestras en trozos pequeños.
- Moler las muestras.
- Tamizar hasta obtener un tamaño homogéneo.
- Hidratar la muestra a temperatura ambiente para remover sacarosa y pectinas hidrosolubles.

- Realizar una extracción Soxhlet con éter de petróleo, con el propósito de eliminar los extractivos que puedan interferir.
- Hacer lavados con etanol para eliminar residuos de éter y posteriormente hacer lavados con agua desmineralizada.
- Hidrólisis ácida: acidificar la muestra con una solución de H_2SO_4 hasta obtener un pH de 2.
- Calentar la suspensión a $90\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 h con agitación constante.
- Filtrar los residuos sólidos y hacer lavados con agua desmineralizada hasta obtener un pH igual a 7.
- Hidrólisis alcalina: volver a suspender el filtrado en agua y alcalinizar la muestra adicionando NaOH en proporción de materia seca de 2 % (respecto al líquido total).
- Añadir unas gotas de Hipoclorito de sodio al 3,5 % para una preservación y acondicionamiento, con el fin de limitar las reacciones de oxidación de la celulosa.
- Llevar la suspensión a $90\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 h con agitación constante.
- Posteriormente filtrar el residuo y hacer lavados con abundante agua desmineralizada hasta obtener un pH igual a 7.
- Repetir dos veces más la hidrólisis alcalina con el fin de eliminar la mayor cantidad de pectinas remanentes y hemicelulosa.
- Blanquear el material celulósico obtenido, utilizando una solución de hipoclorito de sodio al 0,5 %, someter a calentamiento de $70\text{ }^\circ\text{C}$ durante 3 h con agitación constante.
- Filtrar la suspensión y lavar con agua desmineralizada hasta obtener un filtrado incoloro.
- Secar el sólido obtenido en una estufa a $40\text{ }^\circ\text{C}$ durante 24 h.
- Pesar el material obtenido y calcular el rendimiento.

3.6.2. Caracterización de la celulosa microcristalina

Debido que la caracterización es con el fin de evaluar si la celulosa microcristalina obtenida es apta para ser utilizada como un aditivo alimentario, se evaluarán los parámetros establecidos por el comité mixto JECFA. A su vez la JECFA sugiere los métodos de análisis de cada parámetro en el Compendio Combinado de Especificaciones para Aditivos Alimentarios Volumen 4. Basado en dicho compendio se describen los métodos de análisis para cada especificación:

3.6.2.1. Determinación de porcentaje de celulosa presente en la muestra

- Transferir 125 mg a un recipiente de 300 mL y añadir 25 mL de agua desmineralizada.
- Añadir 50 mL de solución de dicromato de potasio 0,5 N y mezclar bien.
- Añadir con cuidado 100 mL de H₂SO₄ y calentar a ebullición.
- Retirar del fuego y dejar enfriar a temperatura ambiente en un baño maría durante 15 min.
- Transferir el contenido a un matraz de 250 mL y añadir agua desmineralizada sin llegar al aforo.
- Dejar enfriar a temperatura ambiente y hacer llegar la solución al aforo con agua desmineralizada.
- Tomar una alícuota de 50 mL y añadir 3 gotas del indicador Orto-fenantrolina.
- Valorar la alícuota con sulfato de amonio ferroso 0,1 N, y registrar el volumen requerido en el momento que cambie la coloración de azul pálido a rojo.

- Realizar una determinación del porcentaje de celulosa en un blanco siguiendo los pasos anteriores y registrar el valor de sulfato de amonio ferroso gastado.

3.6.2.2. Determinación de solubilidad

- Transferir una cantidad conocida de la muestra en g a un matraz con un volumen en mL conocido del disolvente que se desea evaluar, agitar durante 1 min.
- Dependiendo de la parte de solvente requerida interpretar según los siguientes términos:

Tabla III. **Solubilidad aproximada según la prueba de identificación**

Término descriptivo	Partes de disolvente (mL) necesarias para 1 parte de soluto (g).
Muy soluble	menos de 1
Totalmente soluble	de 1 a menos de 10
soluble	de 10 a menos de 30
Escasamente soluble	de 30 a menos de 100
Ligeramente soluble	de 100 a menos de 1,000
Muy poco soluble	de 1,000 a menos de 10,000
Prácticamente insoluble	más de 10,000

Fuente: FAO/OMS, Compendio Combinado de Especificaciones de Aditivos Alimentarios, Métodos analíticos, procedimientos de ensayo y soluciones de laboratorio Vol. IV, pág. 41.

3.6.2.3. Evaluación de suspensión

- Mezclar 30 g de la muestra con 270 mL de agua a alta velocidad en una licuadora durante 5 min.
- Transferir 100 mL de la mezcla a una probeta graduada de 100 mL y dejar reposar durante 3 h.
- Se debe obtener una dispersión blanca, opaca y sin burbujas que forma un sobrenadante.

3.6.2.4. Determinación de pérdidas por desecación

- Tomar 1 g de la muestra previamente homogenizada.
- Trasladar la muestra a un frasco de vidrio con tapadera y pesar el frasco junto con la muestra.
- Distribuir bien la muestra en el fondo del frasco.
- Poner a secar en un horno a una temperatura de 105 °C durante 3 h el frasco destapado con la muestra; dejar también el tapón secando.
- Terminado el tiempo de secado, sacar el frasco cuidadosamente y cerrar con el tapón.
- Dejar enfriar a temperatura ambiente en un desecador.
- Pesarse el frasco con el material y determinar la pérdida por desecación.

3.6.2.5. Determinación de pH

- Mezclar 5 g de la muestra con 40 mL de agua desmineralizada.
- Centrifugar durante 20 mL.
- Medir el pH al sobrenadante.

3.6.2.6. Determinación de ceniza sulfatada

- Pesar 10 g de la muestra en un crisol.
- Humedecer con ácido sulfúrico toda la muestra.
- Calentar hasta observar que la muestra está seca y completamente carbonizada.
- Seguir calentando hasta que la mayor parte de la muestra se volatilice y se oxide.
- Dejar que la muestra se enfríe y añadir 0,5 mL de H₂SO₄.
- Calentar nuevamente hasta que el resto de la muestra y el exceso de ácido sulfúrico se hayan volatilizado.
- Colocar la muestra en una mufla y encender la mufla a 800 °C durante 15 min.
- Finalmente, dejar enfriar la muestra en un desecador y pesar.

3.6.2.7. Medición de sustancia soluble en agua

- Mezclar 5 g de la muestra en 80 mL de agua desmineralizada durante 10 min.
- Filtrar al vacío utilizando papel filtro grado 42.
- Lavar el residuo con 20 mL de agua.
- Evaporar hasta sequedad.
- Secar a 105 °C durante 1 h.
- Dejar enfriar en el desecador y pesar.

3.6.2.8. Identificación en almidón

- Mezclar 1 g de la muestra en 20 mL de agua durante 10 min.
- Anadir unas gotas de solución de yodo y yoduro potásico, Lugol.
- Si la coloración es de violeta a azul, hay presencia de almidón.

3.6.2.9. Cuantificación de plomo

Este parámetro será determinado mediante espectroscopía de absorción atómica por los analistas de DSG Laboratorio, la cuantificación se realiza sobre la base del método recomendado por el Codex, Método oficial AOAC 972.25 Plomo en alimentos.

3.7. Tabulación ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se presentan las tablas necesarias para la tabulación y ordenamiento de los datos obtenidos en el desarrollo de la investigación.

Tabla IV. **Obtención de celulosa microcristalina por hidrólisis ácida-alcalina a partir del raquis y pseudo tallo del banano**

Muestra	Repetición	Peso inicial de la muestra (g)	Peso de producto final (g)
MCC del raquis	1		
	2		
	3		
MCC del pseudotallo	1		
	2		
	3		

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla V. Datos para la determinación del rendimiento de celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Celulosa microcristalina obtenida (g)	Porcentaje de rendimiento (%)
MCC del Raquis	1		
	2		
	3		
MCC del pseudotallo	1		
	2		
	3		

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla VI. Datos para la determinación del porcentaje de celulosa presente en la muestra obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Peso de la muestra (mg)	Volumen gastado en la valoración de la muestra (mL)	Volumen gastado en la valoración del blanco (mL)	Porcentaje de celulosa (%)
MCC del raquis	1				
	2				
	3				
MCC del pseudotallo	1				
	2				
	3				

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla VII. **Datos para la determinación de la solubilidad de la celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	Solvente	Peso de la muestra (g)	Volumen requerido (mL)	Solubilidad (g/mL)
MCC del raquis	Etanol			
	Ácido acético			
	Hidróxido de sodio			
MCC del pseudotallo	Etanol			
	Ácido acético			
	Hidróxido de sodio			

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla VIII. **Datos para la determinación del porcentaje de pérdidas por desecación de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	No.	Peso de la muestra (g)	Peso del frasco vacío (g)	Peso final del frasco con muestra (g)	Porcentaje de pérdidas por desecación (%)
MCC del raquis	1				
	2				
	3				
MCC del pseudotallo	1				
	2				
	3				

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla IX. **Medición del pH de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	Repetición	pH
MCC del raquis	1	
	2	
	3	
MCC del pseudotallo	1	
	2	
	3	

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla X. **Datos para la determinación de la ceniza sulfatada de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	Repetición	Peso de la muestra (mg)	Peso del crisol vacío (g)	Peso final (g)	Porcentaje de ceniza sulfatada (%)
MCC del raquis	1				
	2				
	3				
MCC del pseudotallo	1				
	2				
	3				

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla XI. **Datos para la determinación del porcentaje de sustancia soluble en agua de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	Repetición	Peso de la muestra (g)	Peso del residuo final (g)	Porcentaje de sustancia soluble en agua (%)
MCC del raquis	1			
	2			
	3			
MCC del pseudotallo	1			
	2			
	3			

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla XII. **Identificación de presencia de almidón en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Muestra	Repetición	Coloración	Resultado
MCC del raquis	1		
	2		
	3		
MCC del pseudotallo	1		
	2		
	3		

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla XIII. Cuantificación de Plomo en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Cantidad de Plomo (mg/kg)
MCC del raquis	1	
	2	
	3	
MCC del pseudotallo	1	
	2	
	3	

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla XIV. Datos para la evaluación del cumplimiento de las especificaciones establecidas por JECFA de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Parámetros	Especificación	Resultado obtenido de la MCC del raquis	Resultado obtenido de la MCC del pseudotallo
Porcentaje de celulosa	≥ 97 %		
Solubilidad en agua	Insoluble		
Solubilidad en etanol	Insoluble		
Suspensión	Formación de sobrenadante		
Perdida por desecación	≤ 7,0 %		
pH	5,0 – 7,5		

Continuación tabla XIV.

Ceniza sulfatada	≤ 0,05 %		
Sustancia soluble en agua	≤ 0,24 %		
Almidón	Indetectable		
Plomo	≤ 2 mg/kg		

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

3.8. Metodología de cálculo y análisis estadístico

A continuación, se describen los métodos y ecuaciones aplicadas para el análisis estadístico de los datos:

3.8.1. Porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina obtenida

$$\%R = \frac{P_o * 100}{P_f} \quad [1] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

%R= Porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina

P_o= Peso seco inicial de la muestra antes del tratamiento ácido-alcalino en g

P_f= Peso seco final de la muestra después del tratamiento ácido-alcalino en g

3.8.2. Porcentaje de celulosa presente en la muestra

$$\%C = (B - S) * \frac{338}{w} \quad [2] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

%C= Porcentaje celulosa contenido en la muestra

B= Volumen de titulante gastado en el blanco en mL

S= Volumen de titulante gastado en la muestra en mL

W= Peso de la muestra en base seca en mg

3.8.3. Solubilidad de la celulosa microcristalina

$$S = \frac{V_S}{P_m} \quad [3] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

S= Solubilidad en mL/g

V_S= Volumen requerido de disolvente en mL

P_m= Peso de la muestra en g

3.8.4. Porcentaje de pérdidas por desecación

$$\%PD = \frac{P_{fs} - P_c}{P_m} \quad [4] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

%PD= Porcentaje de pérdidas por desecación

P_{fs} = Peso final después del secado en g

P_c = Peso del crisol vacío en g

P_m= Peso de la muestra en g

3.8.5. Porcentaje de ceniza sulfatada

$$\%CS = \frac{P_{fi} - P_c}{P_m} \quad [5] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

%Cs= Porcentaje de ceniza sulfatada

P_{fi} = Peso final después de la incineración en g

P_c = Peso del crisol vacío en g

P_m = Peso de la muestra en g

3.8.6. Porcentaje de sustancias solubles en agua

$$\%SS = \frac{P_{rf} * 100}{P_m} \quad [6] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

%Ss= Porcentaje de sustancias solubles en agua

P_{rf} = Peso final del residuo después del filtrado en g

P_m = Peso de la muestra en g

3.8.7. Media

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad [7] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

\bar{X} = Valor medio de los datos

$\sum x_i$ = Sumatoria de los datos

n = número de datos

3.8.8. Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad [8] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

X_i = Valor de cada dato individual

\bar{X} = Valor medio de los datos

n = número de datos

3.8.9. Coeficiente de variación

$$Cv = \frac{\sigma}{|\bar{X}|} \quad [9] \text{ [Ref.1]}$$

Donde:

Cv = Coeficiente de variación

σ = Desviación estándar

\bar{X} = Valor medio de los datos

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados del porcentaje de rendimiento de materia celulósica en las matrices de raquis y pseudotallo, así como los resultados de la verificación del cumplimiento de las especificaciones JECFA de la celulosa obtenida en ambas matrices:

Tabla XV. **Porcentaje de rendimiento de materia celulósica obtenida a partir de raquis y pseudotallo del banano en base seca**

Matriz	Porcentaje de rendimiento
Raquis	25,56 %
Pseudotallo	33,91 %

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Tabla XVI. **Cumplimiento de las especificaciones establecidas por JECFA de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano**

Parámetros	Especificación	Resultado obtenido de la MCC del raquis	Resultado obtenido de la MCC del pseudotallo
Porcentaje de celulosa	≥ 97 %	97,37 %	97,03 %
Solubilidad en agua	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Solubilidad en etanol	Insoluble	Insoluble	Insoluble
Solubilidad en hidróxido de sodio	Ligeramente soluble	Ligeramente soluble	Ligeramente soluble
Suspensión	Formación de sobrenadante	Formación de sobrenadante	Formación de sobrenadante
Perdida por desecación	≤ 7,0 %	5,61 %	6,60 %
pH	5,0 – 7,5	5,65	5,95
Ceniza sulfatada	≤ 0,05 %	0,01 %	0,01 %
Sustancia soluble en agua	≤ 0.24%	0,23 %	0,21 %
Almidón	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Plomo	≤ 2 mg/kg	<0,01 mg/kg	<0,01 mg/kg

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

5. INTERPRETACIÓN

El estudio consistió en la obtención de celulosa microcristalina a partir del raquis y pseudotallo del banano, los cuales son residuos no aprovechados generados en el cultivo del banano. Posterior a su obtención se evaluó su uso como aditivo alimentario.

La obtención de la celulosa microcristalina se llevó a cabo por medio de la metodología propuesta por Arroca y Estrada (2015) la cual consiste en tres etapas importantes: tratamiento ácido, tratamiento alcalino y, finalmente, el blanqueamiento. Inicialmente se realizó un acondicionamiento de la muestra realizando una extracción soxhlet con éter de petróleo, con el propósito de eliminar extractivos intersticiales que pudieran interferir. Se procedió a realizar el tratamiento ácido, utilizando H_2SO_4 ; en esta etapa se buscó fragmentar la cadena lineal de la celulosa por medio de hidrólisis ácida y solubilizar los carbohidratos de la estructura que interfieren en la obtención de celulosa. La fracción insoluble de la etapa anterior se trató alcalinamente con NaOH para degradar de lignina. La pulpa celulósica obtenida se blanqueó en una suspensión con hipoclorito de sodio y, finalmente, se filtró y secó. Esta metodología se empleó para ambas matrices, raquis y pseudotallo, y se determinó las matrices con mayor rendimiento de celulosa microcristalina.

En la tabla XV se observan los resultados de los porcentajes obtenidos de rendimiento de materia celulósica a partir del raquis y pseudotallo del banano, empleando el método de hidrólisis ácida-alcalina. Los porcentajes de rendimiento obtenidos fueron 25,56 % y 33,91 % para el raquis y pseudotallo

respectivamente, siendo el pseudotallo del banano la matriz que proporcionó mayor porcentaje de rendimiento.

Para demostrar si existe diferencia significativa en el rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo, se realizó un análisis de varianza, en el que el resultado f de Fisher calculado fue de 204,34 y un f de Fisher crítico de 4,20. Al ser f calculada, mayor al f crítico, la hipótesis nula se rechaza, demostrando que la matriz de la que es obtenida la celulosa microcristalina afecta significativamente en el rendimiento.

Tanto la celulosa microcristalina obtenida del raquis como la obtenida del pseudotallo fueron sometidas a pruebas para evaluar su calidad y pureza. Las pruebas se basaron en los requisitos establecidos por la JECFA, quienes establecen los parámetros de calidad de los aditivos alimentarios.

Los ensayos realizados se dividen en dos, ensayos de identificación y ensayos de pureza del producto. Los ensayos de identificación no pretenden confirmar completamente la composición o estructura química de una sustancia, sino confirmar con certeza aceptable que la sustancia se ajusta a la descripción o especificaciones establecidas para dicho producto. Los ensayos de identificación definidos por la JECFA para la celulosa microcristalina como aditivo alimentario son: solubilidad, absorción infrarroja y suspensión. Para este estudio, las pruebas de identificación realizadas a la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudo tallo del banano fue solubilidad y suspensión.

En la tabla XVI se observan los resultados de los ensayos de identificación, solubilidad y suspensión. Para la evaluación de la solubilidad de ambas muestras de celulosa, a partir del raquis y a partir de pseudotallo, se utilizó tres solventes, agua, etanol y solución de hidróxido de sodio al 5 %. En el caso de agua y etanol

la celulosa microcristalina de ambos orígenes no se solubilizó y para la solución de hidróxido de sodio se observó un comportamiento ligeramente soluble. En ninguno de los casos se observó solubilización completa en los solventes. Para la prueba de suspensión, la celulosa de ambos orígenes se mezcló con agua a alta velocidad y se dejó reposar observado la formación de sobrenadante, siendo este el resultado esperado según la especificación definida. Ambas muestras, la de celulosa a partir del raquis y la celulosa a partir del pseudotallo cumplieron con las especificaciones de solubilidad y suspensión establecidas por la JECFA, confirmando con certeza para ambos casos la identidad del producto como celulosa microcristalina.

Los ensayos de pureza definidos para la celulosa microcristalina dependen del uso que se les quiera dar; en este caso los definidos por la JECFA para su uso como aditivo alimentario son: pérdidas por desecación, pH, ceniza sulfatada, sustancia soluble en agua, presencia de almidón, cuantificación de plomo y porcentaje de celulosa como carbohidrato. En la Tabla XVI se puede observar los resultados de las pruebas de pureza mencionadas con anterioridad, a las que fueron sometidas ambas muestras de celulosa microcristalina.

Para la prueba de pérdidas por secado, la JECFA define un valor de aceptación menor o igual al 7 %, como se observa en la tabla XVI; la celulosa microcristalina a partir del raquis obtuvo un resultado de 5,61 % y la obtenida del pseudotallo 6,60 % cumpliendo ambas muestras con la especificación.

De acuerdo con las lecturas del potenciómetro empleado para la medición del pH de la solución sobrenadante, en la tabla XVI se observa que el resultado promedio para la celulosa a partir del raquis fue de 5,65 y el de la celulosa a partir del pseudotallo fue de 5,95; ambas muestras cumplen con la especificación de

pH establecida por la JECFA, ya que se encuentran dentro del rango de aceptación de 5 a 7,5.

Para la prueba de ceniza sulfatada, la JECFA define un valor de aceptación menor o igual a 0,05 %, como se observa en la tabla XVI. La celulosa microcristalina a partir del raquis obtuvo un resultado de 0,01 % y, de igual manera, la obtenida del pseudotallo 0,01 %, cumpliendo ambas muestras con la especificación.

El resultado aceptable de sustancia soluble en agua deber ser menor o igual a 0,24 %; según la tabla XVI, el resultado de sustancia soluble en agua para la celulosa microcristalina a partir del raquis fue del 0,23 % y la celulosa obtenida a partir de pseudotallo fue de 0,21 %, por lo tanto, ambas muestras cumplen con la especificación definida.

Para el cumplimiento de la prueba de almidón según JECFA, esta no debe ser detectada en la muestra. Como se observa en la tabla XVI, el resultado de esta prueba para ambas muestras de celulosa obtuvo un resultado de ausencia, cumpliendo así con la especificación definida.

El valor de plomo, aceptado según la JECFA para la celulosa microcristalina, no debe ser mayor a 2 mg/kg y según los resultados que se observan en la tabla XVI obtenidos por la técnica de absorción atómica para este metal, ambas muestras cumplen con la especificación, ya que estas se encuentran por debajo de 0,01 mg/kg.

El porcentaje de celulosa se determinó a partir de la cuantificación de carbohidratos según el método sugerido por JECFA. El resultado de la celulosa a partir del raquis fue de 97,37 % y el de la celulosa a partir del pseudotallo fue

de 97,03 %, ambas muestras cumplen con la especificación establecida de JECFA, donde se define como aceptable un porcentaje de celulosa calculado como carbohidrato, mayor o igual al 97 %.

Para demostrar si existe diferencia significativa en el porcentaje de celulosa presente en la muestra obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo, se realizó un análisis de varianza, en donde el resultado f de Fisher calculado fue de 3,07 y un f de Fisher crítico de 7,71. Al ser f calculada, menor al f crítico, la hipótesis nula se acepta, demostrando que la matriz de la que es obtenida la celulosa microcristalina no afecta significativamente en el porcentaje de celulosa presente en la muestra.

Al verificar el cumplimiento de cada uno de los parámetros establecidos por JECFA para el uso de la celulosa microcristalina como aditivo alimentario se comprobó que, tanto la celulosa microcristalina atendida a partir del raquis como la obtenida del pseudotallo, cumplen con todas y cada una de las especificaciones, indicando así que ambas muestras son aptas para su uso previsto como aditivo alimentario.

CONCLUSIONES

1. La metodología de hidrólisis ácida-alcalina empleada, demostró proporcionar las condiciones adecuadas para obtener celulosa microcristalina pura a partir del raquis y pseudotallo del banano.
2. Los porcentajes de rendimiento de celulosa obtenido del raquis y pseudotallo del banano fueron de 25,56 % y 33,91 % respectivamente, siendo el pseudotallo del banano la matriz que proporciona el mayor rendimiento de celulosa microcristalina.
3. De las pruebas de caracterización realizadas a la celulosa microcristalina obtenida de ambas matrices se determinó que ambas celulosas son características como aditivo alimentario según la JECFA.
4. Se determinó que las muestras procedentes del raquis y pseudotallo del banano cumplieron con las especificaciones requeridas por JECFA, por lo que la celulosa microcristalina obtenida de ambas matrices es apta para su uso como aditivo alimentario.
5. Del análisis de varianza realizado para el rendimiento de celulosa se determinó que existe diferencia significativa en el porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano.

6. Debido a que la celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y la obtenida del pseudotallo del banano son aptas para usar como aditivo alimentario, se establece que la matriz de donde se obtiene la celulosa microcristalina no afecta significativamente en las características de la misma.

7. Del análisis de varianza realizado a la pureza de la celulosa microcristalina de los diferentes orígenes, se determinó que no existe diferencia significativa en la pureza de la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano.

RECOMENDACIONES

1. Usar en la etapa de tratamiento ácido, una solución de ácido sulfúrico menor o igual al 1 % de concentración, ya que a concentraciones altas la materia orgánica se carboniza y se reduce el rendimiento de celulosa.
2. Evaluar la influencia de la acción microbiana en la descomposición de las muestras de pseudotallo y raquis del banano, y cómo esta afecta en el rendimiento de la celulosa.
3. Determinar el tiempo y las condiciones de preservación de las muestras, previo a la obtención de la celulosa microcristalina.
4. Realizar pruebas a la celulosa microcristalina obtenida adicionándola a alimentos para verificar su funcionamiento como aditivo alimentario.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGARWAL, Deepa, et al. *Effect of moisture content on thermal and water absorption properties of microfibrillar cellulose with polymeric additives*. En línea. Carbohydrate Polymers, vol. 211 (2019), pp. 91-99. ISSN: 01448617. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.004>. [consultado el 12/11/2021].
2. ALASHWAL, M., et al. *Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis*. En línea. Journal of King Saud University – Science, vol. 32 (2020), n.º 1, pp. 853-857. ISSN: 10183647. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.03.006>. [consulta el 21/09/2020].
3. ALAVI, Mehran. *Modifications of microcrystalline cellulose (MCC), nanofibrillated cellulose (NFC), and nanocrystalline cellulose (NCC) for antimicrobial and wound healing applications*. En línea. e-Polymers, vol. 19 (2019), No. 1, pp. 103–119. ISSN 1618-7229. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/epoly-2019-0013>. [consultado el 16/00/2020].
4. BORGES, Ana Lucia, et al. *Banana*. 2 ed. Brasil: Embrapa, 2012 ISBN: 9788570351180.

5. CARLIN, Brian., et al. 2014. Microcrystalline cellulose, a direct compression binder in a quality by design environment—A review. En línea. International Journal of Pharmaceutics, vol. 473 (2014), No. 1-2, pp. 64–72. ISSN 0378-5173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2014.06.055>. [consultado el 20/09/2020].
6. CASTILLO, Andrés, GADVAY, Kathy y ROMERO, Hugo. *Potencial biotecnológico de residuos lignocelulósicos de la agroindustria del banano*. En línea. Conference Proceedings. Universidad técnica de Machala, vol. 1 (2017), ISSN: 2588056X. Disponible en: <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach>. [consultado el 20/09/2020].
7. DAJALAL, Trache, et al. *Microcrystalline cellulose: Isolation, characterization and bio-composites application—A review*. En línea. International Journal of Biological Macromolecules, vol. 93 (2016), pp. 789–804. ISSN 0141-8130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.056>. [consultado el 20/00/2020].
8. GARCÍA- GARCÍA, Lucia, et al. *Obtención de celulosa microcristalina a partir del bagazo de la caña de azúcar*. En línea. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. (2013), No. 47(1), 57-63. ISSN: 01386204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223126409008> [consultado el 17/09/2020].

9. GÓMEZ, Catalina, et al. *Cellulose nanofibrils extracted from fique fibers as bio-based cement additive*. En línea. *Journal of Cleaner Production*, vol. 235 (2019), pp. 1540–1548. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.292>. [consultado el 12/11/2021].
10. HEINZE, T. y SEOUND, O. *Cellulose Derivatives*. New York: Springer, 2018. ISBN: 9783319731681.
11. HONG, Xin, et al. 2019. *Recent trends and applications of cellulose nanocrystals in food industry*. En línea. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 93 (2019), pp. 136–144. ISSN 0924-2244. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.013>. [consultado el 12/11/2021].
12. IBRAHIM, M. et al. *Cellulose and microcrystalline cellulose from rice straw and banana plant waste: preparation and characterization*. En línea. *Cellulose*, vol. 20 (2013), No. 5, pp. 2403–2416. ISSN 1572-882X. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9992-5>. [consultado el 17/09/2020].
13. JEAN-LUC, Wertz. BEDEU, O. y MERCIER, J. *Cellulose Science and Technology: Chemistry, Analysis, and Applications*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc, 2018. ISBN: 9781119217589.

14. KAZMIERCZAK, Marcin, KORONIAL, Henryk y KUBICKI, Maciej. *Preparation and characterization of α -fluorinated- γ -aminophosphonates*. En línea. Journal of Fluorine Chemistry, vol. 167 (2014), pp. 128–134. ISSN 0022-1139. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfluchem.2014.06.008>. [consultado el 20/09/2020].
15. KUNDU, D. y BANERJEE, T. *Development of microcrystalline cellulose based hydrogels for the in vitro delivery of Cephalexin*. En línea. Heliyon, vol. 6 (2020), No. 1, e03027. ISSN 2405-8440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03027>. [consultado el 22/00/2020].
16. MARCELINO, Leonardo, GONZÁLEZ, Vilma y RÍOS, Domingo. *El cultivo del plátano (Musa paradisiaca L.) en Panamá*. Panamá: Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, 2012. ISBN: 9789962677147.
17. MCCLATCHEY, W. *Bananas and Plantains*. En línea. In The Cambridge World History of Food. Cambridge University Press (2013), pp. 175-181. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/CHOL9780521402149.021>. [consultado 20/09/2020].
18. NAVIA, M. *Banano y plátano*. En línea. PRO Ecuador, 2013. Disponible en: <https://www.proecuador.gob.ec/category/sector/banano-y-platano/> [consulta el 20/09/2020].

19. RODRIGUEZ LIÑAN, Carolina. *Obtención de Nanocelulosa a partir del Agave Salmiana y su uso en la preparación de películas conductoras*. En línea. Tesis de maestría. México, Universidad autónoma de Nuevo León, 2016. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/18036/1/1080238510.pdf>. [consultado el 19/09/2020].
20. TORRES, Swing, et al. *Guía práctica para el manejo de banano orgánico en el valle del Chira*. En línea. Piura Perú. Hidalgo Impresores E.I.R.L. 2012. ISBN: 98712201206591. Disponible en: <https://docplayer.es/36778738-Guia-practica-para-el-manejo-de-banano-organico-en-el-valle-del-chira.html>. [consultado el 20/11/2021].
21. WALLICK, Dave. *Cellulose Polymers in Microencapsulation of Food Additives*. En línea. Academic Press, Ch. 17 (2014), pp. 181–193, ISBN: 9780124045682, Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404568-2.00017-0>. [consultado el 20/11/2021].
22. ZUGENMAIER, Peter. *Crystalline Cellulose and Derivatives*. En línea. College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, New York: Springer (2008). ISBN: 9783540739333. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm:978-3-540-73934-0/1.pdf>. [consultado el 20/11/2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. **Datos para la determinación del porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis del banano en base seca**

Repetición	Peso inicial de la muestra (g)	Peso de producto final (g)	Porcentaje de rendimiento (%)
1	18,74	4,69	25,04
2	19,18	5,05	26,34
3	18,97	4,85	25,54
4	12,74	3,66	28,68
5	18,59	4,63	24,92
6	20,26	4,97	24,54
7	19,21	4,97	25,88
8	13,03	3,55	27,25
9	16,06	4,12	25,63
10	22,06	5,26	23,82
11	20,26	4,87	24,05
12	18,92	4,81	25,44
13	14,78	3,88	26,22
14	20,43	5,21	25,50
15	20,97	5,13	24,48

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 2. Datos para la determinación del porcentaje de rendimiento de celulosa microcristalina obtenida a partir del pseudotallo del banano en base seca

Repetición	Peso inicial de la muestra (g)	Peso de producto final (g)	Porcentaje de rendimiento (%)
1	13,42	4,82	35,94
2	19,64	6,97	35,46
3	20,34	6,48	31,85
4	22,91	7,42	32,40
5	19,97	6,29	31,50
6	16,07	5,51	34,29
7	18,32	6,47	35,31
8	19,89	6,55	32,92
9	21,51	6,68	31,06
10	14,59	5,39	36,96
11	17,95	6,03	33,58
12	17,41	6,29	36,17
13	19,70	6,61	33,53
14	16,07	5,69	35,40
15	19,40	6,25	32,24

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 3. Datos para la determinación del porcentaje de celulosa presente en la muestra obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Peso de la muestra seca (mg)	Volumen gastado en la valoración de la muestra (mL)	Volumen gastado en la valoración del blanco (mL)	Porcentaje de celulosa (%)
MCC del Raquis	1	125,00	6,60	42,50	97,20
	2	125,01	6,30	42,40	97,50
	3	125,00	6,60	42,50	97,20
MCC del pseudotallo	1	125,00	6,70	42,60	97,10
	2	125,00	6,60	42,50	97,15
	3	125,00	6,70	42,50	96,83

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 4. Datos para la determinación de solubilidad de la celulosa microcristalina obtenida a partir del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Solvente	Peso de la muestra (g)	Volumen requerido (mL)	Partes de solvente requeridos	Solubilidad
MCC del Raquis	Etanol	0,1	1 100	>10 000	Insoluble
	Ácido acético	0,1	1 300	>10 000	Insoluble
	Hidróxido de sodio	0,1	50	500	Ligeramente soluble
MCC del pseudotallo	Etanol	0,1	1 200	>10 000	Insoluble
	Ácido acético	0,1	1 300	>10 000	Insoluble
	Hidróxido de sodio	0,1	60	600	Ligeramente soluble

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 5. Datos para la determinación del porcentaje de perdidas por desecación de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	No.	Peso de la muestra (g)	Peso del crisol vacío (g)	Peso final del crisol con muestra (g)	Porcentaje de pérdidas por desecación (%)
MCC del Raquis	1	1,02	25,98	26,04	5,88
	2	1,00	26,73	26,78	5,00
	3	1,01	25,86	25,92	5,94
MCC del pseudotallo	1	1,02	26,12	26,19	6,86
	2	1,01	27,54	27,61	6,93
	3	1,00	26,30	26,36	6,00

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 6. Medición del pH de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	pH
MCC del Raquis	1	5,65
	2	5,82
	3	5,80
MCC del pseudotallo	1	5,95
	2	6,00
	3	5,97

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 7. Datos para la determinación de la ceniza sulfatada de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Peso de la muestra (mg)	Peso del crisol vacío (g)	Peso final (g)	Porcentaje de ceniza sulfatada (%)
MCC del Raquis	1	10,002	26,542	26,543	0,010
	2	10,000	27,110	27,110	0,000
	3	10,001	26,221	26,223	0,020
MCC del pseudotallo	1	10,003	27,347	27,348	0,010
	2	10,001	28,266	28,269	0,030
	3	10,000	26,903	26,903	0,000

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 8. Datos para la determinación del porcentaje de sustancia soluble en agua de la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Peso de la muestra (g)	Peso del residuo final (g)	Porcentaje de sustancia soluble en agua (%)
MCC del Raquis	1	5,002	0,012	0,24
	2	5,000	0,011	0,22
	3	5,001	0,012	0,24
MCC del pseudotallo	1	5,000	0,011	0,22
	2	5,001	0,010	0,20
	3	5,000	0,011	0,22

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 9. Identificación de almidón en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Coloración	Resultado
MCC del Raquis	1	Amarillo	Ausencia
	2	Amarillo	Ausencia
	3	Amarillo	Ausencia
MCC del pseudotallo	1	Amarillo	Ausencia
	2	Amarillo	Ausencia
	3	Amarillo	Ausencia

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 10. Cuantificación de Plomo en la celulosa microcristalina obtenida del raquis y pseudotallo del banano

Muestra	Repetición	Cantidad de Plomo (mg/kg)
MCC del Raquis	1	<0,01
	2	<0,01
	3	<0,01
MCC del pseudotallo	1	<0,01
	2	<0,01
	3	<0,01

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 11. Ordenamiento de datos para el análisis de varianza ANOVA del rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano

Grupos	Conteo	Suma	Promedio	Varianza
Celulosa a partir del Raquis	15	383,33	25,56	1,568
Celulosa a partir del Pseudotallo	15	508,61	33,91	3,552

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 12. Análisis de varianza ANOVA del rendimiento de la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítica
Entre grupos	523,17	1	523,17	204,34	2,16x10 ⁻¹⁴	4,19
Dentro de grupos	71,69	28	2,56			
Total	594,86	29	NA			

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 13. Ordenamiento de datos para el análisis de varianza ANOVA del porcentaje de celulosa presente como carbohidratos en la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano

Grupos	Conteo	Suma	Promedio	Varianza
Celulosa a partir del Raquis	3	292,10	97,37	0,083
Celulosa a partir del Pseudotallo	3	291,08	97,03	0,030

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 14. Análisis de varianza ANOVA del porcentaje de celulosa presente como carbohidratos en la celulosa microcristalina obtenida del raquis con la obtenida del pseudotallo del banano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítica
Entre grupos	0,17	1	0,17	3,07	0,1546	7,71
Dentro de grupos	0,22	4	0,06			
Total	0,40	5	NA			

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel.

Apéndice 15. Plantación de banano, Santa Lucia Cotzumalguapa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Toma de muestras del pseudotallo del banano



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. Pseudotallo del banano recién cortado



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. Selección de pencas de banano para la recolección del raquis



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Estudiante Carmen Linares en la recolección de las muestras**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Muestras de pseudotallo en trozos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Muestras molidas de pseudotallo**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Muestras de raquis en trozos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Muestras molidas de raquis del banano**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Extractor soxhlet en serie para el proceso de extracción de interferentes de las muestras**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. Tratamiento ácido con H_2SO_4 a una temperatura de 90 °C durante 2 h



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. Filtración del residuo después del tratamiento ácido



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. Tratamiento alcalino con NaOH e hipoclorito de sodio



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. Proceso de blanqueamiento con solución de hipoclorito de sodio 0,5 %



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. Pulpa celulósica blanqueada



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. Filtración de pulpa celulósica posterior al blanqueamiento



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. Secado de la pulpa celulósica



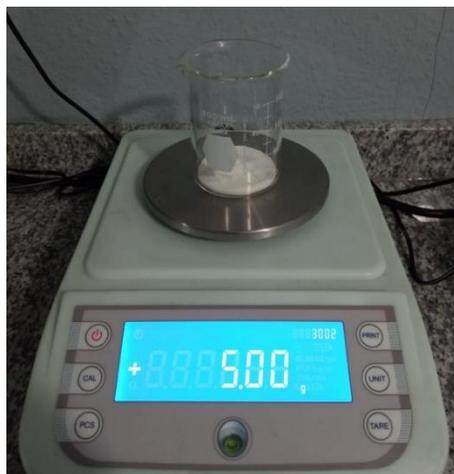
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. Pulpa celulósica seca



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Muestra de celosa molida y lista para pesar**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. **Soluciones de dicromato de potasio 0,5 N y sulfato de amonio ferroso 0,1 N para la determinación del porcentaje de celulosa presente en la muestra**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 35. Punto final de la valoración para la determinación del porcentaje de celulosa presente en la muestra



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 36. Determinación de ceniza sulfatada en la muestra de celulosa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 37. **Medición de pH de la muestra de celulosa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 38. **Identificación de almidón en la muestra de celulosa**



Fuente: elaboración propia.