

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL



TITULO DEL PROYECTO

“Síntesis de bioplástico utilizando celulosa extraída de pseudotallo de musáceas en colaboración con el Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas (CEICA)”

POR

Fabrizio Romeo Pérez Cartagena

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE

Ingeniero Agroindustrial

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO

MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

MSC. EDGAR GEOVANY REYES MELARA.

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

M. Sc. HUMBERTO RUIZ MEJIA

DOCENTE DIRECTORES

ASESOR EXTERNO:

LIC. DAVID ALFREDO SERVELLÓN CARPIO

ASESOR INTERNO:

ING. DAYANARA VILLALTA

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADO

ING. HAYDEE ESMERALDA MUNGUÍA DE PÉREZ

RESUMEN

La presente investigación se centra en la síntesis de bioplástico a partir de celulosa extraída del pseudotallo de musáceas, un subproducto agrícola que a menudo se descarta. Este proyecto se desarrolla en colaboración con el Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas (CEICA) y tiene como objetivo principal contribuir a la reducción de residuos plásticos mediante la utilización de recursos renovables.

La investigación se fundamenta en antecedentes que identificaron el potencial del pseudotallo de musáceas como fuente de celulosa, destacando su capacidad para disminuir la dependencia de plásticos convencionales y promover prácticas sostenibles. Se llevaron a cabo diversas metodologías para la extracción de celulosa, que incluyeron procesos de fragmentación, deshidratación y pulverización, con el fin de optimizar la producción a gran escala. El estudio se enfocó en optimizar los procedimientos de extracción de celulosa y evaluar las propiedades del bioplástico resultante mediante espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), pruebas de tracción (fuerzas reológicas) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

Los resultados preliminares indican que la celulosa extraída del pseudotallo presenta propiedades adecuadas para la elaboración de bioplásticos biodegradables. Este enfoque no solo busca mitigar el impacto ambiental de los plásticos tradicionales, sino también fomentar una economía circular al aprovechar residuos agrícolas. La investigación busca proponer una alternativa viable y sostenible para la producción de bioplásticos, contribuyendo así a un futuro más ecológico y a la reducción de la contaminación plástica.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco al universo por haberme permitido iniciar y finalizar en tiempo y forma el desarrollo de mi Pasantía de Investigación y mi Carrera Universitaria.

A mi familia por haberme brindado su apoyo incondicional durante este tiempo.

Al CEICA (Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas) por haberme permitido ingresar a sus instalaciones para realizar mi proyecto de grado.

A mis tutores, David Servellón y Sara Mejía, por haberme brindado de su tiempo y haberme compartido de sus conocimientos.

A todas las personas dentro y fuera de la Universidad que brindaron su tiempo, instalaciones y su conocimiento para la realización de esta investigación, como parte de mi desarrollo profesional y personal.

A la Facultades de Ciencias Agronómicas, Química y farmacia e Ingeniería y arquitectura de la Universidad de El Salvador por haber provisto excelentes docentes.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
AGRADECIMIENTOS	II
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	2
3 MARCO TEÓRICO	3
3.2 ESTRUCTURAS QUÍMICAS DEL BIOPOLÍMERO	6
3.3 LA INDUSTRIA DE PLÁTANO	10
3.4 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL PLÁTANO	12
3.5 TECNICAS FISICO-QUIMICAS	13
3.6 INFORMACIÓN DE LA UNIDAD	15
3.6.1 LOCALIZACIÓN	16
3.6.2 ANTECEDENTES	17
3.6.3 VIABILIDAD Y OBJETIVOS AMBIENTALES	17
4 METODOLOGIA	19
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1 ANÁLISIS QUÍMICO DEL PSEUDOTALLO	30
5.1.2 RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE INFRARROJOS POR TRANSFORMADA DE FOURIER	32
5.2 ANÁLISIS TÉRMICOS	34

5.3 RESULTADOS DE PRUEBAS REOLÓGICAS	37
RESULTADOS DE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO	39
6 CONCLUSIONES	40
7 RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Descripción de regiones del FTIR.....	13
Cuadro 2 Parámetros de enjuague	21
Cuadro 3 Parámetros de precalentamiento.....	21
Cuadro 4 Parámetros del método	22
Cuadro 5 Recopilación de datos para detección de porcentaje de fibra cruda	30
Cuadro 6 Resumen de promedio de datos de porcentaje de fibra cruda	31
Cuadro 7 Resultados térmicos de los materiales	37
Cuadro 8 Peso en gramos por muestra.....	37
Cuadro 9 Calibre de muestras	38
Cuadro 10 Porcentaje de humedad	38
Cuadro 11 Resultados de tracción	38
Cuadro 12 Resumen de pruebas reológicas.....	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la Celulosa	8
Figura 2 Ejemplos de monosacáridos	8
Figura 3 Localización Geográfica de CEICA.....	16
Figura 4 Localización Geográfica de FHIA	17

Figura 5 Muestra de pseudotallo previo al deshidratado.....	24
Figura 6 Celulosa Clarificada.....	25
Figura 7 Liofilizador Harvest Right	26
Figura 8 Equipo FTIR ThermoScientific Nicolet iS5 con ATR iD7	27
Figura 9 Equipo DSC 3+	27
Figura 10 Equipo de tracción.....	29
Figura 11 Porcentaje de Fibra Cruda	32
Figura 12 Fibra del pseudotallo posterior a la digestión	33
Figura 13 Termograma de celulosa (a), almidón (b) y biopolímero (c).	36
Figura 14 Termograma comparativa de biopolímero sin prensar (a) y biopolímero prensado (b).	36
Figura 15 Películas de almidón aglutinadas con celulosa	39

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados de porcentaje de fibra cruda (DATIL)	45
Anexo 2 Resultados de porcentaje de fibra cruda (WILLIAM)	46
Anexo 3 Resultados de porcentaje de fibra cruda (MOROCA)	47
Anexo 4 Resultados de porcentaje de fibra cruda (CAVENDISH)	48
Anexo 5 Resultados de porcentaje de fibra cruda (FHIA-25).....	49
Anexo 6 Obtención de nuevas variedades por medio de cultivos in vitro	50
Anexo 7 Obtención de semillas de musáceas insemnadas	50
Anexo 9 Determinación de Porcentaje de Humedad por Balanza de Humedad	51
Anexo 8 Digestor Fibertherm	51

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación por plásticos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más críticos a nivel global. La producción y el uso masivo de plásticos convencionales han llevado a la acumulación de desechos en ecosistemas terrestres y acuáticos, generando un impacto negativo en la biodiversidad y la salud humana. Ante esta problemática, surge la necesidad urgente de desarrollar alternativas sostenibles que puedan reemplazar los plásticos tradicionales.

La celulosa, un biopolímero natural y renovable, se presenta como una solución viable para la producción de bioplásticos. Este material, que se encuentra en abundancia en diversas fuentes vegetales, posee propiedades mecánicas y biodegradables que lo hacen ideal para aplicaciones en la industria de los plásticos. En particular, el pseudotallo de musáceas, un subproducto agrícola frecuentemente desechado, ha demostrado ser una fuente rica en celulosa, lo que lo convierte en un candidato prometedor para la síntesis de bioplásticos.

A través de esta investigación, se espera contribuir al desarrollo de materiales más sostenibles y fomentar el uso de recursos agrícolas de manera eficiente, alineándose con las tendencias actuales hacia una economía circular y un futuro más ecológico.

2 OBJETIVOS

General

Desarrollar a base de pseudotallo, bioplástico a partir de la obtención de celulosa, empleando la extracción de la celulosa hasta la formulación y producción de biodegradables.

Específicos

Desarrollar la formulación de bioplásticos utilizando la celulosa extraída del pseudotallo de plátano como componente principal.

Caracterizar física y químicamente la celulosa obtenida y sus propiedades mecánicas, para entender su idoneidad como materia prima para la producción de bioplásticos.

Fabricar prototipos utilizando el bioplástico desarrollado, mediante técnicas de moldeo adecuadas, asegurando la viabilidad industrial y la reproducibilidad del proceso.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Plásticos

3.1.1 Contaminación por Plásticos

El término "plástico", derivado del griego "plastikos", que significa "moldeable", hace referencia a una de las características más destacadas de este material: su capacidad de ser moldeado y manipulado para adquirir diversas formas y usos. Los plásticos son materiales orgánicos, compuestos principalmente por átomos de carbono, y se derivan de materias primas naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y, principalmente, el petróleo. Esta diversidad de materias primas naturales ha contribuido a la versatilidad y ubicuidad de los plásticos en la sociedad moderna (García 2019).

Los plásticos han revolucionado numerosas industrias debido a su maleabilidad, resistencia y bajo costo de producción. Desde su invención a principios del siglo XX, su uso se ha extendido a prácticamente todos los aspectos de la vida cotidiana, desde envases de alimentos y dispositivos electrónicos hasta componentes de automóviles y materiales de construcción. Sin embargo, esta ubicuidad también ha llevado a graves problemas ambientales, como la contaminación de los océanos y la acumulación de desechos plásticos en los ecosistemas terrestres.

La historia de los plásticos se remonta al siglo XIX, cuando Alexander Parkes presentó la parkesina o celuloide en 1855, este material, derivado de la celulosa, ganó renombre en la industria cinematográfica por su capacidad para sustituir al vidrio en la fabricación de películas y objetos transparentes, más tarde, entre 1838 y 1972, se dio inicio a la producción del policloruro de vinilo (PVC), un polímero termoplástico versátil que se emplea ampliamente en la fabricación de tuberías, revestimientos y otros productos de uso cotidiano. No obstante, el verdadero punto de inflexión en la historia de los plásticos llegó en 1907 con la invención de la baquelita por parte de Leo Baekeland, la baquelita, un polímero fenólico, representó el primer plástico completamente sintético y termoestable, su notable resistencia al calor y a la electricidad la convirtió en un material invaluable para una amplia gama de aplicaciones industriales y de consumo, desde componentes eléctricos hasta utensilios de cocina y adornos de baño, este evento marcó el inicio de la era moderna

de los plásticos, caracterizada por una proliferación sin precedentes de materiales sintéticos que han transformado radicalmente nuestra sociedad (García 2009).

Con el avance de la industria química, se logró sintetizar una amplia variedad de plásticos mediante la modificación de las características químicas de materiales naturales como el caucho, la nitrocelulosa, el colágeno y la galalita, este proceso de síntesis dio origen a los plásticos que se comercializan hoy en día, con una amplia gama de propiedades y aplicaciones en diversas industrias y sectores económicos (García 2019).

3.1.2 Impacto de los plásticos

La contaminación plástica es un problema global que tiene múltiples causas y consecuencias, el sobreconsumo de plásticos, la mala gestión de los residuos, la presencia de microplásticos y la ineficacia de las plantas de tratamiento de agua son algunas de las principales razones detrás de este fenómeno, además, la falta de concienciación ciudadana y políticas efectivas agrava la situación (García 2019).

Los impactos de la contaminación plástica son significativos y se reflejan en la pérdida de biodiversidad, la amenaza a la salud pública y el deterioro del medio ambiente, la acumulación de plásticos en los océanos ha dado lugar a la formación de islas gigantes de basura, afectando gravemente los ecosistemas marinos y la vida silvestre, la ingesta de plásticos por parte de los animales marinos conlleva laceraciones, heridas internas e incluso la muerte (García 2019).

Además, los plásticos pueden liberar compuestos peligrosos durante su fabricación y descomposición, contribuyendo al efecto invernadero y contaminando el agua y el suelo con sustancias tóxicas, la presencia de microplásticos en la cadena alimentaria representa un riesgo para la salud humana, ya que estos pueden ser ingeridos por los seres humanos a través de los alimentos (García 2019).

3.1.3 Contaminación de los océanos

La contaminación de los océanos es uno de los principales problemas causados por los plásticos, cada año, toneladas de plásticos son arrojados a los océanos, contaminando las aguas y amenazando la vida marina, los plásticos se descomponen en microplásticos, que son ingeridos por peces y otros animales marinos, esto produce efectos negativos en su

salud y puede ocasionar su muerte, además, la presencia de plásticos en los océanos contribuye a la formación de islas de basura, como el conocido "Gran Parche de Basura del Pacífico" (López & Boom 2023).

Además, de causan graves daños a la vida marina, muchos animales marinos quedan atrapados en restos de plástico o los confunden con alimento, lo que puede llevar a su asfixia o estrangulamiento, además, la ingestión de plásticos puede causar obstrucciones en su sistema digestivo y dañar órganos internos, esto afecta tanto a especies grandes como a microorganismos acuáticos. La muerte de la vida marina a causa de los plásticos tiene un impacto en la cadena alimentaria y en los ecosistemas marinos en su conjunto (Cedeño et al. 2022).

3.1.4 Acumulación en los vertederos

La acumulación de plásticos en los vertederos es una preocupación significativa, a medida que aumenta la producción y consumo de plásticos, los vertederos se encuentran cada vez más saturados con estos materiales no biodegradables, los plásticos tardan cientos de años en descomponerse, por lo que su acumulación en los vertederos supone un problema a largo plazo, esto ocupa un espacio valioso en los vertederos y exige la creación de más instalaciones de eliminación de residuos, además, la degradación de los plásticos libera gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático (Pinto & Galdós 2023).3

3.1.5 Microplástico

Los microplásticos son diminutos fragmentos de plástico que se encuentran en el medio ambiente, con un tamaño inferior a los 5 milímetros. Estos microplásticos son el resultado de la descomposición de plásticos más grandes o son fabricados directamente en forma de partículas pequeñas para aplicaciones específicas. Su presencia se ha detectado en diversas partes, incluyendo animales, alimentos e incluso en el intestino humano (Rogers 2024).

Desde la masiva producción de plásticos a partir de 1950, se han generado alrededor de 8,300 millones de toneladas métricas de este material, de las cuales solo el 9% se recicla. El restante se libera al medio ambiente, donde se descompone gradualmente por la acción de agentes climáticos y biológicos, generando microplásticos. Estas partículas son consumidas por diversas formas de vida y pueden acumularse en los organismos, lo que puede tener

consecuencias negativas para su salud (Rogers 2024).

Los efectos de los microplásticos en los organismos vivos están siendo investigados, pero se ha observado que pueden causar problemas de salud, como obstrucciones intestinales e intoxicaciones, en animales que los ingieren. Además, la presencia de microplásticos en lugares tan diversos como la nieve del Ártico, el agua del mar y el interior de los peces, así como en la materia fecal humana, destaca la magnitud de este problema (Rogers 2024).

La producción y liberación de microplásticos en el medio ambiente se debe principalmente a la actividad humana, tanto por la fabricación como por el desgaste y descomposición de objetos plásticos más grandes. Es esencial tomar medidas para reducir la producción de plásticos, promover el reciclaje y adoptar un consumo responsable para abordar este problema (Rogers 2024).

3.2 Estructuras químicas del biopolímero

3.2.1 Polímeros/biopolímeros

Los polímeros –del griego «poly» (muchos) y «meros» (partes)– son un grupo de productos químicos con un principio de composición común. Están formados por las llamadas macromoléculas, que son largas cadenas de moléculas que contienen un elevado número de unidades más pequeñas que se repiten. Las moléculas formadas por un pequeño número de monómeros se suelen denominar «oligómeros», cuyo significado literal sería «algunas partes».

Existen distintos tipos de polímeros: polímeros naturales (por ejemplo, lana, seda, madera, algodón), polímeros semisintéticos (polímeros naturales modificados químicamente, como plásticos a base de caseína, plásticos celulósicos) y polímeros sintéticos.

Por sus estructuras macromoléculas pueden ser lineales o ramificadas (con cadenas secundarias) y pueden estar entrecruzadas para vincular una cadena con otra.

Actualmente, los monómeros, que suelen pertenecer al grupo de productos orgánicos de gran volumen, se fabrican a partir de materias primas petroquímicas (petróleo crudo o gas). Se consideran excepciones los materiales celulósicos, que se producen a partir de fibras de algodón o madera, o los productos biodegradables, que se fabrican con materias primas renovables (MITECO 2009).

3.2.2 Biopolímero

Los biopolímeros o bioplásticos se define según American Society for Testing and Materials (ASTM) como plásticos degradables en el que la degradación resulta por la acción de microorganismos naturales como bacterias, hongos y algas. Estos materiales biodegradables han experimentado limitaciones en cuanto a su aplicación, principalmente debido a que los objetivos políticos anteriores de sustituir productos de consumo masivo por razones ecológicas condujeron a avances industriales costosos. Algunos de estos avances resultaron no ser viables a largo plazo, ya que las alternativas presentaban propiedades limitadas, eran económicamente inviables y difíciles de procesar, y en ocasiones, no ofrecían resultados ecológicos claros.

Sin embargo, en la actualidad, los productos biodegradables se están diseñando para mercados donde la biodegradabilidad proporciona una ventaja técnica. Algunos ejemplos de estos mercados incluyen:

- Películas plásticas para la agricultura
- Bolsas de basura para compostaje
- Recubrimiento de papel
- Películas higiénicas
- Toallas sanitarias

3.2.3 Celulosa

Su fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$, esta es un Biopolímero compuesto únicamente por β -glucosa, las moléculas están unidas de β -glucopiranosas (Figura 1) mediante enlaces β -1,4-O-glucosídico que se estructura de largas cadenas lineales, unida por puentes de hidrógeno y fuerzas van der Waals intramoleculares, formando estructuras resistentes a la hidrólisis, pero sí con regiones susceptibles a la degradación enzimática (BIOENERGIA 2014).

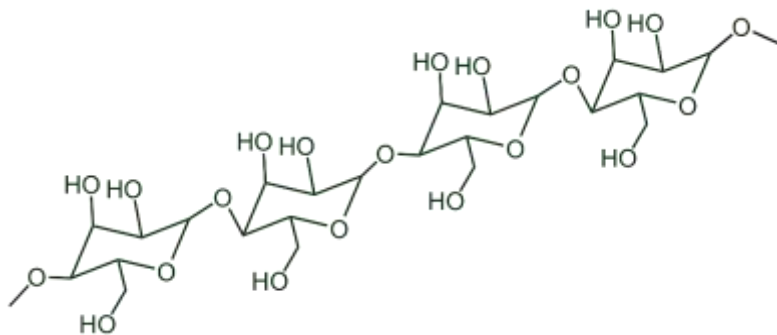


Figura 1 Estructura de la Celulosa

3.2.4 Hemicelulosa

La hemicelulosa es una estructura compleja compuesta por monosacáridos (como se muestra en la figura 2), que puede formar tanto heteropolisacáridos como homopolisacáridos. Los heteropolisacáridos están integrados por pentosas, hexosas y ácidos de azúcar, es decir, por dos o más tipos de azúcares; mientras que los homopolisacáridos consisten en estructuras compuestas por un único tipo de monosacárido. Es una sustancia fácilmente degradable por agentes químicos (Bailón, 2013).

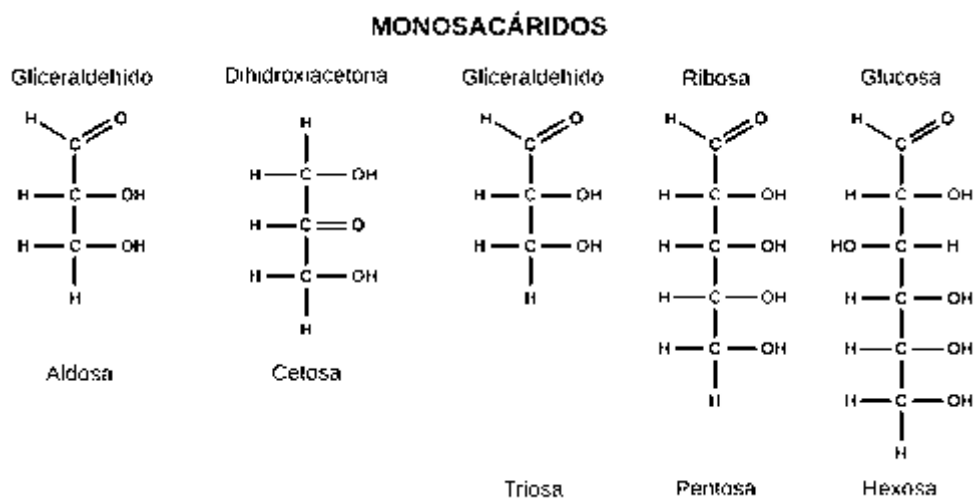


Figura 2 Ejemplos de monosacáridos

Fuente Labster s.f

3.2.5 Ligninas

El término lignina hace referencia a una familia de biopolímeros heterogéneos, caracterizados por una ramificación y/o reticulación limitada. Estas moléculas se ensamblan a partir de monómeros de tipo alcohol coniferílico mediante un proceso de polimerización enzimática, lo que les otorga una arquitectura molecular tridimensional. La lignina es una sustancia amorfa, ópticamente inactiva, y representa aproximadamente entre el 20 % y el 40 % de la masa de los tejidos vegetales en las plantas superiores.

La lignina desempeña diversas funciones importantes. En conjunto con las fibras de celulosa, aporta resistencia estructural al tallo y al fuste de las plantas superiores, permitiendo la realización de la fotosíntesis a grandes alturas. Asimismo, al actuar como una matriz de sustancias fenólicas y alifáticas, protege los carbohidratos del ataque de microorganismos e insectos. Además, participa en una red de procesos que permite conservar, recuperar y reutilizar átomos y moléculas esenciales para el funcionamiento del cámbium y el citoplasma.

Para el ser humano, la lignina tiene múltiples aplicaciones. Es especialmente útil como material estructural, como componente de la madera que debe ser eliminado para la fabricación de papel, y como una posible materia prima fenólica que cobra importancia a medida que se reducen los recursos petrolíferos y combustibles disponibles. Actualmente, se estima que se producen aproximadamente 50 millones de toneladas de ligninas separadas químicamente (ACS 1999).

3.2.6 Almidón

Las partículas de almidón presentes en los cloroplastos de las plantas son más complejas en comparación con las partículas de glucógeno animal. Estas partículas son de mayor tamaño, con formas y estriaciones características de la planta en la que se encuentran. Similar al glucógeno, las partículas de almidón están rodeadas por una vaina proteica que incluye las enzimas necesarias para su formación y degradación. Sin embargo, a diferencia del glucógeno, el almidón está compuesto por dos tipos de polímeros de glucosa.

Entre el 10 % y el 30 % del almidón está formado por largas cadenas de amilosa, compuestas por cientos de grupos glucosilos con pocas ramificaciones. Estas cadenas tienden a

enrollarse en una hélice cuya configuración helicoidal origina un complejo azul brillante al reaccionar con yodo.

El segundo polímero de glucosa, conocido como amilopectina, tiene una estructura altamente ramificada, similar al glucógeno. No obstante, sus ramificaciones terminales suelen medir aproximadamente 20 residuos de longitud.

3.3 La industria de plátano

3.3.1 Descripción

El plátano es una planta monocotiledónea de gran porte, que crece en las regiones cálidas del planeta y cuyo fruto es comestible. Sus raíces son de carácter netamente adventicio, fasciculadas y fibrosas. Sus hojas son grandes y oblongas y poseen pseudopécíolos largos, que se ensanchan en vainas cuyo conjunto forma el pseudotallo. El verdadero tallo se mantiene corto hasta su diferenciación floral. Las flores son de naturaleza bastante irregular y están constituidas por tres grupos piezas florales, que se insertan en círculos concéntricos o verticilos , en el punto de unión del estilo con el ovario. El fruto, que principalmente se emplea para cocinar, es mayor, más basto y menos dulce que el de las variedades que se consumen en crudo (Chinchilla 2024).

3.3.2 Origen

Según Rumaldo 2016, el Plátano es una fruta cuyo origen se ubica en el Sureste Asiático, incluyendo el Norte de la India, Burma, Camboya y parte del sur de China, así como las Islas mayores de Sumatra, Java, Borneo, las Filipinas y Taiwán. Las más antiguas referencias relativas al cultivo del plátano proceden de la India, donde aparecen citas en la poesía épica del budismo primitivo de los años 500-600 antes de Cristo. Otra referencia encontrada en los escritos del budismo Jataka, hacia el año 350 a. C, sugiere la existencia, hace 2,000 años, de una fruta tan grande como colmillo de elefante.

3.3.3 Taxonomía

Chinchilla 2004, reportan la siguiente clasificación taxonómica para las Musaceae.

Reino:..... Plantae
 División:..... Magnoliophyta

Subclase:	Zingiberidae
Clase:.....	Liliopsida
Orden:.....	Zingiberales
Familia:.....	Musaceae
Género:.....	Musa

3.3.4 Morfología del plátano

Cultivo

La planta tiene un sistema radicular poco profundo en el que brotan los pseudotallos.

Fruto

Es una baya carnosa que se encuentra en racimos, con una cáscara gruesa. Cuando madura, es de color amarillo, las aristas tienden a desaparecer y el fruto mide entre 20 y 25 cm.

Hojas

Las hojas del plátano incluyen las hojas espada (jóvenes, puntiagudas) y las hojas anchas o verdaderas (más desarrolladas, con vaina, pecíolo, lámina y vena central).

- **Inflorescencia:** Después de cambios fisiológicos, la planta forma una inflorescencia que da origen al racimo. Se forma cuando la planta ha emitido aproximadamente el 50% de sus hojas totales. Existen flores femeninas (cuyo ovario se transforma en plátano) y masculinas (de ovario reducido y estambres bien desarrollados). Las partes de la inflorescencia incluyen bellota, chira, bacota y popocha.

Pseudotallo

El pseudotallo es el "falso tallo" de la planta de plátano que proporciona y transporta nutrientes del suelo a los frutos. Está compuesto por vainas foliares superpuestas. Después de la cosecha, se convierte en biomasa de desecho porque la planta no se puede usar para la siguiente cosecha. Las fibras de las hojas del pseudotallo de banano se pueden extraer con una descortezadora. El proceso de extracción generalmente combina remojo en agua y raspado. Solo las vainas foliares externas del pseudotallo son aptas para la extracción de fibras, ya que las fibras de las vainas internas son frágiles y tienen poca resistencia. El pseudotallo es una parte de la planta con gran densidad de fibra que es posible utilizar como materia prima para la obtención de celulosa.

Según la investigación de Carmo 2016, la composición química del pseudotallo y heno de hojas de banano y *Cynodon spp.* Contenido de materia seca (MS) del heno, proteína cruda (PB), extracto etéreo (EE), nutrientes digestibles totales (TDN), fibra detergente neutra (FND), fibra detergente ácida (FDA) y fibra cruda (FC).

3.4 Contextualización de la producción del plátano

El plátano es un cultivo de importancia significativa en muchas regiones, y su naturaleza permanente se debe a su método de reproducción mediante retoños, como se menciona en la investigación de Llor Villamil & Zambrano Moreira (2016). Aquí se amplía la información con respecto a la cosecha y las características del fruto, manteniendo las fuentes de los paréntesis

Periodo de producción y cosecha: El plátano tiene un ciclo de producción relativamente corto, ya que se puede cosechar en aproximadamente nueve meses, según lo indica Mendoza Macías, (2019). Además, en una plantación establecida, los plátanos maduros se cosechan cada 10-15 días para garantizar un suministro continuo de frutas frescas al mercado, como se señala en el mismo estudio (Mendoza Macías, 2019).

Criterios de cosecha: La cosecha del plátano implica la evaluación de varios factores para determinar su madurez óptima. Estos criterios incluyen el tamaño, el grosor y el color del fruto. La madurez adecuada se determina visualmente, con énfasis en la apariencia general y la pigmentación de la cáscara del plátano, lo que indica su nivel de dulzura y textura deseada (Mendoza Macías, 2019).

Características del plátano: El plátano, conocido científicamente como *Musa paradisiaca*, es un miembro del género *Musa*, que abarca alrededor de cuarenta especies diferentes. Este fruto se cultiva principalmente en regiones tropicales y subtropicales debido a sus requerimientos climáticos específicos, como mencionan Olmos Soler (2015) y Tenesaca Mera (2012).

En síntesis, el plátano es un cultivo permanente con un ciclo de producción relativamente corto, que se cosecha periódicamente cada 10-15 días. La evaluación de la madurez del fruto es crucial durante la cosecha, y el plátano pertenece al género *Musa*, que comprende varias especies cultivadas en regiones cálidas y húmedas.

3.5 Técnicas físico-químicas

3.5.1 Espectro de FTIR

La espectroscopía FTIR (Transformada de Fourier Infrarrojo) es una técnica versátil y ampliamente utilizada en laboratorios académicos, analíticos, de control de calidad y forenses. Su capacidad para identificar compuestos y monitorear procesos la convierte en una herramienta esencial en el análisis químico, con aplicaciones destacadas en polímeros y compuestos orgánicos.

El espectro de infrarrojo y sus zonas características

Un espectro típico se representa como un gráfico donde el eje X corresponde al número de onda (cm^{-1}) y el eje Y, a la absorbancia. Dentro del espectro se destacan dos regiones principales:

Región de grupos funcionales ($4000\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$): Aquí se identifican bandas específicas generadas por enlaces químicos comunes, como O-H, C-H y N-H.

Región de huella digital ($1500\text{-}500\text{ cm}^{-1}$): Caracterizada por patrones únicos de absorción que permiten diferenciar moléculas específicas debido a su estructura.

La región de los grupos funcionales

A continuación, se presenta las regiones de los grupos funcionales en el FTIR (cuadro 1).

Cuadro 1 Descripción de regiones del FTIR

Región (cm^{-1})	Tipo de enlace	Características principales	Ejemplo
4000-2500	Enlaces de estiramiento (O-H, C-H, N-H)	Banda O-H (agua) amplia y alta entre $3500\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$. Banda C-H menos amplia entre $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$.	Agua, hidrocarburos
2500-2000	Enlaces triples (C≡C, C≡N)	Bandas suelen ser débiles y pocas veces relevantes para la interpretación del espectro.	Compuestos con enlaces triples
2000-1500	Enlaces dobles (C=C, C=O, C=N)	Banda C=O intensa entre $1830\text{-}1650\text{ cm}^{-1}$ (ej. grupo carbonilo). Banda C=N suele ser menos intensa.	Proteínas, compuestos con grupo amida
1500-600	Vibraciones complejas: Región de huella digital	Bandas específicas y únicas para cada molécula, resultado de múltiples vibraciones internas. Permite una identificación inequívoca de compuestos.	Carbohidratos ($1100\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$).

Factores que afectan la calidad de los espectros

- Calidad del contacto muestra-cristal: Una presión adecuada mejora la definición de las bandas.
- Forma física de la muestra: Polvos finos ofrecen mayor claridad espectral en comparación con muestras líquidas.
- Señal residual del background: Restos de CO₂ pueden interferir, especialmente en muestras de polvo.
- Interferencia del solvente: El agua y etanol en soluciones dificultan identificar compuestos de baja concentración.

3.5.2 Proceso kraft

Es una técnica ampliamente utilizada para la producción de pulpa o pasta de celulosa. Su nombre proviene del alemán y sueco *Kraft*, que significa "fuerza". Fue desarrollado por Carl Dahl en 1887 y actualmente representa el método empleado para aproximadamente el 85 % de la producción mundial de papel.

Descripción del proceso

El procedimiento involucra el uso de **hidróxido de sodio (NaOH)** y **ácido sulfúrico (H₂SO₄)** para eliminar la lignina de las fibras del pseudotallo. El proceso se lleva a cabo en grandes recipientes a presión llamados *digestores*. Al finalizar, se genera un líquido residual conocido como **licor negro**.

Proceso de clarificado

Una etapa adicional en la preparación de la pulpa incluye un proceso de clarificado, llevado a cabo con **hipoclorito de sodio (NaClO)**. Este tratamiento sirve para mejorar la blancura y calidad de la pulpa, asegurando que los productos finales cumplan con los estándares exigidos para aplicaciones como la fabricación de papel blanco y otros derivados.

3.5.3 Pruebas reológicas

Las pruebas de reología de polímeros permiten analizar cómo la tensión o fuerza aplicada sobre un material se relaciona con su deformación y flujo. Este estudio es clave para comprender las propiedades mecánicas y dinámicas de los polímeros, facilitando la optimización de productos y procesos industriales. Al conocer las características reológicas

mediante ensayos de laboratorio, es posible reducir costos y minimizar desperdicios durante la fabricación (Intertek 2025).

Ensayo de Tracción

Las pruebas de tracción son fundamentales para determinar las propiedades mecánicas de los polímeros, tanto reforzados como no reforzados. Aunque los resultados de diferentes métodos pueden ser similares, existen variaciones técnicas significativas, como las diferencias en el tamaño de las probetas y los requisitos específicos de los ensayos.

La resistencia de la probeta a la tracción es la cantidad máxima de fuerza que el material puede soportar bajo tracción antes de alcanzar su límite, es decir, antes de sufrir una deformación permanente o romperse (Illinois Tool c2025).

3.5.4 Microscopia de barrido

La microscopia electrónica de barrido (SEM) es una técnica analítica que utiliza electrones en lugar de luz para obtener imágenes detalladas de las superficies de materiales. Permite estudiar la morfología, la topografía y las propiedades químicas de muestras con alta resolución y profundidad de campo. Los principales componentes de un microscopio electrónico de barrido incluyen:

- **Fuente de electrones:** Emite electrones que interactúan con la muestra.
- **Lentes electromagnéticas:** Enfocan el haz de electrones en la muestra.
- **Detectores:** Recogen señales emitidas por la muestra, como electrones secundarios y retrodispersados.

Las aplicaciones comunes del SEM incluyen análisis de materiales, caracterización de superficies, estudios en ciencias biológicas y desarrollo de nuevos materiales.

3.6 Información de la unidad

Datos generales

El CEICA (Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas) es una institución dedicada a fortalecer el quehacer científico y tecnológico en los servicios educativos y la actualización docente en ciencias aplicadas. Sus principales ejes de trabajo son la educación, la investigación y el desarrollo territorial. El objetivo del CEICA es impulsar la investigación y la innovación como soporte técnico al tejido productivo, promoviendo la economía

circular y la sostenibilidad.

La visión del CIECA es “ser un referente nacional en investigación y desarrollo de tecnologías aplicadas, contribuyendo a la mejora de la calidad educativa y al progreso científico del país. Sus áreas de investigación incluyen el desarrollo de alimentos nutritivos y adecuados para programas como el refrigerio escolar, asegurando la calidad y sostenibilidad de los productos, y la innovación en materiales y prototipos con aplicaciones diversas, como bioplásticos a partir de residuos agrícolas”.

3.6.1 Localización

La Investigación se llevará a cabo en el CEICA (Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicados) se encuentra ubicado en el Km 33 ½ Carretera a Santa Ana, Ciudad Arce, La Libertad, El Salvador específicamente en 13°48'15"N 89°23'58"W (Figura 3).



Figura 3 Localización Geográfica de CEICA

Fuente Google Earth s.f.

Además, se realizará una parte de la pasantía de investigación en los laboratorios de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, esta se encuentra en la Colonia Sula, 3ra. calle S.O., contiguo al Instituto Patria, 00000 La Lima, Honduras específicamente en 15°26'00"N 87°55'40"W (Figura 4 y A-6 al A-7).



Figura 4 Localización Geográfica de FHIA

Fuente Google Earth s.f.

3.6.2 Antecedentes

El proyecto de síntesis de bioplástico se originó a partir de una secuencia de investigaciones previas, todas impulsadas por la necesidad de aprovechar residuos agrícolas:

La investigación inicial (Materiales Lúdicos), La fase inicial del proyecto se originó tras una investigación previa realizada por el CEICA, enfocada en aprovechar los residuos del pseudotallo de musáceas para la fabricación de materiales lúdicos.

Transición de fuentes de celulosa: Posteriormente, se llevó a cabo otra investigación con el objetivo de establecer una fuente de celulosa alternativa, para lo cual se utilizó estopa de coco.

Identificación del pseudotallo como fuente optima, fue en este contexto de búsqueda de fuentes renovables donde el pseudotallo de las musáceas, como el plátano, fue identificado como una fuente viable de celulosa para la síntesis de bioplásticos.

3.6.3 Viabilidad y objetivos ambientales

Esta viabilidad es crítica en el contexto ambiental global, donde la contaminación por plásticos convencionales representa uno de los desafíos ambientales más críticos. El enfoque en el pseudotallo permite al proyecto abordar varios objetivos de sostenibilidad:

- Reducción de la Dependencia de Plásticos Convencionales: El uso de celulosa de pseudotallo es una alternativa para reducir la dependencia de los plásticos convencionales, los cuales a menudo se basan en materias primas petroquímicas.

- Promoción de la Economía Circular y Sostenibilidad: La celulosa del pseudotallo no solo disminuye los residuos plásticos, sino que también impulsa un futuro sostenible (Morales, 2021) y promueve la economía circular (Solano, 2022).
- Mitigación de Residuos: El pseudotallo es un subproducto agrícola frecuentemente desechado. La planta de banano, de hecho, genera aproximadamente cuatro veces los desechos de biomasa por cada tonelada de fruto cosechado. Estos residuos, si no se gestionan adecuadamente (si se vierten o se incineran), pueden causar problemas ambientales al producir gases de efecto invernadero.

4 METODOLOGIA

4. 1 Metodología descriptiva explicativa

Esta investigación se desarrolló en las instalaciones de El Centro de Educación e Investigación en Ciencias Aplicadas (CEICA) como Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), en esta se realizó la síntesis de bioplástico utilizando celulosa extraída de pseudotallo de musáceas, de la cual se presenta su desarrollo de la siguiente manera:

4.1.1 Análisis Químico del Pseudotallo

Preparación de muestra

Con las muestras de pseudotallo colectadas por la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) se evaluaron los métodos más eficaces de fragmentado, deshidratado y pulverizado para la extracción de celulosa a gran escala (Anexo 8 Determinación de Porcentaje de Humedad por Balanza de Humedad). Este estudio inicial se centró en identificar los procedimientos óptimos que permitan maximizar la eficiencia y calidad del material obtenido. Además, se determinó el porcentaje de fibra cruda de las muestras colectadas por la FHIA las cuales corresponde a las variedades Moroca, Cavendish, William, FHIA-25 y Dátil (Anexo A1-A5 Resultados de porcentaje de las diferentes variedades), con esto se buscaba identificar cuales variedades contaban con mayor cantidad de fibra equivalente a celulosa para la obtención de biopolímero

Fragmentación de la Muestra

Las muestras recolectadas fueron sometidas a un proceso de fragmentado, que permitió estudiar su comportamiento durante la deshidratación. Para controlar y evaluar la pérdida de humedad, se utilizó una balanza de humedad, y se realizó un deshidratado mediante radiación solar. El objetivo fue determinar el tiempo ideal de exposición al sol necesario para alcanzar niveles mínimos de humedad, que a su vez permitieran un pulverizado eficiente.

Deshidratación de la Muestra

Se procedió usando el método de la balanza de humedad (Shimadzu MOC63u), donde se colocó la muestra (1 g) del pseudotallo troceado y se hizo el cierre de la tapa del calentador para comenzar las mediciones.

Pulverización de las Muestras

Una vez deshidratado y fragmentado, el pseudotallo se pulverizó hasta alcanzar un tamaño de poro de 1 mm en la muestra. Este paso se realizó utilizando un molino industrial, que fue elegido por su capacidad para manejar el material con precisión y uniformidad. Permite graduar el tamaño de las partículas, asegurando que el material procesado esté en óptimas condiciones para continuar con el proceso de digestión ácido-base.

Digestión de la Muestra

Las muestras se procesaron para la determinación de fibra cruda según método oficial de la AOAC 962.09 y manual del fabricante fibretherm (Anexo 9 Digestor Fibertherm), adaptado por el laboratorio.

Procedimiento:

1. Pesar la FiberBags (bolsa porta muestra) y registrar como valor **M1** y **B1** para la FiberBag que se utilizará como blanco. Las FiberBags poseen una masa estable, por lo tanto, no es necesario pre secarlas posterior al secado en horno (se colocan las bolsas a utilizar a 105°C en un horno de convección y se dejan enfriar en un desecador). Colocar el espaciador de vidrio dentro de la FiberBags.
2. Pesar aproximadamente 1 g de muestra, colocándola directamente en la FiberBags y registrar como **M2**. El peso de la muestra tenga una desviación de 1 mg.
3. Coloque el espaciador de vidrio con la muestra dentro del FiberBags dentro del equipo FIBERTHERM.
4. El valor del blanco puede ser determinado durante el análisis (FiberBag sin muestra). El valor del blanco deberá ser menor a 1 mg por FiberBag. Un valor por cada paquete de FiberBargs de 100 unidades es suficiente, ya que los valores difieren muy ligeramente entre ellas.
5. La medición de humedad en la muestra deberá determinarse por separado. El resultado de este valor es importante por el cálculo del contenido de fibra cruda (debido a que resulta de la muestra seca).
6. El desgrase de la muestra es importante para muestras con contenido de grasas mayor al 10%. Para realizar el procedimiento coloque la muestra dentro de la

FiberBag con el espaciador de vidrio, dentro del carrusel de inmersión y sumergirlo en éter de petróleo tres veces. Rote el carrusel y realice movimientos verticales, repetir este proceso tres veces. La primera fracción de éter de petróleo utilizada debe ser descartada; las otras fracciones pueden ser utilizadas para otros procesos.

7. Luego de desgrasar, dejar secar la muestra por 2 minutos en la cámara de extracción de gases. Posteriormente, se colocan las muestras en el carrusel de porta muestras dentro del equipo FIBRE THERM y se siguen las condiciones del equipo que se detallan a continuación (cuadros 2,3,4):

Cuadro 2 Parámetros de enjuague

Paso	Variable	Observación
Llenado con agua	1.3 L	-
Tiempo de circulación	9 segundos	-
Pausa de la circulación	4 segundos	-
Succión	2 a 3 minutos/s	Hasta que el depósito de ebullición esté vacío.
Finalización del lavado	1 minuto/s	-

Cuadro 3 Parámetros de precalentamiento

Paso	Variable	Observación
Tiempo de circulación.	10 segundos	-
Pausa de circulación.	30 segundos	-
Retraso de calentamiento después del inicio.	30 segundos	-
Calentamiento del H ₂ SO ₄ Ácido sulfúrico	80-85°C	Hasta que la solución del depósito de muestras esté en ebullición.
Calentamiento del NaOH Hidróxido de sodio	80-85°C	Hasta que la solución del depósito de muestras esté en ebullición.
Calentamiento del H ₂ O del lavado.	80-85°C	Hasta que la solución del depósito de muestras esté en ebullición.
Enfriamiento del H ₂ SO ₄ .	85°C	-
Enfriamiento de NaOH.	85°C	-
Enfriamiento del H ₂ O del lavado.	85°C	-

Cuadro 4 Parámetros del método

Paso	Variable	Observación
Detergente <A>	H ₂ SO ₄	-
Agregar <A>	1.3 litros	-
Potencia de calentamiento <A>	40-45%	La solución del depósito de la muestra debe ebullicir suavemente.
Tiempo de circulación <A>	10 segundos	-
Pausa de circulación <A>	30 segundos	-
Tiempo de ebullición <A>	30 minutos	-
Tiempo de succión <A>	2 veces por 3 minutos	Hasta que el contenedor de las muestras se encuentre vacío.
Lavados <A>	2 veces	-
Detergente 	NaOH	-
Agregar 	1.3 litros	-
Potencia de calentamiento 	40-45%	La solución del depósito de la muestra debe ebullicir suavemente.
Tiempo de circulación 	10 segundos	-
Pausa de circulación 	20 segundos	-
Tiempo de ebullición 	30 minutos	-
Tiempo de succión 	2 veces por 3 minutos	Hasta que el contenedor de las muestras se encuentre vacío.
Lavados 	2 veces	-
Detergente <C>	H ₂ O destilada	-
Dosificación <C>	1.3 litros	-
Potencia de calentamiento <C>	55%	-
Tiempo de circulación <C>	10 segundos	-
Pausa de circulación <C>	15 segundos	-
Tiempo de ebullición <C>	5 minutos	-
Tiempo de Succión <C>	2 veces por 3 minutos	Hasta que el contenedor de las muestras se encuentre vacío.
Lavado <C>	0	-

8. Secado de la FiberBags con muestras digeridas.

Posterior a la finalización de la hidrólisis realizada en el equipo FIBRE THERM, se toman los

espaciadores de vidrio con mucho cuidado y lavando con etanol al 90% cualquier resto de muestra adherida a las paredes de vidrio, separado de la FiberBags.

Las FiberBags con muestra se colocan en crisoles de porcelana con tapadera y se colocan en un horno de convección para ser secadas a una temperatura de 105°C por un mínimo de 4 horas o idealmente toda la noche. Después del secado en horno, colocar con cuidado y tomar los crisoles con una pinza, dejar enfriar en un desecador con sílica hasta temperatura ambiente. Paso siguiente, tomar el peso de la FiberBag y el crisol con tapadera (siempre manipulando las muestras con pinzas) y registrar el dato como **M3**.

9. Incineración de las muestras.

Colocar con ayuda de pinzas los crisoles con tapadera + FiberBags + muestra seca, dentro de una mufla y calcinar a 500°C por un tiempo mínimo de 4 horas o toda la noche. Posteriormente al tiempo de calcinación, dejar enfriar a una temperatura aproximada de 105°C por 30 minutos y luego colocar los crisoles tapados y con ayuda de una pinza, en un desecador hasta enfriarlos a temperatura ambiente. Finalmente, pesar el crisol con la tapadera y registrar el valor como **M4**.

Cálculo del Porcentaje de Fibra Cruda (Celulosa)

$$\%FC = \frac{(M3 - M1 - M4) - Bv}{M2} * 100$$

Donde:

$M1$ = peso de la FiberBag sola (g).

$M2$ = peso inicial de la muestra seca (g).

$M3$ = peso del crisol con tapadera + FiberBag + muestra, posterior al secado en horno (g).

$M4$ = peso del crisol con tapadera + cenizas, posterior a la calcinación (g).

Bv = valor del blanco = $B3 + B1 + B4$ correspondientes a los pesos de las fases similares a $M1$, $M3$ y $M4$ pero solo con la masa de la FiberBag, es decir el dato que sirve como blanco.

4.1.2 Cálculos para escalar el proceso

Selección de muestras

El análisis del porcentaje de celulosa presente en cinco variedades de pseudotallo: Moroca, Cavendish, William, FHIA-25 y Dátil. Las muestras fueron proporcionadas por el laboratorio del programa bananero de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). El proceso de digestión permitió determinar con precisión el contenido de celulosa en cada variedad, información que es clave para evaluar su potencial en la producción de celulosa a escala industria.

Preparación de las muestras

Debido a las condiciones climáticas de La Lima, Honduras, donde la humedad relativa fluctuó entre el 75% y el 78%, surgieron dificultades para controlar la humedad de las muestras. Aunque no hubo precipitaciones, la alta humedad ambiental ralentizó el secado (Figura 5). Para evitar retrasos adicionales, se utilizó un horno de convección en el área de mejoramiento de cacao de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Este equipo permitió deshidratar las muestras adecuadamente en un periodo de 24 horas, logrando las características necesarias para proceder con el siguiente paso.



Figura 5 Muestra de pseudotallo previo al deshidratado

Digestión de muestras a escala

El proceso de síntesis del biopolímero comenzó con una digestión ácida. Las muestras pulverizadas se sometieron a una solución de ácido sulfúrico al 1.25%, dentro de una autoclave bajo condiciones de vacío. Se aplicó calor durante 60 minutos, controlando cuidadosamente la presión. Al finalizar, el equipo fue enfriado antes de proceder con el filtrado del ácido mediante manta cruda. Las muestras fueron lavadas repetidamente con agua potable hasta alcanzar la neutralización completa, lo cual fue verificado cuando el agua de lavado adquirió una apariencia cristalina.

Después de la digestión ácida, se realizó una digestión básica con hidróxido de sodio al 1.25%, utilizando nuevamente la autoclave durante 60 minutos con control de presión. Tras la digestión, la solución fue decantada y las muestras se filtraron de forma similar, logrando una celulosa con una menor cantidad de material residual.

Para optimizar la apariencia de la celulosa, se llevó a cabo una tercera digestión con hipoclorito de sodio al 3.5% en su forma comercial disponible en Honduras. Este proceso se realizó en la autoclave, pero con un tiempo de exposición reducido a 20 minutos. Finalmente, se realizó el filtrado y lavado de las muestras, obteniendo una celulosa con una apariencia blanca ligeramente grisácea (Figura 6).



Figura 6 Celulosa Clarificada

Gelificación

La gelificación se realizó agregando al autoclave la materia necesarios incluyendo las muestras de celulosa extraídas de la digestión, del peso total de celulosa de agregó en partes iguales de almidón de maíz, se aplicó temperatura hasta llegar al punto de

gelificación del almidón, al llegar al punto gelificación que es aproximadamente de 70° centígrados, al llegar a esta temperatura se dejó de suministrar temperatura y al poder ser manejable aun en caliente se realizó el embebido en las bandeja del liofilizados para continuar con el proceso.

Liofilización

El equipo (Figura 7) se programó para realizar el proceso correspondiente, esto tomó un tiempo aproximado de 24 horas hasta la obtención del producto final de esta fase de investigación.



Figura 7 Liofilizador Harvest Right

Verificación de proceso por FTIR

En cada uno de los procesos de elaboración del biopolímero se tomaron pequeñas muestras (hemicelulosa, celulosa, almidón y biopolímero), para poder realizar seguimiento del proceso con un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier del Laboratorio de Química Analítica (Figura 8), Ocupacional y Ambiental de la Facultad de Química y Farmacia, con el cual se pudo identificar la composición química de muestras. Se detalla a continuación el procedimiento del método.

Procedimiento FTIR:

Este proceso se deberá realizar para las muestras de pseudotallo pulverizado, celulosa extraída de la digestión y celulosa con clarificado.

1. Preparación de la Muestra: Se colocó una pequeña cantidad de la muestra en el cristal de diamante. Asegurando de que la muestra esté en contacto directo con el cristal.
2. Configuración del Instrumento: El FTIR debe encender y estar respectivamente calibrado

utilizando un estándar conocido para asegurar la precisión de los resultados.

3. Adquisición del Espectro: Se seleccionó el rango espectral adecuado para el análisis, comprendido entre 4000 y 400 cm^{-1} . Posteriormente, se inició la adquisición del espectro y se recopilaron los datos.



Figura 8 Equipo FTIR ThermoScientific Nicolet iS5 con ATR iD7

Análisis térmico (DSC)

El comportamiento térmico de las muestras (celulosa, almidón y bioplásticos) se evaluó mediante “Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)”. Se obtuvieron los termogramas registrando el flujo de calor en función de la temperatura para identificar transiciones de fase, eventos endotérmicos y la estabilidad térmica de los materiales. Se analizaron tanto las materias primas individuales como el bioplástico sintetizado (con y sin prensado mecánico) para determinar los cambios en la estructura y las propiedades térmicas derivadas del procesamiento (Figura 9).



Figura 9 Equipo DSC 3+

Elaboración de probetas de biopolímero

Se solicitó al Centro para el Desarrollo de la Industria del Empaque y Embalaje en Centro América y Panamá (CDIECAP) que proporcionara información técnica sobre las dimensiones óptimas para la realización de los cortes láser en las muestras de biopolímero. Dichas muestras fueron obtenidas previamente mediante los procesos de digestión llevados a cabo en el laboratorio emergente de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA).

Esta información fue brindada por la Dra. Tania Torres Rivera, quien recomendó que las dimensiones mínimas para cada probeta o muestra fueran de 3 X 15 centímetros.

Preparación de Muestras de Biopolímeros

Al realizar la visita a la empresa CHICO, se informó sobre las dimensiones brindada por parte CDIECAP de tres centímetros de alto por quince de ancho, además se le planteo la posibilidad de compactar las muestras, nos presentaron una compactadora con el cual podría realizar este proceso, este equipo contaba con dimensiones superiores a las láminas de biopolímero obtenidas, y podía graduarse la presión ejercida sobre el material hasta el punto más convenientes, de esta manera se realizaron cinco probetas compactadas y con las dimensiones del laboratorio y cinco probetas sin compactar con las mismas dimensiones

Caracterización de Propiedades Reológicas

Las pruebas reológicas de las muestras cortadas con láser, las dimensiones y el contenido de humedad para asegurar la precisión de los resultados.

Peso: se midió el peso de cada muestra usando una balanza analítica, comparando las muestras compactadas y no compactadas.

Dimensiones: con la ayuda de un pie de rey, se determinaron las dimensiones de las muestras en estado compactado y sin compactar.

Humedad: utilizando una balanza de humedad, se calcularon los porcentajes de humedad de las muestras, diferenciando entre las compactadas y las no compactadas.

Tracción: esta se realizó con las probetas realizadas para poder cuantificar en newtons las capacidades del biopolímero (Figura 10). Estas pruebas proporcionaron datos importantes sobre las propiedades físicas de las muestras, permitiendo una mejor comprensión de sus características y comportamientos bajo diferentes condiciones.



Figura 10 Equipo de tracción

4.1.3 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

Para realizar un análisis con microscopia de barrido con el equipo Tescan Modelo Vega 3, se brindó las muestras al Laboratorio de Nanotecnología de la Facultad de Ingeniería y Sistemas de la Universidad Francisco Gavidia para realizar los siguientes procesos:

- **Preparación de la muestra:** el análisis se realizó a una pequeña muestra del biopolímero obtenido.
- **Colocación de la muestra:** Se inserto en el equipo y se ajustó la presión en la cámara para obtener condiciones de vacío.
- **Ajuste de parámetros:** se estableció un voltaje de aceleración de electrones de 30 kV y recubrimiento oro/paladio utilizando un recubierta por pulverización catódico marca Quorum
- **Registró de imágenes:** se obtuvieron imágenes al escanear la superficie de la muestra (31X, 102X y 1370X) con el haz de electrones. Los datos recolectados se utilizaron para interpretar características como tamaño de partículas, textura y defectos.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis Químico del Pseudotallo

En la metodología se realizó la determinación de fibra cruda para las variedades: Moroca, Cavendish, William, FHIA-25 y Dátil (Cuadro 5 y 6), obteniendo los siguientes resultados Reportes en anexos A-1 al A-5:

Cuadro 5 Recopilación de datos para detección de porcentaje de fibra cruda

	M1	M2	M3	M4	Mm (M3-M1-M4)	Mm-Bv	(Mm-Bv)/M2	%FC	Promedio
Blanco	0.2590		26.9120	26.6446	0.0084				
Datil	0.2591	1.3015	27.7368	27.1405	0.3373	0.3289	0.2527	25.2691%	25.1350%
	0.2582	1.2602	25.4606	24.8766	0.3258	0.3174	0.2519	25.1883%	
	0.2591	1.3327	32.2325	31.6325	0.3409	0.3325	0.2495	24.9477%	
Blanco	0.25897		26.912	26.6446	0.0084				
William	0.2586	1.2736	28.8334	28.2344	0.3404	0.3320	0.2607	26.0692%	26.3447%
	0.2598	1.2716	26.3663	25.7622	0.3443	0.3359	0.2642	26.4177%	
	0.2588	1.3431	32.7884	32.1646	0.3650	0.3566	0.2655	26.5472%	
Blanco	0.2586		31.8451	31.5593	0.0272				
Moroca	0.2618	1.2430	32.6387	32.1612	0.2157	0.2073	0.1668	16.6774%	16.4197%
	0.2583	1.3642	27.6303	27.1354	0.2366	0.2282	0.1673	16.7278%	
	0.2588	1.2552	26.2256	25.7594	0.2074	0.1990	0.1585	15.8540%	
Blanco	0.2586		31.8451	31.5593	0.0272				
Cavendish	0.2586	1.2692	27.2434	26.6432	0.3416	0.3332	0.2625	26.2528%	25.9995%
	0.2587	1.2770	25.4737	24.8732	0.3418	0.3334	0.2611	26.1081%	
	0.2588	1.2562	31.8168	31.2275	0.3305	0.3221	0.2564	25.6376%	
Blanco	0.2587		31.8451	31.5593	0.0271				
FHIA-25	0.2583	1.3096	32.1555	31.6280	0.2692	0.2608	0.1991	19.9145%	20.4854%
	0.2557	1.3288	28.7672	28.2304	0.2811	0.2727	0.2052	20.5223%	
	0.2577	1.2498	23.6140	23.0852	0.2711	0.2627	0.2102	21.0194%	

Cuadro 6 Resumen de promedio de datos de porcentaje de fibra cruda

Variedad	Porcentaje de Fibra Cruda
William	26.34%
Cavendish	26.00%
Dátil	25.14%
FHIA-25	20.49%
Moroca	16.42%
Promedio	22.88%

5.1.2 Resultados obtenidos y su interpretación.

Con los resultados obtenidos podemos observar que la variedad “William” cuenta con un 26.34% de fibra cruda, siendo la variedad con mayor contenido. Cavendish le sigue de cerca con un 26.00%, lo que la convierte en la segunda opción; mientras que “Dátil” presenta un 25.14%, siendo también una alternativa a considerar.

Por otro lado, “FHIA-25 y Moroca” cuentan con 20.49% y 16.42% respectivamente. Estas son las dos variedades con menor porcentaje, situándose por debajo del promedio, lo que las hace poco viables para la obtención de fibras.

A continuación, se presenta un gráfico de barras simulado que ilustra los porcentajes de Fibra Cruda de las cinco variedades, utilizando el Promedio General (22.88%) como línea de corte (Figura 11), para descartar visualmente aquellos materiales menos deseables. En consecuencia, se determina que se utilizará la variedad “William” para continuar la investigación, por contar con el mayor porcentaje de fibra.

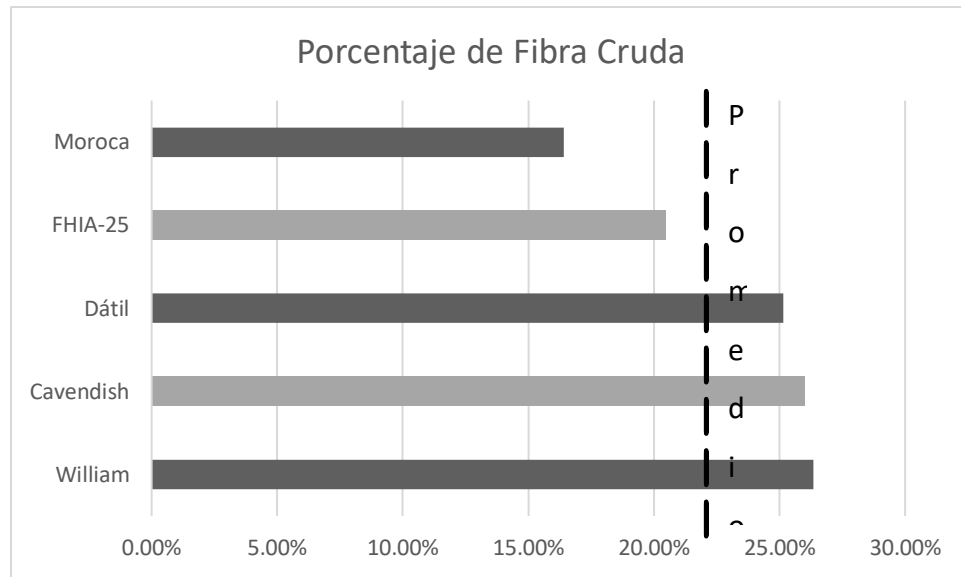


Figura 11 Porcentaje de Fibra Cruda

5.1.2 Resultados e interpretación de infrarrojos por transformada de Fourier

Se realizó el proceso descrito en la metodología, por lo cual se muestra a continuación los resultados obtenidos de las pruebas FTIR:

Para la (Figura 12) se representa las bandas de absorción del pseudotallo previamente a la digestión, en esta se puede identificar que las bandas entre los $1490-1770\text{ cm}^{-1}$, son características para hemicelulosa y ligninas. Y la disminución de la presencia de estas bandas en la (Figura 12) nos refleja de manera positiva eliminación de estas estructuras químicas por medio de las digestiones ácido-base para hemicelulosa, y el proceso de clarificado nos ayuda a la reducción de presencia de lignina.

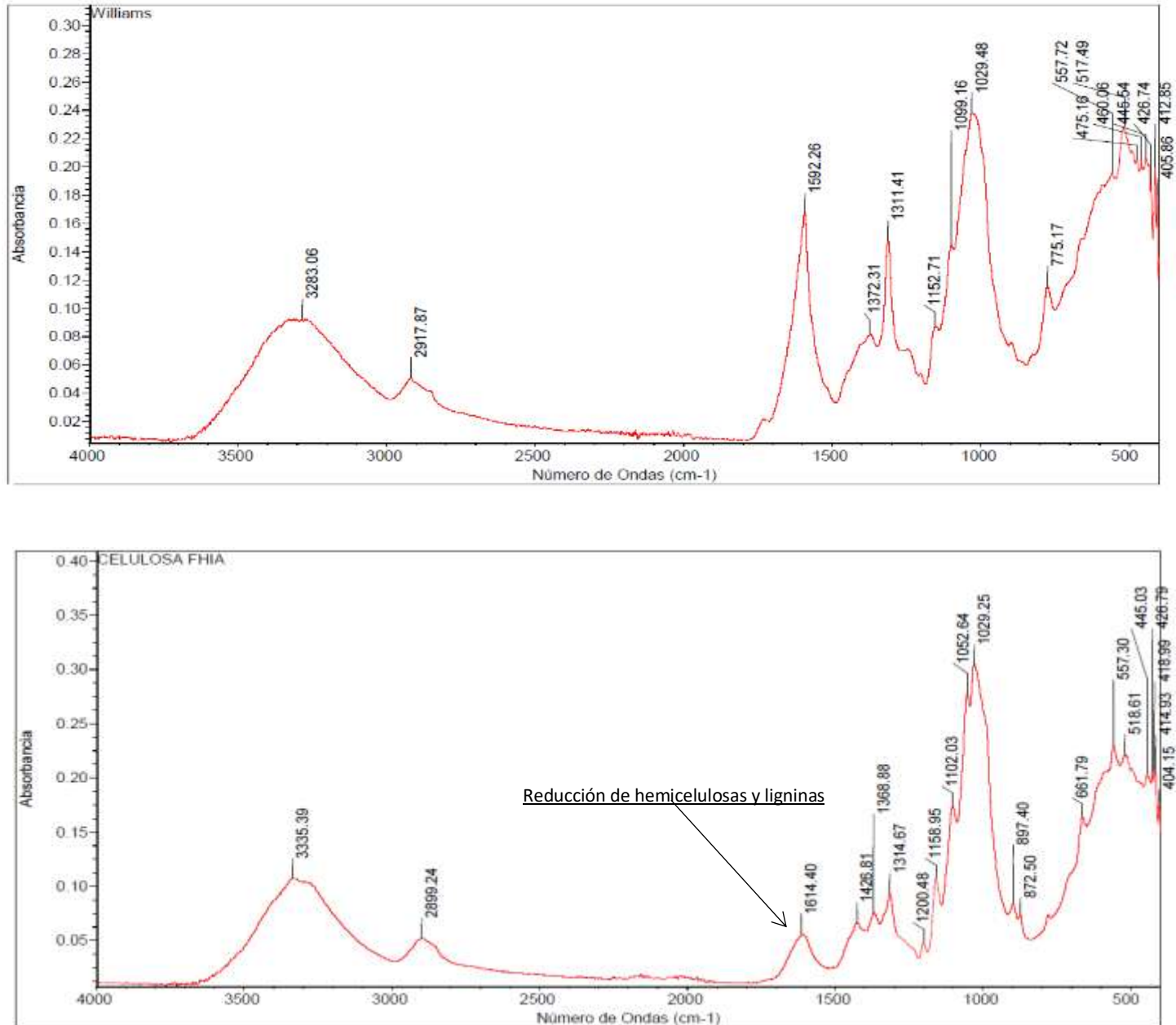


Figura 12 Fibra del pseudotallo posterior a la digestión

5.1.3 Resultados e interpretación de FTIR

El proceso de verificación mediante FTIR se llevó a cabo en varias etapas de la elaboración del biopolímero, incluyendo el pseudotallo pulverizado (Figura 13), la celulosa extraída por digestión y la celulosa clarificada.

La interpretación específica de las pruebas de FTIR se detalla a continuación:

Análisis del Pseudotallo sin Tratar

- El espectro del pseudotallo previamente a la digestión permite identificar la presencia de hemicelulosa y ligninas.
- Las bandas entre 1490 y 1770 cm^{-1} son características para hemicelulosa y ligninas. La región de 1500 a 2000 cm^{-1} abarca vibraciones de enlaces dobles (C=C, C=O, C=N).
- La hemicelulosa y la lignina son polímeros que necesitan ser eliminados, ya que la fibra de pseudotallo producida contiene (Figura 12).

Efecto de las Digestiones Químicas

- La disminución de la presencia de estas bandas ($1490\text{--}1770\text{ cm}^{-1}$) en el espectro posterior a la digestión (Figura 12) es un reflejo positivo de la eliminación de ligninas.
- Las digestiones ácido-base (utilizando ácido sulfúrico y después hidróxido de sodio) eliminan las hemicelulosas. La hemicelulosa es una sustancia que se degrada fácilmente por agentes químicos.
- El proceso de clarificado (realizado con hipoclorito de sodio al 3.5%) ayuda específicamente a la reducción de la presencia de lignina.

La eliminación exitosa de la hemicelulosa y la lignina mediante el tratamiento químico es crucial porque el objetivo es obtener celulosa purificada.

5.2 Análisis térmicos

Análisis térmico de materias primas y bioplástico sintetizado

La Figura 14 presenta los termogramas DSC de la celulosa extraída, el almidón y el bioplástico de celulosa/almidón.

En el caso de la celulosa (Figura 13), se observa una curva estable con desviaciones mínimas. Únicamente se detecta una ligera transición endotérmica en el rango de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $108\text{ }^{\circ}\text{C}$, sin eventos térmicos adicionales hasta los $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este comportamiento refleja una alta termo

estabilidad e integridad estructural, características idóneas para aplicaciones que requieren resistencia a la degradación térmica. Por su parte, el almidón (Figura 13 (b)) exhibe una transición endotérmica amplia y prominente entre 25 °C y 120 °C. Este fenómeno, ampliamente reportado en polisacáridos, se asocia a la vaporización del agua absorbida debido a la naturaleza higroscópica del material. La magnitud de esta transición varía según el origen botánico del almidón y su capacidad de absorción de humedad del entorno hasta alcanzar el equilibrio. El bioplástico sintetizado (Figura 13) muestra un perfil térmico intermedio, producto de la interacción entre la celulosa y el almidón en la matriz compuesta. Se observa una transición endotérmica de 24 °C a 116 °C, asociada a la pérdida de humedad (que oscila entre 0% y 8% dependiendo del procesamiento). La ausencia de picos de fusión definidos o degradación abrupta por debajo de los 250 °C confirma la naturaleza amorfa del material. En cuanto a la energía involucrada, los valores de entalpía normalizada (ΔH) fueron de 168.53 J/g para la celulosa y 229.07 J/g para el almidón. Sin embargo, el bioplástico presentó un valor de ~ 287 J/g, superior a la suma teórica de sus componentes. Esta discrepancia se atribuye al proceso de síntesis (adición de agua, congelación y liofilización), el cual induce reordenamientos en la red polimérica y modifica los dominios hidrofílicos, alterando su interacción con el agua.

Efecto del prensado mecánico en las propiedades térmicas

Para evaluar el efecto de la densificación, se compararon los termogramas del bioplástico sin prensar frente al bioplástico sometido a compresión mecánica (Figura 13 y Cuadro 7). Si bien no se encontraron diferencias significativas en la entalpía normalizada, sí se observó un desplazamiento notable en las temperaturas de transición: Bioplástico sin prensar (Figura 14): Presenta una transición amplia entre 23 °C y 116 °C, con un pico máximo (temperatura pico) cercano a 69 °C. Bioplástico prensado (Figura 14): La transición se desplaza a un rango de 40 °C a 137 °C, alcanzando su máximo alrededor de 85 °C. Este desplazamiento hacia temperaturas más altas indica que el prensado mecánico densifica el material, reduciendo el volumen libre y restringiendo la movilidad molecular dentro de la matriz biopolimérica. Como resultado, se obtiene una mejora en la estabilidad térmica y la integridad estructural, lo que posiciona al bioplástico prensado como un material más apto

para aplicaciones que exijan mayor resistencia térmica.

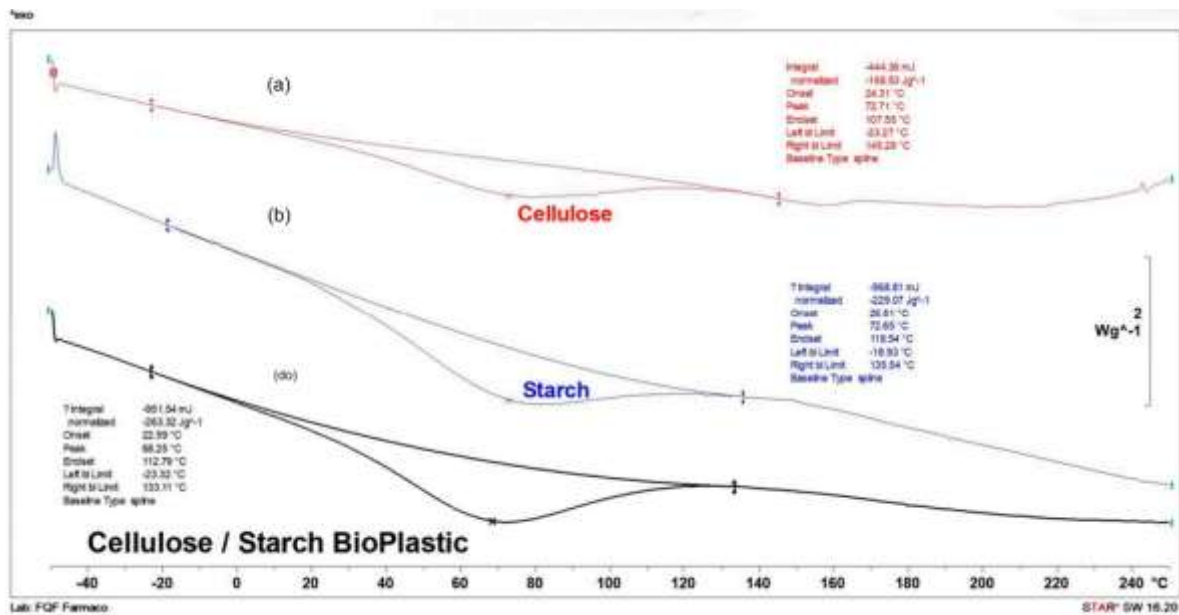


Figura 13 Termograma de celulosa (a), almidón (b) y biopolímero (c).

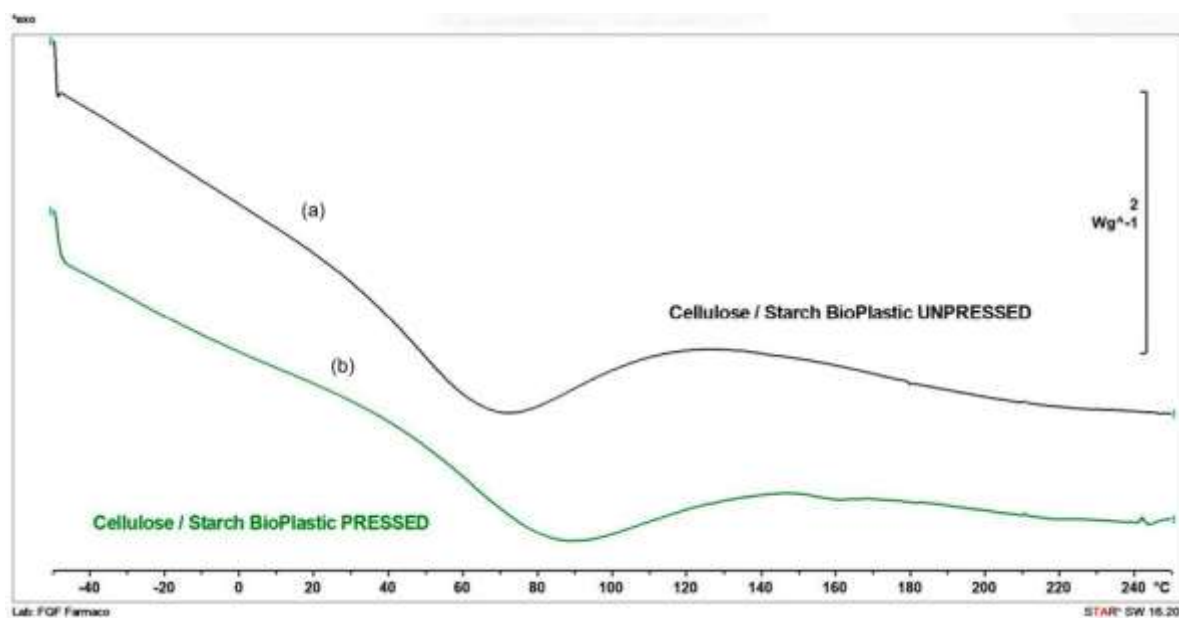


Figura 14 Termograma comparativa de biopolímero sin prensar (a) y biopolímero prensado (b).

Cuadro 7 Resultados térmicos de los materiales

<i>Muestra</i>	<i>Inicio (°C)</i>	<i>Endotérmico Transición (°C)</i>	<i>Normalización Entalpía ($\Delta H/g$)</i>	<i>Conjunto final (°C)</i>
<i>Celulosa</i>	24.31	72.71	168.53	107.55
<i>Almidón</i>	26.51	75.65	229.07	118.54
<i>Biopolímero sin prensar</i>	23.77	68.91	287.31	116.45
<i>Biopolímero prensado</i>	40.23	84.88	261.01	136.39

5.3 Resultados de pruebas reológicas

Las pruebas reológicas son fundamentales para evaluar las propiedades mecánicas y dinámicas del material final, lo que permite validar su potencial como sustituto de los plásticos convencionales en aplicaciones industriales.

Las pruebas reológicas se realizaron sobre el biopolímero ya sintetizado, el cual es el producto final del procesamiento químico de los residuos de pseudotallo de musáceas.

5.3.1 Gramaje

Este se realizó con una balanza analítica en la cual se colocó una a una cada probeta, obteniendo los resultados siguientes (Cuadro 8):

Cuadro 8 Peso en gramos por muestra

Mx Compactada	Mx Sin Compactar
5.6288 g	4.4323 g
5.1565 g	3.6993 g
5.3391 g	5.1229 g

Obteniendo un promedio de 5.375 g para las probetas compactada y 4.418 g de la probeta sin compactar.

5.3.2 Calibre

Este se realizó con un pie de rey para poder obtener los resultados siguientes (Cuadro 9):

Cuadro 9 Calibre de muestras

Mx Compactada	Mx Sin Compactar
1.82 mm	9.85 mm
1.72 mm	8.75 mm
2.00 mm	8.16 mm

Con lo cual obtenemos 1.870 mm y 8.920 mm respectivamente como promedio.

5.3.3 Humedad

Esta se realizó con una balanza de humedad en la cual se colocó muestras por muestras hasta obtener los resultados siguientes (Cuadro 10):

Cuadro 10 Porcentaje de humedad

Mx Compactada	Mx Sin Compactar
9.58%	10.72%
9.85%	12.44%
10.93%	11.58%

Obteniendo un promedio de 10.120% para las muestras compactadas y 11.580% en las muestras sin compactar.

5.3.4 Tracción

Este se realizó con el equipo de tracción el cual aplica una fuerza en sentido opuesto a la probeta, obteniendo los siguientes resultados (Cuadro 11):

Cuadro 11 Resultados de tracción

Mx Compactada	Mx Sin Compactar
38 N	25 N
38 N	26 N
39 N	25 N

Obteniendo un promedio de 38.33 N para las muestras compactadas y 25.33 N en las muestras sin compactar.

Cuadro 12 Resumen de pruebas reológicas

Análisis	Unidades	Muestra 1 Material Prensado	Muestra 2 Material no Prensado
Peso o Gramaje	g	5.375	4.418
Calibre o Espesor	mm	1.870	8.920
Humedad	%	10.120	11.580
Densidad	kg/m ³	638.70	110.000
Tensión	N	38.330	25.330
Esfuerzo	Pa	6.90x10 ⁵	9.40x10 ⁴

Interpretación de pruebas reológicas

La gran diferencia en Tensión y Esfuerzo demuestra que el procesamiento mecánico final (la compactación) es crucial para determinar la viabilidad del biopolímero. Un alto esfuerzo significa que el material tiene la capacidad de actuar como un plástico reforzado o como un compuesto. Un material rígido es un plástico con un módulo de elasticidad superior, y aunque los valores de esfuerzo del biopolímero de pseudotallo son menores que esta clasificación, indican que el procesamiento puede acercar el material a los estándares de rigidez requeridos para ciertas aplicaciones (Cuadro 12).

Resultados de Microscopio Electrónico de Barrido

La disposición homogénea de las partículas de celulosa dentro del aglutinante de almidón sugiere una distribución estructurada, similar a la forma en que los agregados quedan suspendidos en una matriz de cemento en una mezcla de hormigón (Figura 16). En este contexto, la celulosa actúa como un refuerzo disperso dentro del biopolímero, lo que podría optimizar su resistencia mecánica y mejorar la integridad del material a nivel estructural.

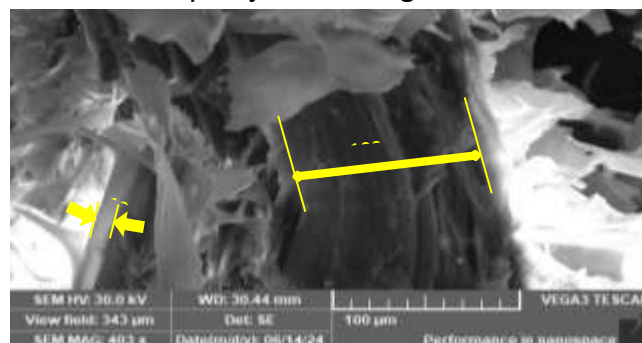


Figura 15 Películas de almidón aglutinadas con celulosa

6 CONCLUSIONES

Después de haber finalizado la pasantía de investigación y haber contribuido en diferentes actividades dentro de Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas, se puede concluir que:

La viabilidad del pseudotallo de musáceas radica en que representa la mayor fuente de biomasa de la planta, generando aproximadamente cuatro toneladas de desechos por cada tonelada de fruta cosechada. La investigación optimizó la producción mediante la selección de variedades de alto rendimiento, destacando la variedad Williams, que alcanzó un contenido de celulosa del 26.34%, seguida de la variedad Cavendish con un 26.00%.

Los resultados preliminares indican que los bioplásticos sintetizados tienen propiedades mecánicas adecuadas, alcanzando una resistencia de tensión de 38.33 Newton y 25.33 Newton, además se obtuvo un punto endotérmico de transición en Celsius de 84.88° y 68.91° para el biopolímero prensado y sin prensar respectivamente, lo que sugiere su potencial para aplicaciones en diversas industrias, ofreciendo una alternativa biodegradable a los plásticos convencionales.

La implementación de este bioplástico tiene el potencial de mitigar significativamente el impacto ambiental relacionado con los plásticos tradicionales, ayudando a reducir la contaminación plástica en los ecosistemas.

7 RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar con estudios adicionales para evaluar diferentes formulaciones de bioplástico y sus propiedades, buscando mejorar el rendimiento y la biodegradabilidad de los productos.

Es recomendable desarrollar prototipos a escala industrial y realización de más pruebas de mercado para evaluar la viabilidad comercial del bioplástico antes de su producción a gran escala.

Se debe fomentar la colaboración entre instancias como: centros de investigación enfocados en el sector agroindustrial para maximizar los recursos y conocimientos en la producción de bioplásticos.

Implementar la difusión de información sobre los beneficios del bioplástico y la reducción del uso de plásticos convencionales, esto puede ayudar a fomentar una mayor aceptación en el mercado y entre los consumidores.

Trabajar en la creación de normativas que promuevan el uso de bioplásticos o alternativas a plásticos convencionales, facilitando su adopción en diversas industrias y apoyando la transición hacia alternativas más sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Carmo, T; Alves, A; Castro, GL; Viegas, CR; Costa, PP; Nogueira; R. 2016. Características da carcaça e composição tecidual de cortes comerciais de cordeiros alimentados com resíduos da bananicultura (en línea). Semina: Ciências Agrárias 37(1):393 Consultado 16 mar. 2023. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/297895033_Caracteristicas_da_carcaca_e_composicao_tecidual_de_cortes_comerciais_de_cordeiros_alimentados_com_residuos_da_banicultura
- CEICA (Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas, El Salvador). 2022. Protocolo de investigación- Proyecto fibra cruda (en línea). Servellón Carpio, DA. 14 p. Consultado 18 abr. 2023. Disponible en <https://docs.google.com/document/d/1B2OeDn1XW02wTiDbiswL83iYDJXF2aqc/edit?usp=sharing&oid=104152250192561119286&rtpof=true&sd=true>
- Chinchilla Salazar, JS. 2004. Analisis del cultivo del plátano musa aab simmonds en la unidad de riego del parcelamiento la blanca, ocós, san marcos (en línea). Tesis Ing. Agr. Antigua Guatemala, Guatemala, USAC. p. 32-33. Consultado 20 mar. 2023. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2144.pdf
- Haro-Velastegui, AJ; BorjAnexo-Arévalo, AE; Triviño-Bloisse, SY. 2017. Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables (en línea). Dominio de la Ciencia 3(2): 506-525. Consultado 15 abr. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6325873.pdf>
- KPMG (Klynveld, Peat, Marwick, Goerdeler, Costa Rica) 2023c. Los Desafíos fiscales de las empresas exportadoras de banano: Fiscalización de precios de transferencia a la industria bananera (en línea). Rodríguez, J. San Rafael de Escazú, Costa Rica. p. 1-2. Consultado 15 abr. 2024. Disponible en https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/cr/pdf/2023/kpmg_costa_rica_fiscalizacion_industria_banano.pdf

- MITECO (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, España). 2009. Producción de Polímeros (en línea). Madrid, España. p. 34-42. Consultado 25 mar. 2024. Disponible en <https://prtr-es.es/Data/images/PRODUCCI%C3%93N-DE-POL%C3%8DMEROS-1BDCAAE0950F2E40.pdf>
- Morales, AR. 2021. Plan sociocultural para el aprovechamiento de residuos del plátano en la fabricación de productos artesanales (En línea). Revista GRINDDA. Consultado 25 mar. 2024. Disponible en sena.edu.co
- Pinto Escobar, KE. & Galdós Manrique, LE. 2023. Análisis y propuesta de plan de manejo de residuos plásticos agrícolas (RPA), basado en datos espaciales en la zona del alto y bajo rural de la ciudad de Arequipa (en línea). Consultado 18 abr. 2024. Disponible en <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/13306/4G.0081.IA.pdf?sequence=1>
- Rogers, K. 2024. Microplásticos (en línea, sitio web). Consultado 17 abr. 2024. Disponible en [Blow molding | Plastic Manufacturing, Injection Molding & Vacuum Forming | Britannica](https://www.britannica.com/technology/blow-molding)
- Rumaldo Chinchilla, JE. 2016. Multiplicación in vitro de plátano *musa paradisiaca* (var. curare enano), a partir de ápices meristemáticos, utilizando dos concentraciones de 6-benzilaminopurina y diferentes volúmenes de solución madre en medio líquido (en línea). Tesis Lic. Bio. Santa Ana, El Salvador, UES. 66 p. Consultado 20 mar. 2024. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13718/1/PLATANO%20TERMINADA.pdf>
- Grajeda, D. 2001. El plátano: información técnica del plátano. Guatemala, Editorial. 38 p.
- Mezquita Pérez, J. 2009. Fraccionamiento por composición. Caracterización y propiedades térmicas de las fracciones obtenidas de distintos copolímeros bloque de polipropileno (En línea). Tesis Ing. Químico. Tulipán, Móstoles, Madrid, España, URJC. p. 6-11. Consultado 27 mar. 2024. Disponible en https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/5572/08-09_Mezquita,P%C3%A9rez_Jorge.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, S. 2009. Referencias históricas y evolución de los plásticos (en línea). Revista Iberoamericana de Polímeros 10(1):71-80. Consultado 17 abr. 2024. Disponible en

<https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2009-garcia.pdf>

Solórzano, M, A. 2012. Impacto sobre el rendimiento del cultivo de plátano (*Musa paradisiaca L.*) producto de la introducción de la variedad curare enano Dominico Harton (AAB, Chifle) en parcelamiento La Blanca, Ocos, San Marcos, Coatepeque. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Rafael Landívar.

GarcíaAnexo-Astillero, A. 2019. Contaminación por plásticos: causas, consecuencias y soluciones (en línea, sitio web). Consultado 16 abr. 2024. Disponible en [CONTAMINACIÓN por PLÁSTICOS: causas, consecuencias y soluciones \(ecologiaverde.com\)](https://ecologiaverde.com)

Solano-Apuntes, A; Ponce-Saltos, W; Zambrano-Gavilanes, F. 2022. Biodigestión anaeróbica de residuos de musáceas: caso Ecuador (en línea). Biotempo, 19(1), 51-63. urp.edu.pe

Cedeño, G; Crooks, K; Soto, M; Terán, N; Walters, A. 2022. Conciencia Ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano (en línea). Las Enfermeras de hoy. 1(2):44-58. Consultado 18 abr. 2023. Disponible en <http://revistas.anep.org.pa/index.php/edh/article/download/35/16>

López, JH; Boom, E. 2023. Elaboración de materas con botellas plásticas para el cultivo de plantas ornamentales como estrategia metodológica para lograr el embellecimiento del patio escolar del colegio parroquial el carmelo de la ciudad de valledupar (en línea). Ciencia + Tecnología. 6(1):6-180. Consultado 18 abr. 2024. Disponible en <https://fundacionlasirc.org/images/Revista/REVISTALASIRCVolumen6No1.pdf#page=>

ANEXOS

Reportes presenta por parte de Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas (CEICA) a la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA):

CEICA		LABORATORIO DE ANÁLISIS Y PROCESOS QUÍMICOS		 MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
REPORTE DE ANÁLISIS					
CLIENTE:	PROYECTO FHIA-CEICA	CÓDIGO:	LQA-24-03-004-DATIL		
IDENTIFICACIÓN	DATIL	Lote:	NA		
		Fecha de Ingreso:	18-03-2024		
		Muestreo:	Cliente		
		Reporte:	2-04-2024		
DETERMINACIÓN	COMENTARIOS	RESULTADO			
PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA	Referencias: Método Oficial ADAC 962.09. <i>Método modificado y validado por el laboratorio.</i>	25.78%			
Observaciones: Límite de detección = 0.0047 g y límite de cuantificación = 0.00958 g.					
 Cic. David A. Servellán Carpio Responsable del Análisis Químico y Tecnológico Analítico del CEICA-MINEDUCYT.		 Ing. Luis A. Ibarra Pérez Gerente de Educación Tecnológica e Investigación			
MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN DE CICLO MEDIO Y TECNOLÓGICA GERENCIA DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA E INVESTIGACIÓN					
Los resultados son válidos únicamente para la muestra y ensayo analizados. El contenido de este reporte no se puede ser reproducido parcial ni totalmente sin autorización del laboratorio.					
Km. 33 ½, Carretera A Santa Ana, municipio de Ciudad Arce, La Libertad, El Salvador C.A. Tel.: (+503) 2592-3064					

Anexo 1 Resultados de porcentaje de fibra cruda (DATIL)



LABORATORIO DE ANÁLISIS Y PROCESOS QUÍMICOS



MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

REPORTE DE ANÁLISIS

CLIENTE:	PROYECTO FHIA-CEICA	CÓDIGO:	LQA-24-03-005-WILLIAM
IDENTIFICACIÓN	WILLIAM	Lote:	NA
		Fecha de Ingreso:	18-03-2024
		Muestreo:	Cliente
		Reporte:	2-04-2024

DETERMINACIÓN	COMENTARIOS	RESULTADO
PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA	Referencias: Método Oficial AOAC 962.09. Método modificado y validado por el laboratorio.	26.99%

Observaciones:
Límite de detección = 0.0047 g y límite de cuantificación = 0.00959 g.


 Lic. David A. Servellón Carpio
 Responsable del Análisis Químico y Analítico del CEICA-MINEDUCYT.


 Ing. Luis A. Ibarra Pérez
 Gerente de Educación Tecnológica e Investigación

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA
 DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN DE BICICLO, MEDIA Y TECNOLÓGICA
 GERENCIA DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA E INVESTIGACIÓN

Los resultados son válidos únicamente para la muestra y ensayos analizados.
El contenido de este reporte no se puede ser reproducido parcial ni total sin autorización del laboratorio.

Km. 33 1/2, Carretera A Santa Ana, municipio de Ciudad Arce, La Libertad, El Salvador C.A. | Tel.: (+503) 2592-3064

Anexo 2 Resultados de porcentaje de fibra cruda (WILLIAM)



REPORTE DE ANÁLISIS

CLIENTE:	PROYECTO FMA-CEICA	CÓDIGO:	LQA-24-03-001-MOROCA
IDENTIFICACIÓN	MDROCA	Lote:	NA
		Fecha de Ingreso:	18-03-2024
		Muestreo:	Cliente
		Reporte:	2-04-2024

DETERMINACIÓN	COMENTARIOS	RESULTADO
PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA	Referencias: Método Oficial AOAC 962.09. Método modificado y validado por el laboratorio.	17.07%

Observaciones:
Límite de detección = 0.0047 g y límite de cuantificación = 0.00959 g.



Lic. David A. Servellón
 Responsable del Análisis Químico
 Analítico del CEICA MINEDUCYT

Ing. Luis A. Ibarra Pérez
 Gerente de Educación Tecnológica e Investigación

Los resultados son válidos únicamente para la muestra y ensayos analizados.
 El contenido de este reporte no se puede ser reproducido parcial o totalmente sin autorización del laboratorio.

Anexo 3 Resultados de porcentaje de fibra cruda (MOROCA)



LABORATORIO DE ANÁLISIS Y PROCESOS QUÍMICOS



MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

REPORTE DE ANÁLISIS

CLIENTE:	PROYECTO FHIA-CEICA	CÓDIGO:	LQA-24-03-002-CAVENDISH
IDENTIFICACIÓN	CAVENDISH	Lote:	NA
		Fecha de Ingreso:	18-03-2024
		Muestreo:	Cliente
		Reporte:	2-04-2024
DETERMINACIÓN	COMENTARIOS	RESULTADO	
PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA	Referencias: Método Oficial: AOAC 962.09. Método modificado y validado por el laboratorio.	26.66%	

Observaciones:
Limite de detección = 0.0047 g y limite de cuantificación = 0.00958 g.

Msc. David A. Servellón Carpio
Responsable del Análisis Químico
Analítico del CEICA-MINEDUCYT

Ing. Luis A. Ibarra Pérez
Gerente de Educación Tecnológica e Investigación



Los resultados son válidos únicamente para la muestra y ensayos analizados.
El contenido de este reporte no se puede ser reproducido parcial ni totalmente sin autorización del laboratorio.

Km. 33 1/2, Carretera A Santa Ana, municipio de Ciudad Arce, La Libertad, El Salvador C.A. | Tel.: (+503) 2592-3064

Anexo 4 Resultados de porcentaje de fibra cruda (CAVENDISH)



LABORATORIO DE ANÁLISIS Y PROCESOS QUÍMICOS



MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

REPORTE DE ANÁLISIS

CLIENTE:	PROYECTO FHIA-CEICA	CÓDIGO:	LQA-24-03-003-FHIA25
IDENTIFICACIÓN	FHIA-25	Lote:	NA
		Fecha de Ingreso:	18-03-2024
		Muestreo:	Cliente
		Reporte:	2-04-2024
DETERMINACIÓN	COMENTARIOS	RESULTADO	
PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA	Referencias: Método Oficial AOAC 962.09. Método modificado y validado por el laboratorio.	21.13%	

Observaciones:
Limite de detección = 0.0047 g y limite de cuantificación = 0.00559 g.

Lic. David A. Servellón

Responsable del Análisis Químico
Analítico del CEICA-MINEDUCYT.

Ing. Luis A. Ibarra Pérez

Gerente de Educación Tecnológica e Investigación

MINISTERIO DE EDUCACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN DE BACHILLERATO, MEDIA Y TECNOLÓGICA
GERENCIA DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA E INVESTIGACIÓN



*Los resultados son válidos únicamente para la muestra y ensayos analizados.
El contenido de este reporte no se puede ser reproducido parcial ni totalmente sin consentimiento del laboratorio.*

Km. 33 ½, Carretera A Santa Ana, municipio de Ciudad Arce, La Libertad, El Salvador C.A. | Tel.: (+503) 2592-3064

Anexo 5 Resultados de porcentaje de fibra cruda (FHIA-25)

Visita a las Fundación Hondureña de Investigación Agrícola:



Anexo 6 Obtención de nuevas variedades por medio de cultivos in vitro



Anexo 7 Obtención de semillas de musáceas inseminadas

Actividades realizadas en el Centro de Educación e Investigación de las Ciencias Aplicadas (CEICA):



Anexo 8 Determinación de Porcentaje de Humedad por Balanza de Humedad



Anexo 9 Digestor Fibertherm