



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

OBTENCIÓN DE CELOFÁN A PARTIR DE LOS PSEUDOTALLOS DEL BANANO
COMO OPCIÓN PARA LA SUSTITUCIÓN DE PLÁSTICOS CONVENCIONALES EN
EL SECTOR BANANERO

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera Ambiental

AUTORAS: DAYANNA ESTEFANÍA CAMPOVERDE AUQUI
EVELYN JACKELINE MOROCHO BASTIDAS
TUTOR: ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Dayanna Estefanía Campoverde Auqui con documento de identificación N° 0105728950 y Evelyn Jackeline Morocho Bastidas con documento de identificación N° 1104734270; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 12 de octubre del 2022

Atentamente,

Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

0105728950

Evelyn Jackeline Morocho Bastidas

1104734270

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Dayanna Estefanía Campoverde Auqui con documento de identificación N° 0105728950 y Evelyn Jackeline Morocho Bastidas con documento de identificación N° 1104734270, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del Trabajo Experimental: “Obtención de celofán a partir de los pseudotallos del banano como opción para la sustitución de plásticos convencionales en el sector bananero”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 12 de octubre del 2022

Atentamente,

Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

0105728950

Evelyn Jackeline Morocho Bastidas

1104734270

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Braulio Amaya Pinos con documento de identificación N° 0103444923, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: OBTENCION DE CELOFAN A PARTIR DE LOS PSEUDOTALLOS DEL BANANO COMO OPCION PARA LA SUSTITUCION DE PLASTICOS CONVENCIONALES EN EL SECTOR BANANERO, realizado por Dayanna Estefanía Campoverde Auqui con documento de identificación N° 0105728950 y por Evelyn Jackeline Morocho Bastidas con documento de identificación N° 1104734270, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 12 de octubre del 2022

Atentamente,



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, Ph.D.

0103444923

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mis padres, Rodrigo Morocho y Flor Bastidas, por ser la luz en mi camino, por poner su confianza en mí y nunca dejarme sola, porque con su amor, y con cada uno de sus sacrificios, han sido mi inspiración para poder ir siempre por el camino del bien, y hacerles sentir orgullosos de mi persona.

A mi hermano, que fue mi compañero y mi guía al mudarme a la ciudad de Cuenca, quien estuvo ahí para compartir junto a mí cada una de las etapas de mi vida, tanto universitaria como sentimental, quien es mi modelo para seguir y mi orgullo.

A mi abuelita Lolita Silva que fue, y es, participe principal de toda mi vida, quien con mucho sacrificio, amor, enseñanzas y regaños, hizo de mí una mujer que lucha por sus objetivos y alcanzar cada una de las metas propuestas en mi vida.

A la familia Clavijo, quienes con el tiempo, me supieron hacer parte de su familia, y no me dejaron sola en ningún instante; sé que se sienten orgullosos y celebran junto a mí este logro obtenido. Siempre los llevaré en mi corazón.

A mi amiga y compañera de proyecto de titulación, Dayanna Campoverde, por compartir conmigo toda mi carrera universitaria, brindándome su apoyo, y así lograr nuestro objetivo juntas.

Evelyn Jackeline Morocho Bastidas.

La presente investigación se la dedico a mis padres, Gioconda Auqui y Pablo Campoverde, quienes han sido inspiración total en mi vida; con su amor y su apoyo constante, he podido culminar esta etapa tan importante para mí.

A mi hija y mi esposo, mi mayor motivación; gracias a su cariño y paciencia, para seguir siempre y dar mi mayor esfuerzo, buscando lo mejor para mi familia.

A mi familia y amigos, por sus consejos, su apoyo y oraciones.

A mi compañera de tesis Evelyn Morocho, por su amistad sincera y compromiso para culminar la carrera juntas.

Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

AGRADECIMIENTO

Nos sentimos agradecidas con Dios nuestro creador, quien nos dio la vida, el don y la fortaleza para poder llegar a este punto tan anhelado por años, ya que sin su bendición y su misericordia, nada de esto hubiera sido posible.

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, por facilitarnos las herramientas suficientes para poder constituirnos como profesionales. Nos sentimos muy orgullosas de haber correspondido a tan distinguido establecimiento, porque más allá de formarnos como profesionales, también supimos formarnos como seres humanos.

De la misma manera, nos sentimos dichosas de agradecer a nuestros profesores y laboratoristas que, con su paciencia y sabiduría, nos enriquecieron académicamente en cada una de las clases tomadas día a día.

De manera especial, agradecemos al Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, PhD por su entrega, ya que gracias a su apoyo y guía, el proyecto se llevó a cabo de manera satisfactoria.

Finalmente, agradecemos a nuestros compañeros y amigos que, en este camino, nos supimos llenar de grandes esfuerzos y satisfacciones, para cumplir una meta más en nuestras vidas.

Los autores.

RESUMEN

En la presente investigación, se destaca la importancia de aplicar procesos químicos y tecnológicos, para la obtención de materia prima de los pseudotallos del banano. Mediante una hidrólisis ácida, una extracción alcalina y blanqueamiento, se logró obtener celulosa, la cual, al analizarla mediante FTIR, se obtuvo una coincidencia de 84,61%. Como segundo paso, se procedió a tratar la muestra con una solución química utilizando NaOH al 19%. Pasado un tiempo, se aplicó CS₂ al 45% y NaOH al 8 %, hasta formar una jalea naranja. Posteriormente, fue pasada por una serie de soluciones, de H₂SO₄ al 10,5% , sulfato de cinc al 1,65% y sulfato de magnesio al 25,04%, con lavado posterior; nuevamente aplicación de ácido sulfúrico al 10%, calentamiento de la muestra a 65°C, aplicación de NaOH al 10% a una temperatura de 65°C durante 10 min, lavado para retirada de residuos y secado de la muestra. De este modo, se ha realizado la regeneración de la celulosa y la solidificación del material .

Del resultado del tratamiento anterior, se ha obtenido celofán que, al analizarlo por FTIR, se ha logrado una coincidencia del 73,62%. Tras mezcla con PVA , agua y ácido acético en diferentes concentraciones, para formar las películas de biopolímero, se obtuvo la dosificación óptima que, al realizar el análisis FTIR, se comparó la similitud del bioplástico con la del celofán, obteniendo un porcentaje de 61,58%.

Una vez obtenido el biopolímero, se realizaron pruebas físicas y químicas para determinar las características de mismo.

Palabras Claves: Celulosa, celofán, pseudotallo, biopolímero, FTIR.

ABSTRACT

In this research, the importance of applying chemical and technological processes to obtain raw material from banana pseudostems is highlighted. By means of acid hydrolysis, alkaline extraction and bleaching, cellulose was prepared, which, when analyzed by FTIR, a coincidence of 84.61% was obtained. As a second step, the sample was treated with a chemical solution using 19% NaOH. After some time, CS₂ at 45% and NaOH at 8% were applied, until an orange jelly was formed. Subsequently, it was passed through a series of solutions, 10.5% H₂SO₄, 1.65% zinc sulfate and 25.04% magnesium sulfate, with subsequent washing; again application of 10% sulfuric acid, heating of the sample to 65°C, application of 10% NaOH at a temperature of 65°C for 10 min, washing to remove residues and drying of the sample. In this way, the regeneration of the cellulose and the solidification of the material have been carried out.

From the result of the previous treatment, cellophane has been obtained which, when analyzed by FTIR, has achieved a coincidence of 73.62%. After mixing with PVA, water and acetic acid at different concentrations, to form the biopolymer films, the optimal dosage was obtained which, when performing the FTIR analysis, compared the similarity of the bioplastic with that of cellophane, obtaining a percentage of 61, 58%.

Once the biopolymer was obtained, physical and chemical tests were carried out to determine its characteristics.

Keywords: Cellulose, cellophane, pseudostem, biopolymer, FTIR.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE DE CONTENIDOS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
CAPÍTULO 1.....	14
INTRODUCCIÓN.....	14
Problema	15
Justificación	16
Delimitación	17
Explicación del problema	17
Objetivos	17
1.1.1. Objetivo general.....	17
1.1.2. Objetivo específico	17
Fundamentación teórica.....	18
1.1.3. Polímeros naturales y sintéticos	18
1.1.3.1. Polímeros sintéticos.....	18
1.1.3.2. Polímeros naturales.....	18
1.1.3.3. Polisacáridos	19
1.1.4. Degradación de los biopolímeros plásticos	20
1.1.5. Celulosa	21
1.1.6. Celofán.....	22
1.1.6.1. Propiedades del Celofán.....	23
1.1.6.1.1. Transparencia	23
1.1.6.1.2. Permeabilidad	23
1.1.6.1.3. Fuerza	24
1.1.6.1.4. Birrefringencia.....	24
1.1.6.1.5. Propiedades mecánicas.....	24
CAPÍTULO 2.....	26
2. MATERIALES Y MÉTODOS	26
Primera fase	26
2.1.1. Recolección y tratamiento de la materia prima	26
2.1.2. Reacondicionamiento de las fibras.	26
2.1.2.1. Preparación y Secado del Pseudotallo	26

2.1.2.2.	Molido de las fibras.....	27
Segunda fase	27	
2.1.3.	Obtención de celulosa.....	27
2.1.3.1.	Hidrólisis ácida suave.....	27
2.1.3.2.	Extracción alcalina.....	27
2.1.3.3.	Blanqueo.....	27
2.1.4.	Rendimiento.....	28
Tercera fase	28	
2.1.5.	Obtención de rayón.....	28
Dosificación y Formación del Biopolímero	.....	29
Métodos de caracterización	.....	30
2.1.6.	Análisis FTIR.....	30
Análisis de propiedades mecánicas	.....	30
2.1.7.	Determinación de propiedades en tracción.....	30
2.1.8.	Análisis de dureza.....	30
	CAPÍTULO 3.....	32
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
Obtención de la celulosa	.....	32
3.1.1.	Diagrama de flujo extracción de celulosa.....	34
3.1.2.	Rendimiento de celulosa.....	36
Obtención de celofán	.....	36
3.1.3.	Diagrama de flujo obtención de celofán.....	41
Dosificación	43	
Análisis FTIR	44	
3.1.4.	Análisis FTIR fibra de banano.....	44
3.1.5.	Análisis FTIR de la celulosa.....	46
3.1.6.	Análisis FTIR celofán.....	48
3.1.7.	Análisis FTIR del biopolímero.....	49
Determinación de propiedades en tracción	.....	51
Determinación de dureza	.....	53
	CONCLUSIONES.....	56
	RECOMENDACIONES.....	59
	BIBLIOGRAFÍA.....	60
	APENDICE.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Composición de la planta de banano</i>	16
Tabla 2: <i>Dosificaciones previas a obtener el biopolímero</i>	29
Tabla 3: <i>Resultados de dureza en secciones del biopolímero</i>	30
Tabla 4: <i>Dosificación para el biopolímero y porcentaje de análisis FTIR</i>	41
Tabla 5: <i>Reporte Picos de la fibra de banano</i>	42
Tabla 6: <i>Reporte Picos de la Celulosa</i>	44
Tabla 7: <i>Reporte Picos de Celofán</i>	46
Tabla 8: <i>Reporte Picos Biopolímero</i>	47
Tabla 9: <i>Dimensiones de las probetas</i>	48
Tabla 10: <i>Resultados de fuerza y tensión</i>	49
Tabla 11: <i>Dureza Shore D promedio</i>	50
Tabla 12: <i>Porcentajes en las soluciones, para formación de la viscos</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Compuestos por cadenas de variable complejidad que se componen de múltiples moléculas de azúcar. (Polisacáridos)</i>	20
Figura 2: <i>Estructura de la celulosa</i>	22
Figura 3: <i>Estructura de viscosa a partir de celulosa</i>	23
Figura 4: <i>Pre acondicionamiento y molido de la fibra de banano</i>	31
Figura 5: <i>Hidrólisis ácida</i>	32
Figura 6: <i>Extracción alcalina</i>	32
Figura 7: <i>Blanqueo de celulosa</i>	33
Figura 8: <i>Celulosa seca</i>	33
Figura 9: <i>Diagrama de flujo para la obtención de celulosa</i>	34
Figura 10: <i>Celulosa molida</i>	36
Figura 11: <i>Muestra conectada a una bomba al vacío</i>	36
Figura 12: <i>Rayón Viscosa</i>	37
Figura 13: <i>Eliminación de burbujas</i>	37
Figura 14: <i>Baño ácido</i>	38
Figura 15: <i>Celofán</i>	39
Figura 16: <i>Diagrama de flujo para la obtención de celofán</i>	40
Figura 17: <i>Espectro FTIR de la fibra de banano.</i>	42
Figura 18: <i>Espectro FTIR de la celulosa</i>	44
Figura 19: <i>Espectro FTIR de celofán</i>	45
Figura 20: <i>Espectro FTIR del biopolímero comparado con celofán estándar</i>	47
Figura 21: <i>Máquina de pruebas universal</i>	49

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En el mundo, la contaminación es un problema ambiental de enormes dimensiones, que causa inconvenientes muy graves, cada vez más difíciles de resolver (Domínguez, 2015). En la era del consumismo, el PET (tereftalato de polietileno) es considerado uno de los principales desechos contaminantes, siendo uno de los plásticos más utilizados y perecederos. La presencia del PET en la naturaleza, es ocasión directamente de la mano del hombre, estando derivado del actual estilo de vida.

La aplicación de una nueva tecnología, que permita la obtención de polímeros naturales como almidón, celulosa, glucógeno, quitina, lignina, etc., reducirá de manera drástica el uso de plásticos procedentes de combustibles fósiles.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG), el área de cultivo de banano es de aproximadamente 162.236 hectáreas y 4.473 son los productores de la fruta.

La producción bananera se encuentra mayoritariamente en las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos, correspondiendo don el 41%, 34% y 16% de los productores, respectivamente. La mayor parte de los pequeños productores de banano del país se encuentra en la provincia del Oro con un aproximado del 42%, siendo así los productores principales las provincias de Guayas y Los Ríos (Ministerio de Comercio Exterior, 2017)

De la composición total de la planta de banano, se considera que es consumible el 12% de ésta, teniendo en cuenta que el árbol de banano, además de la fruta, contiene tallos, pseudotallos, hojas y Flores (residuos de cultivos).

Tabla 1
Composición de la planta de banano

Racimo (fruto)	10-20%
Pseudotallo	50-60%
Raquis	3-5%
Flor y Hojas	5-10%

Fuente: (SIAP, 2016)

El pseudotallo es considerado como el principal desecho en la producción de banano, siendo mayormente destinado como abono, pues no ha tenido un notable uso desde el punto de vista industrial. El pseudotallo de banano se considera una madera suave, y está constituido principalmente por almidón, celulosa, hemicelulosa y lignina (Carchi, 2014).

Se han investigado por muchos años estos polímeros y, con ellos, se han creado distintos productos, llegando a la elaboración de plásticos biodegradables o biocompuestos (combinación de polímeros) (Carchi, 2014).

La investigación se centra en la producción de biopolímeros, empleando los componentes concentrados en el pseudotallo de banano, extraídos a través diversos procesos.

Problema

La constante fabricación y empleo de plásticos procedentes del petróleo, han aumentado durante las últimas dos décadas, aproximadamente 500 millones de toneladas anuales. Esto es debido a su bajo costo y sus características físicas químicas que se adaptan a diferentes usos.

De los plásticos producidos anualmente, sólo el 40 % es depositado en contenedores de basura, y menos del 3% son reciclados, provocando una alta contaminación al ambiente, agua y considerables pérdidas de flora y fauna, en

ecosistemas terrestre y marinos (Malathi, 2014)

Las bolsas plásticas utilizadas comúnmente, están compuestas de (PE) o (PP); dos tipos primordiales de estos plásticos, el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE), se consideran no biodegradables. Pueden pasar siglos hasta que este tipo de plástico se descomponga (Müller et al., 2012)

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) advierte que el país acumula en promedio 12.613 toneladas de residuos sólidos por día. De media, un habitante de la zona urbana produce 0,83 kg de residuos al día promedio. De los residuos nacionales, el 44% son desechos inorgánicos, y el 11% pertenece únicamente a plásticos, donde 6,51% corresponde a plástico suave (5.671,28 toneladas diarias) y el 4,45% (821,11 toneladas diarias) son plástico rígido (INEC, 2020)

Justificación

Debido a la creciente contaminación plástica, el desarrollo de polímeros biodegradables es actualmente un área de investigación muy activa. El objetivo es crear nuevos materiales para reemplazar los plásticos convencionales, con otros obtenidos de fuentes naturales renovables, garantizando una mejora del medio ambiente, y un nivel de vida mejor para la comunidad.

A razón de lo anterior, esta investigación tiene el objetivo obtener celulosa, partiendo de los pseudotallos del banano. El uso de estos residuos, como fuente primaria para la obtención de celofán, afianzan los beneficios de la presente investigación, para la obtención de materiales basados en métodos eficientes para el medio ambiente. De este modo, llegar a comprender la eficiencia de la celulosa, y aplacando el uso desmedido de los derivados de petróleo, para la conformación de distintos tipos de plásticos.

Delimitación

La investigación y obtención del biopolímero se realizó en los laboratorios de Ciencias de la Vida, de la Universidad Politécnica Salesiana, en la sede de Cuenca, Ecuador.

Explicación del problema

El problema principal del uso de plástico radica en las características del mismo, lo cual influye en el tiempo de degradación, causando así una grave contaminación ambiental.

En este contexto, una alternativa prometedora para reducir la contaminación plástica son los biopolímeros, como materias primas renovables y de alta disponibilidad; son macromoléculas como el almidón, la celulosa, el quitosano y las proteínas de origen vegetal y animal.

Dada la composición del pseudotallo del banano y su alta disponibilidad, es factible aprovechar su potencial para la creación de biopolímeros, a partir de la celulosa regenerada extraída de la materia prima.

Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Elaborar biopolímero mediante celulosa regenerada (celofán) obtenida de pseudotallos del banano.

1.1.2. Objetivo específico

- Establecer el proceso para la extracción de la celulosa del pseudotallo de banano.

- Definir el proceso para la modificación de la celulosa mediante procedimientos fisicoquímicos para la elaboración del material.
- Determinar las propiedades mecánicas (físicas) del nuevo material.

Fundamentación teórica

1.1.3. Polímeros naturales y sintéticos

1.1.3.1. Polímeros sintéticos

En el transcurso de la Segunda Guerra Mundial, Japón logró detener el abastecimiento de caucho natural, desde Malasia e Indonesia, a los países aliados. Fue en este momento cuando apremiaba encontrar un sustituto al elastómero natural, dando origen al caucho sintético y, con ello, dio comienzo a la industria de los polímeros sintéticos y de los plásticos (Leidenger, 1997)

El proceso químico de polimerización, puede ocasionarse por adición o por condensación, formándose polímeros de cadena lineal, o bien una macromolécula tridimensional. La industria del plástico, emplea diversos métodos de polimerización, tales como: polimerización en masa, en solución, en emulsión y en suspensión (Abigail, 2016).

1.1.3.2. Polímeros naturales

Uno de los productos más importantes de la industria del plástico, son los polímeros naturales. Los polímeros naturales son renovables, ya que, a medida que son

extraídos, la naturaleza los va reponiendo. Una subfamilia de los polímeros naturales son los biopolímeros, los cuales son engendrados por los seres vivos.

Los polímeros naturales son muy abundantes y variados, pudiendo destacar tres grandes grupos: Proteínas, Polisacáridos y Ácidos Nucleicos (Seymour y Carraher, 2002).

- Proteínas Estructurales Colágeno, Queratina, Elastina.
- Funcionales Enzimas, Hormonas
- Polisacáridos Estructurales Celulosa, Quitina
- Ácidos nucleicos ADN y ARN

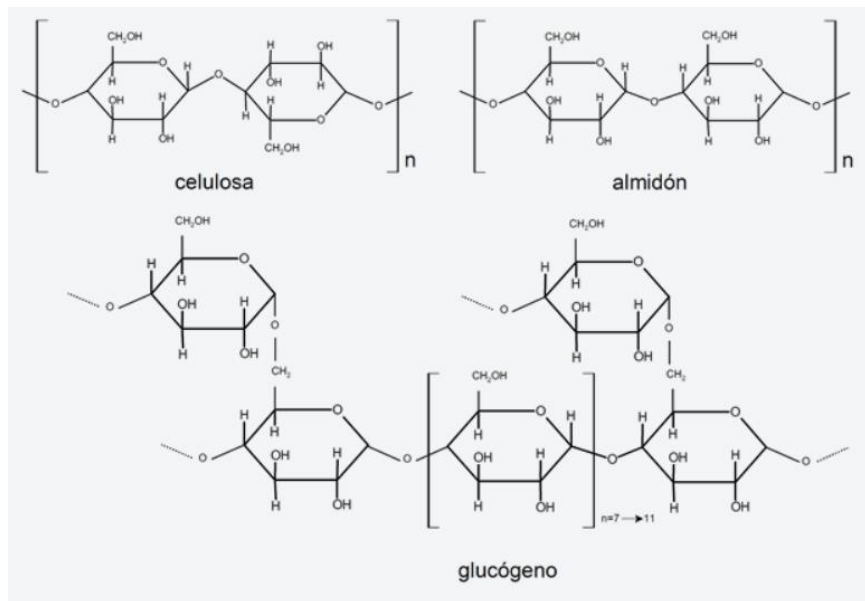
1.1.3.3. Polisacáridos

La unión repetitiva de monosacáridos, a través de enlaces glucosídicos, da lugar a los polisacáridos. Pertenecen a la familia de los glúcidos, y las funciones que cumplen son diversas como, por ejemplo, reservas energéticas y estructurales. Los polisacáridos pueden llegar a tener un elevado peso molecular, dependiendo del número de monosacáridos que estén presentes en la estructura. Dentro de los disacáridos más conocidos, se destaca la sacarosa, lactosa, y la maltosa (Koolman y Röhm, 2004).

De la familia de los polisacáridos, el almidón y la celulosa, son los más importantes; ésta última conformada por la unión de moléculas β -glucopiranosas, a través de enlaces β -1,4-Oglucosídico, llegando a ser una larga cadena polimérica de peso molecular variable, cuya fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n=200$. Es la biomolécula mayoritaria en la tierra, por ser parte de la mayoría de la biomasa (Abigail, 2016).

Figura 1

Compuestos por cadenas de variable complejidad que se componen de múltiples moléculas de azúcar. (Polisacáridos).



Fuente: (Estela, 2022)

1.1.4. Degradación de los biopolímeros plásticos

El proceso mediante el cual un polímero plástico es transformado y deteriorado, como consecuencia de la actuación de enzimas y/o microorganismos como bacterias, hongos y algas, es conocido como biodegradación. Dado que los biopolímeros son biodegradables, los hacen especialmente ventajosos respecto del uso del vidrio y de los metales. Un requisito para que un polímero pueda ser considerado como biodegradable, es que disponga de enlaces intermoleculares de fácil ruptura, mediante la acción de agentes físico-químicos presentes en la naturaleza (Abigail, 2016).

La biodegradación puede ser parcial o total. La biodegradación parcial consiste en que el polímero sufre una modificación desde el punto de vista químico de la estructura y, por ende, la pérdida de ciertas propiedades (decoloración, pérdida de brillo superficial, formación de grietas, superficie pegajosa, erosión superficial y pérdida de resistencia a tracción y alargamiento). En cambio, en la biodegradación total el material, éste es

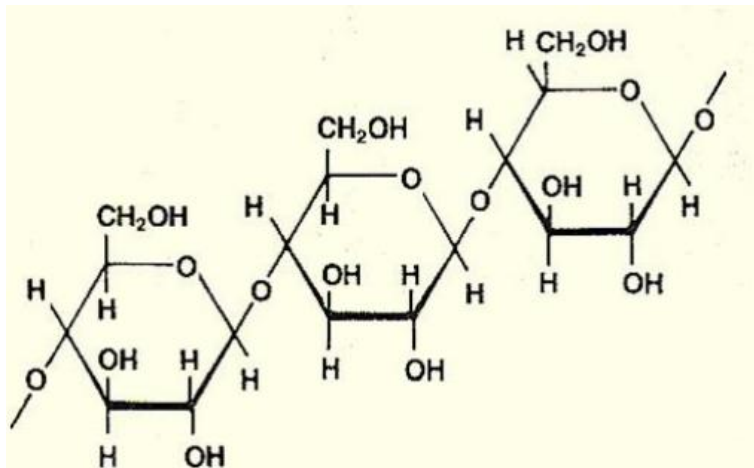
totalmente consumido por microorganismos, produciéndose CO₂ (en condiciones aeróbicas), metano (en condiciones anaeróbicas), agua, sales minerales y biomasa (Abigail, 2016).

1.1.5. Celulosa

La mayoría de las fibras naturales están principalmente compuestas de celulosa, presente en un tercio de los tejidos vegetales, se regeneran mediante la fotosíntesis. Es considerado un polímero natural de fácil acceso. De acuerdo al tipo y el origen de la fibra, así es la composición de ésta, usualmente siendo entre el 60 al 80% de celulosa y hemicelulosa. La microestructura, está conformada por microfibrillas de celulosa, fuertemente unidas por puentes de hidrogeno, que se encuentran en el interior de una matriz de lignina amorfa y hemicelulosa semicristalina (Morán, 2008).

La macromolécula de celulosa, está formada por largas cadenas de unidades D-glucosa unidas por enlaces β (1-4) glucosídicos, los cuales se rompen adicionando agua cuando es sometida a una acción hidrolítica como un hidrólisis ácida, completa o parcial. Ésta contiene tres grupos hidroxilo libre, que son uno primario y dos secundarios, en las posiciones donde la conversión de todos o estos, ocurre la modificación de los grupos hidroxilos, estando en función de éter o esteres alterando altamente las propiedades de la celulosa (Lizcano y Torres, 2010)

Figura 2
Estructura de la celulosa



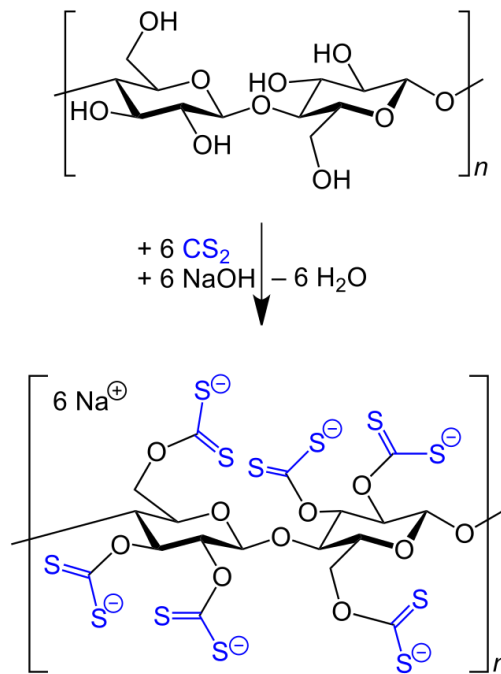
Fuente: (Bioquímica, 2016)

Las cadenas lineales se polimerizan formando fibrillas para, a su vez, polimerizar en microfibrillas, las cuales se orientan en función del citoesqueleto, llegando a conferir una estructura rígida y cristalina. Las microfibrillas de celulosa, formadas por regiones de celulosa amorfa y cristalina, son las principales responsables de las propiedades mecánicas de las fibras naturales (Morán, 2008).

1.1.6. Celofán

El celofán es una lámina delgada, transparente y flexible. Es un polímero natural derivado de la celulosa, utilizada principalmente en la conformación de envoltorios y preservación de objetos de la humedad (Labeaga, 2018).

Figura 3
Estructura de viscosa a partir de celulosa.



Fuente. Wikiwand (2022).

1.1.6.1. Propiedades del Celofán

1.1.6.1.1. Transparencia

Previo al uso del film plástico como envoltorio, existía una gran demanda de materiales, con un bajo costo y transparente de embalaje. Bajo el espectro visible de la luz, el celofán es transparente, permitiendo el paso de alrededor del 70% de la luz ultravioleta, comprendida entre las longitudes de onda de 2900 y 3100 Å. Tras una exposición prolongada a luz ultravioleta, el celofán pierde una pequeña cantidad de su transparencia inicial, haciéndolo especialmente útil para la conservación de los productos envasados a largo plazo (Labeaga, 2018).

1.1.6.1.2. Permeabilidad

El celofán, cuando se encuentra sin tratar, es semipermeable, dándose uso en diversos procedimientos científicos para filtrar. El comportamiento del celofán en ambientes húmedos, cuando ha recibido una capa impermeable de laca, es muy favorable

para la conservación de los productos envueltos. Tiene una muy baja tasa de difusión, con sólo 270 mg de vapor de agua, por metro cuadrado, por hora, y a la temperatura de transición de 100 grados Fahrenheit. Adicionalmente, se ha demostrado que el celofán es una barrera eficaz contra los microorganismos (Labeaga, 2018).

1.1.6.1.3. Fuerza

En el siglo XX se comenzó a usar el celofán, como alternativa al uso de papel para envoltorio. Fue considerado como un envoltorio de mayor calidad que el papel, por su transparencia, su mayor resistencia a la tracción, y una resistencia al estallido, comparable a la del papel de la más alta calidad disponible en la época. El celofán se puede encontrar en espesores comprendidos entre 9/10,000 pulgadas y 7/1,000 centímetros (Labeaga, 2018).

1.1.6.1.4. Birrefringencia

El celofán cuenta con una propiedad óptica llamada birrefringencia. Cuando una lámina de celofán es ubicada entre dos láminas de material polarizante, las moléculas de celofán se comportan como pequeños prismas, emitiendo luz de color cuando la luz blanca pasa a través de ellos. Esta característica, común en las estructuras cristalinas tales como las del cuarzo, ha llevado a que el celofán sea empleado en aplicaciones en las que, al modificar el ángulo y orientación relativa entre el material polarizante y el celofán, se cambia el aspecto de la luz resultante (Labeaga, 2018).

1.1.6.1.5. Propiedades mecánicas

- Alta flexibilidad y brillo

- Transparente
- Elevada resistencia a torsión
- Buen manejo en maquinaria
- Baja permeabilidad al aire y a la grasa

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del proyecto de investigación se establecieron 4 fases principales:

- Primera fase, consta de la recolección y tratamiento de la materia prima
- Segunda fase, se realizó la extracción y caracterización de celulosa mediante una hidrólisis ácida, una extracción alcalina y blanqueamiento
- Tercera fase, consistió en un tratamiento químico de la celulosa extraída para así obtener el material principal del proyecto, el rayón
- Finalmente, se procedió a dosificar para la obtención de películas de biopolímero.

Primera fase

2.1.1. Recolección y tratamiento de la materia prima

Los pseudotallos utilizados para esta investigación, se recolectaron del mercado El Arenal, ubicado en la ciudad de Cuenca (Ecuador). Los mismos fueron trasladados al laboratorio de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, para proceder a realizar la investigación.

2.1.2. Reacondicionamiento de las fibras.

2.1.2.1. Preparación y Secado del Pseudotallo

El pseudotallo fue pelado y cortado en secciones, fue lavado con abundante agua. Después fue separado en capas, cortándose en trozos de 2,5 cm x 2,5 cm

aproximadamente (figura 4), los cuales fueron lavados con agua destilada y secados a 75 °C en una estufa universal memmert, durante 48 horas, hasta obtener las fibras secas (figura 4).

2.1.2.2. Molido de las fibras

Cuando las fibras se encontraban totalmente secas, fueron pasadas a un molino de fibras SM 100 con un tamiz de 4 mm.

Segunda fase

2.1.3. Obtención de celulosa

Se realizó con guía en la técnica de pulpeo (Cazaurang, 1990), modificando parámetros para las fibras de banano, la cual consta de 3 pasos.

2.1.3.1. Hidrólisis ácida suave

La fibra molida de banano se mezcla en una disolución de H₂SO₄ al 0,4% en 1000 ml de agua destilada, durante una hora, con el fin de eliminar componentes diferentes a la celulosa. Posterior a eso se procedió a lavar.

2.1.3.2. Extracción alcalina

La pulpa obtenida de la hidrólisis ácida realizada anteriormente, se la mezcla en un vaso de precipitación 1000 ml capacidad, con una disolución de NaOH al 20 %, con agitación constante durante 1 hora, seguido por un proceso de lavado.

2.1.3.3. Blanqueo

Para el blanqueamiento la pulpa, es tratada con una solución de NaClO al 4% en agitación constante a 90 °C, durante 40 min, hasta que adquirió una coloración amarillenta a blanca

Posteriormente, se realizó lavado hasta llegar a un PH neutro. Una vez que la pulpa estuvo lista, se la colocó en un recipiente de aluminio para secar en una estufa memmert, en un rango de temperatura de 55 a 60 °C durante 24 horas.

2.1.4. Rendimiento

Se determinó el rendimiento de la celulosa mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \text{Rendimiento (\%)} \\ &= \frac{\text{Peso de celulosa seca (g)}}{\text{peso de fira cruda utilizada para la extraccion (g)}} * 100 \end{aligned}$$

Tercera fase

2.1.5. Obtención de rayón.

La transformación viscosa es el proceso de solución-hilatura más habitual. La celulosa, que ha sido obtenida de la pulpa de celulosa, es transformada en xantato de celulosa soluble, mediante alcalinización (19% de NaOH) y reacción posterior con sulfuro de carbono.

La celulosa, se trata con hidróxido de sodio, y luego se mezcla con di sulfuro de carbono para formar xantato de celulosa, que se disuelve luego en más hidróxido de sodio. La viscosa resultante, se extruye en un baño ácido que contiene H₂SO₄, Na₂SO₄ y ZnSO₄ (Sanz, s.f.).

Posteriormente, la regeneración de este derivado en forma de fibra de celulosa, se consigue por precipitación en un baño de coagulación ácido (H₂SO₄), que contiene una sal (ZnSO₄). La sal promueve la coagulación, mientras que el ácido neutraliza el álcali y descompone el xantato (Carrillo, Colom & Cañavate, 2010).

Durante la etapa de formación del xantato, de celulosa se desencadena una reacción secundaria, por reacción parcial entre el sulfuro de carbono y el hidróxido sódico contenido en el álcali de celulosa. Esto produce tritio carbonato de sodio, como producto final de diversas reacciones intermedias, que origina el color anaranjado característico de la viscosa.

Dosificación y Formación del Biopolímero

Fueron realizadas combinaciones de los polímeros de interés, celofán, PVA (alcohol poli vinílico) y agua, para posteriormente elaborar el bioplástico, a condiciones estandarizadas.

La adición de plastificantes al celofán, es utilizado para la mejora de su flexibilidad y procesabilidad. Mediante esta adición, se mejora el proceso de gelatinización, el cual es indispensable para la obtención de biopelículas. Los plastificantes deben ser polares, hidrofóbicos y compatibles con el celofán. Como es el caso del PVA (C₂H₄O)_n, el alcohol polivinílico contiene excelentes propiedades para formar películas. Como emulsionante y como adhesivo, es resistente al aceite, grasas y disolventes, además de contar con una alta resistencia y flexibilidad (Coello, 2017).

Tabla 2

Dosificaciones previas a obtener el biopolímero.

Muestra	Celofán (gr)	Agua destilada	Pva (alcohol polivinílico)	Ácido acético	Temperatura
M1	1	20	1	2	90°C
M2	1	20	1	0	90°C
M3	1	20	2	1	90°C
M4	1	20	1,5	0	90°C

Fuente:

Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Métodos de caracterización

2.1.6. Análisis FTIR

Mediante espectrometría FTIR, de los macro constituyentes de un material, se investigan las posibles vías de degradación de la matriz, y las partículas lignocelulósicas que refuerzan el material. Se evalúa la influencia de distintos métodos de preparación de las muestras.

La espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier espectroscopia (FTIR) se realizó utilizando un espectrofotómetro Thermo Scientific-Smart iTX™ en el rango de frecuencia de 4000 - 400 cm^{-1} .

Análisis de propiedades mecánicas

2.1.7. Determinación de propiedades en tracción

Para la determinación de las propiedades en tracción, se ejecutó en base a la norma ASTM D882. La prueba ASTM D882 se realizó en una máquina de prueba de tracción o máquina de prueba universal, a una velocidad constante de la cruceta. Durante la prueba ASTM D882, las muestras se tensan hasta que fallan. La velocidad de la cruceta depende de la longitud de la muestra, y se puede calcular multiplicando la separación de agarre inicial (longitud de la muestra) por la tasa de deformación inicial en $\text{mm} / \text{mm} \times \text{min}$. La tasa de deformación inicial está condicionada al alargamiento máximo de la muestra a la rotura (Pryor, s.f.).

2.1.8. Análisis de dureza

Se realiza la medición de la dureza con un durómetro Rex Gauge-1600 para materiales no metálicos. Utilizando el protocolo ASTM D2240.ISO 868 (dureza Shore D), se midió en seis secciones del biopolímero, con el siguiente resultado:

Tabla 3
Resultados de dureza en secciones del biopolímero.

Sección del biopolímero	Dureza Shore D
S1	73
S2	69
S3	67
S4	71
S5	70
S6	72

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de la celulosa

Una vez lavadas, cortadas y secadas las fibras del pseudotallo (Figura 4), a una temperatura de 75°C, se molida la fibra seca resultante. Son pesados 50 gr de muestra de fibra molida, y es tratada con una solución ácida de 3,84 ml de H₂SO₄ en 1000 ml de agua destilada, en un balón de aforo, se mezcla y se vierte en la muestra de fibra, dejando reposar por una hora.

Figura 4

Pre acondicionamiento y molido de la fibra de banano.



Fuente:

Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Pasada la hora del baño ácido, se disuelven un balón de aforo, 204,08 gr de NaOH en 1000 ml de agua destilada. Esta solución es vertida en la muestra, dejando reposar por 1 hora (Figura 5).

Pasada la hora, es lavada durante 25 min, con el fin de eliminar residuos, y que quede la pulpa de la celulosa (Figura 6).

Figura 5
Hidrólisis ácida.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

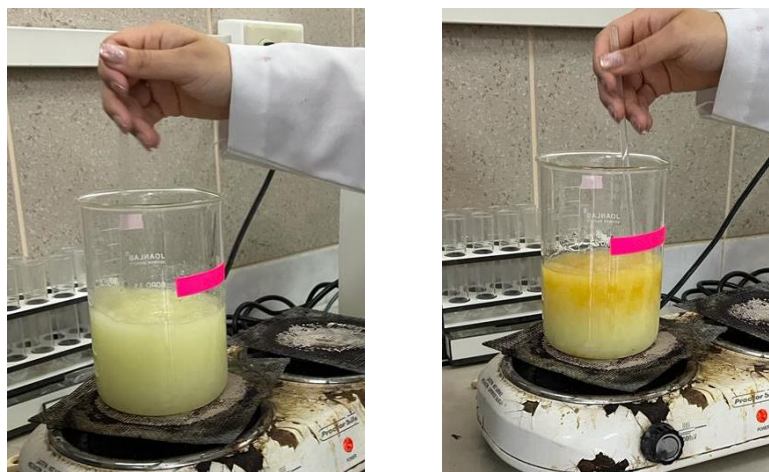
Se procedió a blanquear la pulpa de celulosa con una solución de hipoclorito de sodio, mezclando 400 ml de hipoclorito en 600 ml de agua destilada (Figura 7). Se vertió la solución, y se calentó a una temperatura de 90°C, hasta que la pulpa comenzó a tornarse blanca (Figura 7). Se procedió a lavar, para retirar los residuos de hipoclorito, y se procedió a secar la celulosa, en una estufa a 60 °C por 24 horas (Figura 8).

Figura 6
Extracción alcalina.



Fuente:

Figura 7
Blanqueo de celulosa.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Figura 8
Celulosa seca.



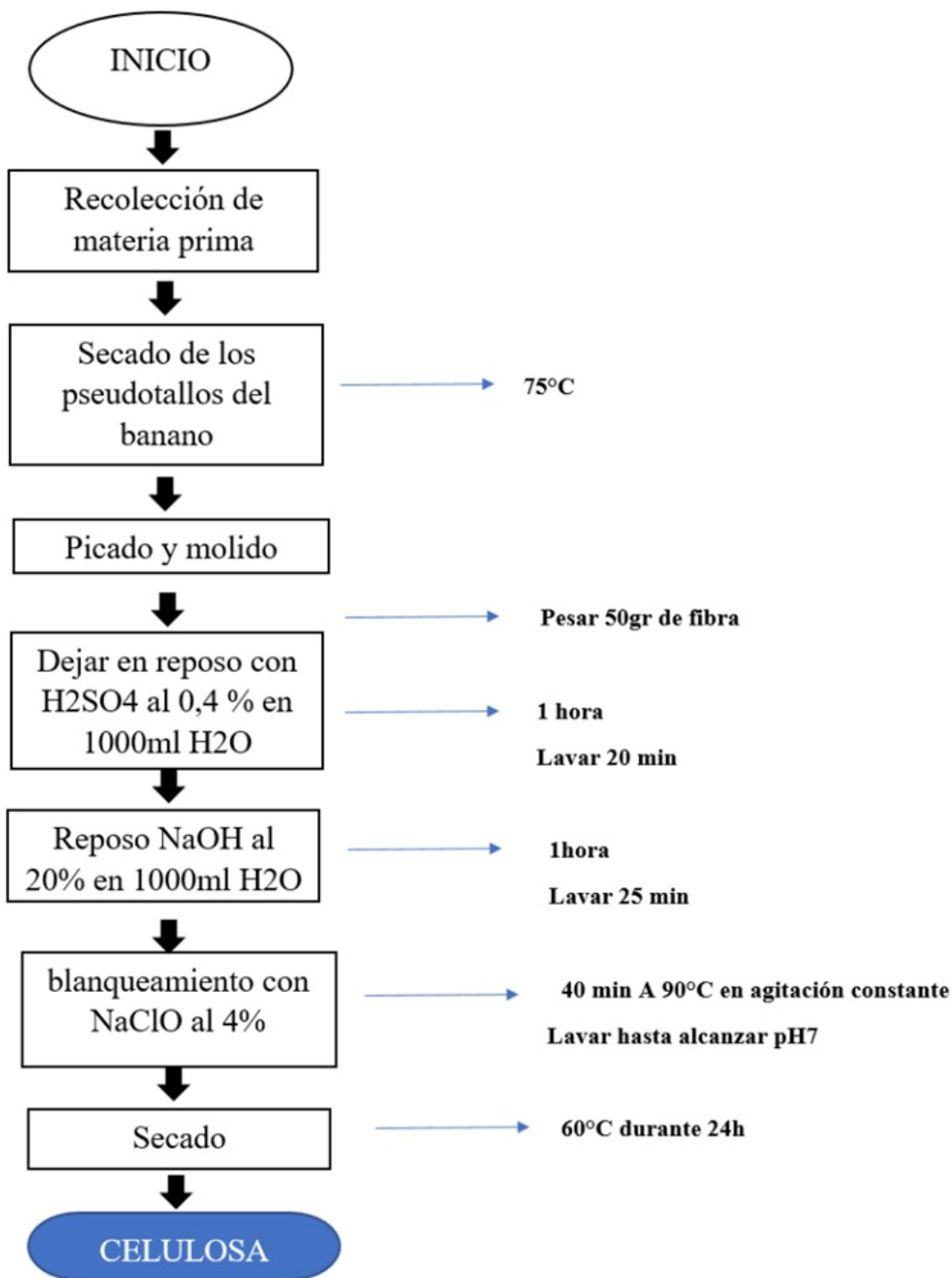
Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

3.1.1. Diagrama de flujo extracción de celulosa

El diagrama de flujo que se presenta a continuación (Figura 9), abarca el proceso para obtención de la celulosa, a partir de fibra de banano.

Figura 9

Diagrama de flujo para la obtención de celulosa.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

3.1.2. Rendimiento de celulosa

Para verificar el rendimiento de la celulosa, se pesaron 100 gr de muestra de fibra de banano seco, el cual siguió el procedimiento (Figura 9), obteniendo un peso final de 36,7 gr de celulosa seca. Por lo cual, el rendimiento fue de:

$$\text{Rendimiento} = \frac{36,7 \text{ gr}}{100 \text{ gr}} * 100 = 36.7\%$$

Canché-Escamilla (2005) y Morán Esperar (2008), mediante un estudio realizado sobre el alcance de la obtención de celulosa de residuos de banano, que pasa por un proceso de cuatro etapas: Hidrólisis ácida, cloración, extracción alcalina y blanqueo; notaron que los cambios en los factores mencionados, afectan el rendimiento de celulosa, presentando rendimientos de 36,1% y 35%, respectivamente.

Mientras que Méndez (2010) menciona en su estudio que se podrían obtener rendimientos de celulosa del 30% al 50%, indicando así que los rendimientos encontrados en este estudio son similares a los ya reportados.

Obtención de celofán

En base en Burroughs y Jangala (1962; 2007) con modificaciones para la celulosa obtenida de banano, se pesaron 20 g de muestra de pulpa de celulosa molida (figura 10), siendo transformada en xantato de celulosa soluble, mediante alcalinización con NaOH al 19%, durante 24 h.

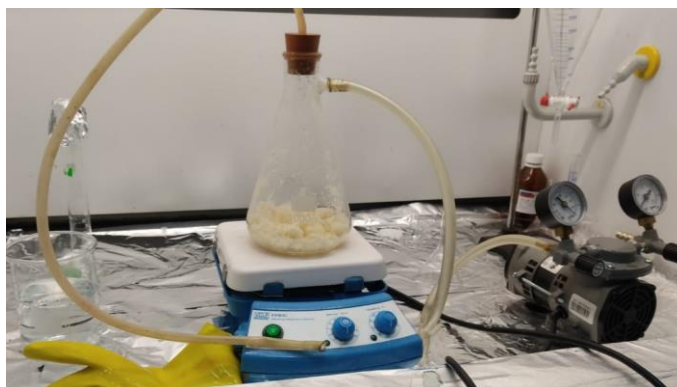
Figura 10
Celulosa molida.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Pasadas las 24 horas, fue transferido el material a un Erlenmeyer, conectado a una bomba de vacío para evitar entrada de aire y fugas del Cs_2 gaseoso (Figura 11). Seguido de esto, se agregó 7,2 ml de una solución de Cs_2 al 45 % en 3,6 ml de agua destilada, durante 2 horas, con agitación constante, tomando una coloración amarillenta. Pasadas las dos horas, se agregó a la muestra 50 ml de una solución de NaOH al 8% durante 24 horas.

Figura 11
Muestra conectada a una bomba al vacío



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Durante la etapa de formación del xantato de celulosa, se desencadenó una reacción secundaria, por reacción parcial entre el sulfuro de carbono y el hidróxido sódico contenido en el álcali de celulosa. Esto produjo tritio carbonato de sodio, como producto final de diversas reacciones intermedias, que originó el color anaranjado, característico de la viscosa.

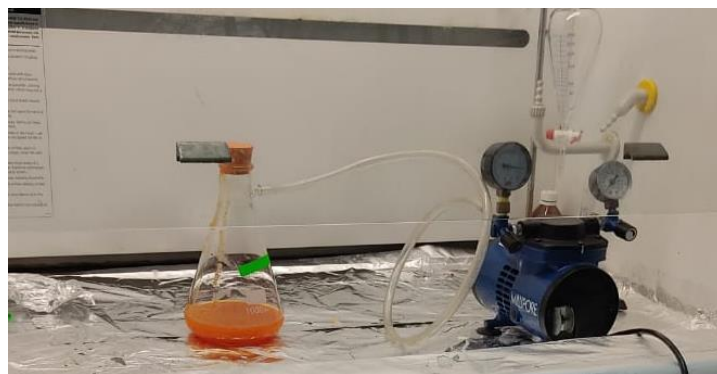
La viscosa resultante se le ajusta la viscosidad con una solución de NaOH al 8 %, la cual fue tamizada por un cedazo, para que quede una jalea (Figura 12). Después de ello, se trasladó la jalea a un Erlenmeyer, junto con una bomba de vacío, para eliminar burbujas (Figura 13).

Figura 12
Rayón Viscosa



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Figura 13
Eliminación de burbujas

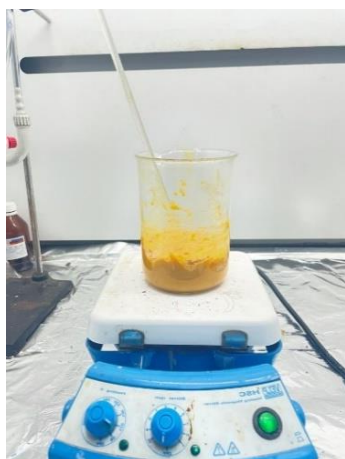


Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

A continuación se extruyó en un baño ácido, con una solución de 10,5% H_2SO_4 , 25,04 MgS_2SO_4 y 1,65% $ZnSO_4$ a $65^\circ C$ durante 15 minutos (Figura 14), con lavado posterior durante 10 minutos.

La sal promueve la coagulación mientras que el ácido neutraliza el álcali y descompone el xantato (Carrillo et al., 2010).

Figura 14
Baño ácido



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

La muestra resultante es mezclada con una solución de H_2SO_4 al 10 % a 65°C , durante 10 minutos, seguido de un lavado por 10 minutos a temperatura ambiente. Para finalizar, la muestra es colocada en una solución de NaOH al 10 %, a 65°C , durante 10 minutos, y lavada durante 15 minutos, hasta retirar los residuos.

Después de esto, ésta es extendida la muestra en unas placas metálicas, y dispuesta a secar en una estufa memmert a 60°C durante 48 horas.

Figura 15
Celofán

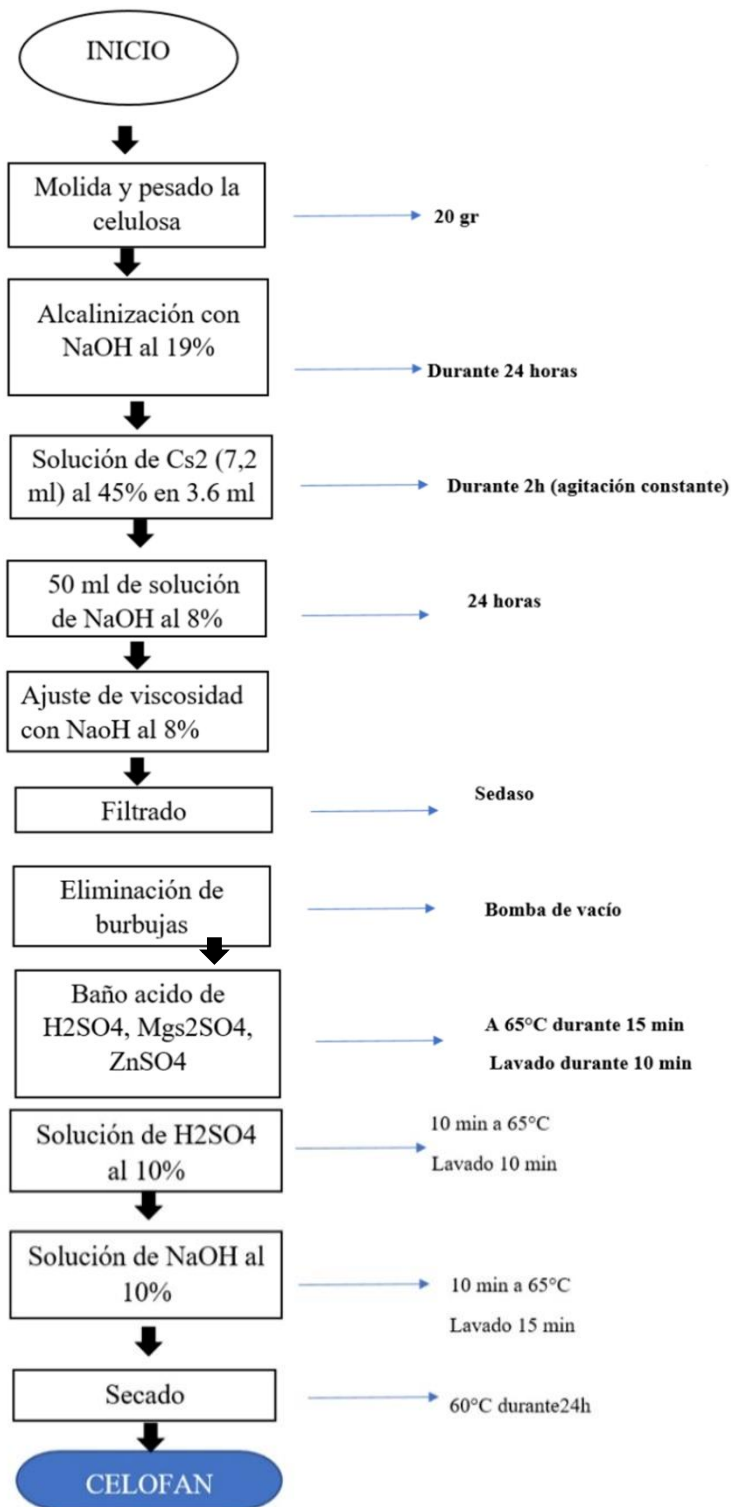


Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

3.1.3. Diagrama de flujo obtención de celofán

Figura 16

Diagrama de flujo para la obtención de celofán.



Fuente:
 Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
 Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Dosificación

Para la dosificación, es utilizada una muestra de celofán molida, y es mezclada con una solución de PVA (alcohol poli vinílico), la cual funciona como matriz polimérica para la creación del Biopolímero (Tabla 4); así mismo, es variada la dosificación con ácido acético, el cual mejora la cristalinidad del biopolímero.

Mediante un análisis FTIR, se pudo observar que el biopolímero con mayor porcentaje de similitud al celofán, era el resultante de la dosificación M4, donde fueron utilizados 1,5 gr de alcohol poli vinílico diluido en agua, previamente calentada, y mezclado 1 gr de muestra de celofán a 90°C, hasta formar una pasta, y esparcirlo en una caja Petri, para formar la película después de 24 h.

Tabla 4

Dosificación para el biopolímero y porcentaje de análisis FTIR.

Muestra	Celofán (gr)	Agua destilada	Pva (alcohol poli vinílico)	Ácido acético	Temperatura	% de similitud en comparación al celofán estándar
M1	1	20	1	2	90°C	58,51%
M2	1	20	1	0	90°C	60,82%
M3	1	20	2	1	90°C	55%
M4	1	20	1,5	0	90°C	61,58%

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Figura 17

Biopolimero obtenido de la dosificación M4.



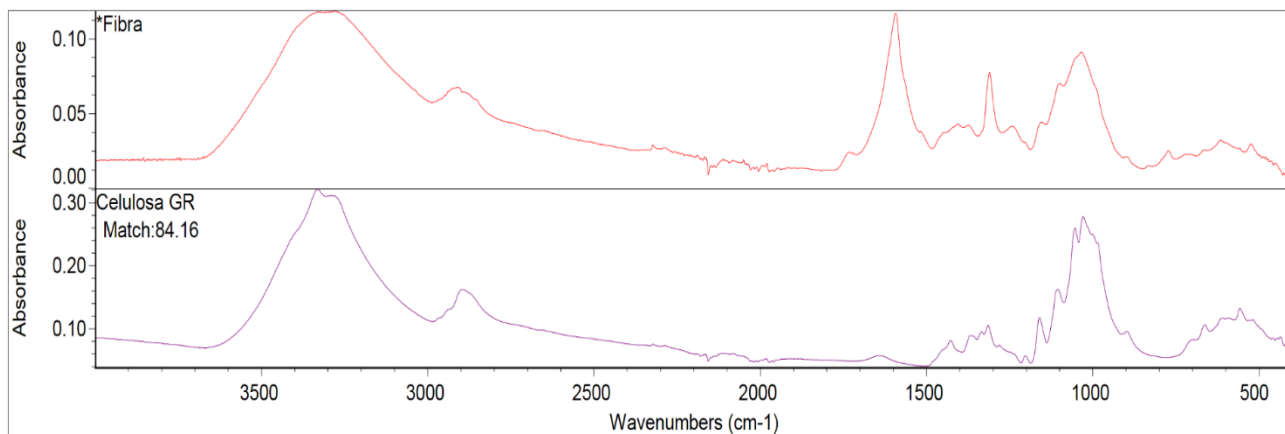
Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Análisis FTIR

3.1.4. Análisis FTIR fibra de banano

Figura 18

Espectro FTIR de la fibra de banano.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Tabla 5
Reporte Picos de la fibra de banano

Region	Peak	Height
1	524.53	0.03
1	615.55	0.03
1	772.04	0.02
1	1033.61	0.09
1	1241.69	0.04
1	1309.63	0.08
1	1405.83	0.04
1	1592.17	0.12
1	2112.75	0.02
1	2322.64	0.03
1	2910.68	0.07
1	3277.61	0.12

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Los espectros FTIR de las muestras (fibra, celulosa, celofán y biopolímero) se registraron en el rango de 600 cm^{-1} a 4000 cm^{-1} .

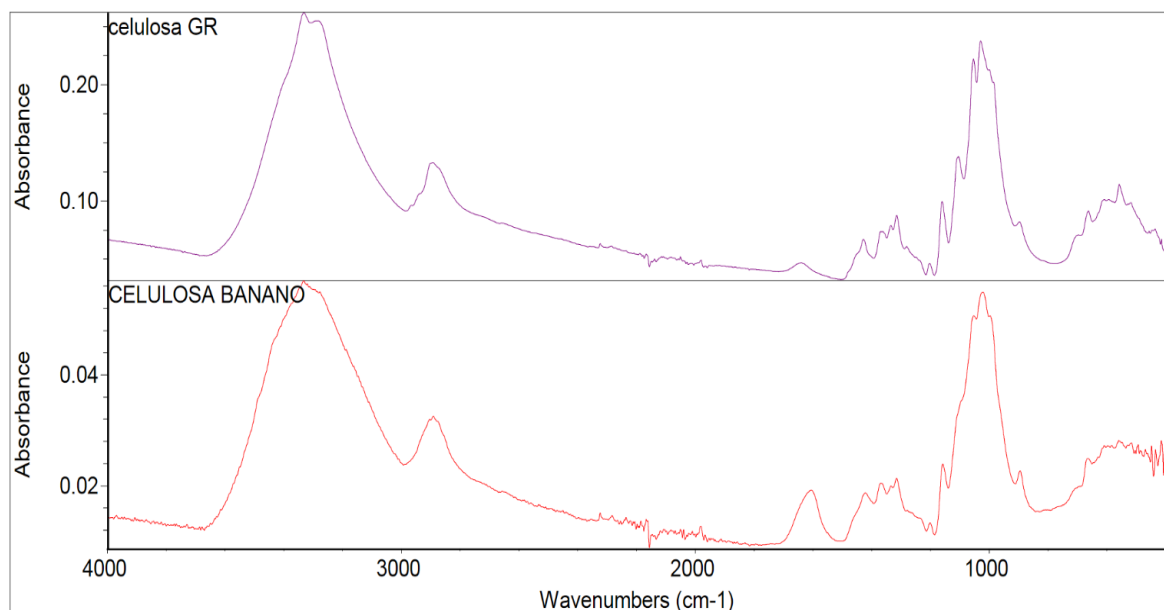
Todas las bandas espectrales de las muestras, expusieron similitud en tres picos bastante pronunciados, identificados dentro de las siguientes regiones: $3000 - 3500\text{ cm}^{-1}$, $2900 - 2950\text{ cm}^{-1}$ y $1000 - 1050\text{ cm}^{-1}$. Dichos picos se atribuyen al estiramiento de O-H, C-H y C-O-C, respectivamente. Estos grupos son característicos de la estructura lignocelulósica de las fibras vegetales, como lo han indicado Baruah et al. (2022) y D'Halluin et al. (2017) en sus investigaciones.

En el espectro de la fibra de banano (Figura 17), las bandas alrededor de 1592 cm^{-1} , 1241 cm^{-1} y 776 cm^{-1} , corresponden al estiramiento C=C en el anillo aromático de la lignina, al estiramiento C–O en la unidad de siringilo y guayacilo (precursores de lignina), respectivamente.

En este mismo espectro se identificaron dos picos intensos a 1592 cm^{-1} y 1309 cm^{-1} , mismos que evidencian una disminución en el espectro de la celulosa. Esto se debe a la disolución los componentes de hemicelulosa y lignina al someter la fibra al proceso químico de aislamiento de celulosa, tal y como lo analizan Tibolla et al. (2018); Mohamad y Jai (2022); y Shi et al., (2019) en sus aportes investigativos.

3.1.5. Análisis FTIR de la celulosa

Figura 19
Espectro FTIR de la celulosa



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Tabla 6
Reporte Picos de la Celulosa

Region	Peak	Height
1	894.33	0.02
1	1020.99	0.05
1	1157.45	0.02
1	1314.82	0.02
1	1367.92	0.02
1	1420.97	0.02
1	1604.79	0.02
1	2890.04	0.03
1	3330.87	0.06

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

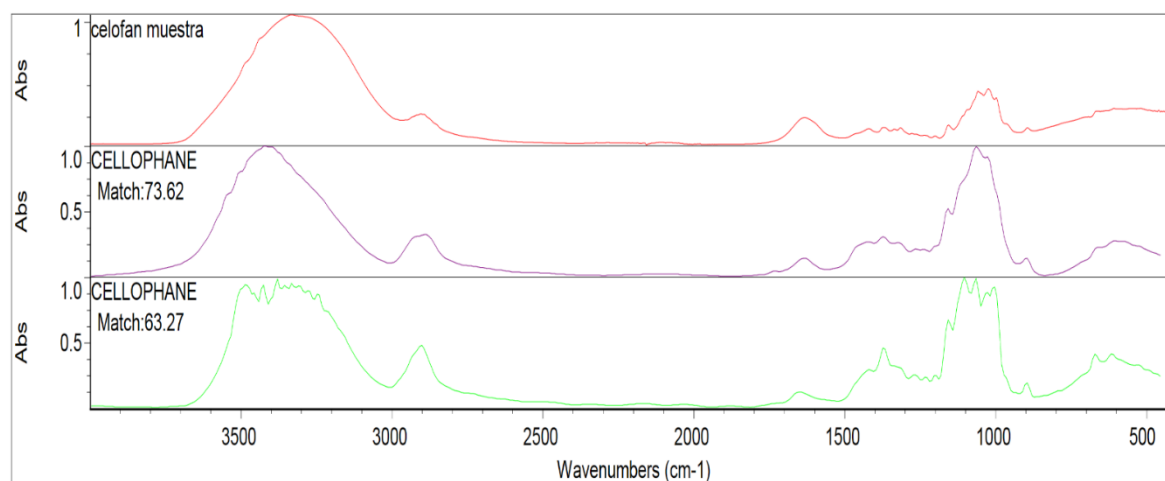
El espectro de la celulosa (Figura 18) se evidenció una similitud del 84,61 % con respecto al espectro de la celulosa estándar, lo que indica que el material obtenido fue efectivamente celulosa. Esto, además, se comprobó al identificar los picos característicos de la celulosa, reconocidos en las bandas espectrales 1020 cm^{-1} , 2990 cm^{-1} y 3330 cm^{-1} . La absorbancia en el pico a 1604 cm^{-1} , correspondiente al estiramiento C-C de los restos funcionales de la lignina. Los picos alrededor de 1420 cm^{-1} y $1314\text{--}1367\text{ cm}^{-1}$, se asignan

a la vibración de flexión CH 2 , la vibración de flexión CH y la vibración esquelética del anillo piranosa CO-C respectivamente, que prevalecen en la celulosa. Finalmente, la banda de absorción a 895 cm^{-1} , está ligada al enlace β -glucosídico de la celulosa. El espectro obtenido es característico de la celulosa, y ha sido comparado con los siguientes autores: Zhang et al. (2016), Baruah et al. (2022), Amaya (2021), Shrestha et al. (2021) y Vanitjinda et al. (2019), obteniendo resultados similares.

3.1.6. Análisis FTIR celofán

Figura 20

Espectro FTIR de celofán



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Tabla 7

Reporte Picos de Celofán

Region	Peak	Height
1	894.33	0.02
1	1020.99	0.05
1	1157.45	0.02
1	1314.82	0.02
1	1367.92	0.02
1	1420.97	0.02
1	1604.79	0.02
1	2890.04	0.03
1	3330.87	0.06

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

El celofán se obtiene a partir de celulosa regenerada, y tiene la misma estructura química de la celulosa. Por lo tanto, las principales asignaciones de bandas FTIR del celofán, son similares a las del polímero de celulosa.

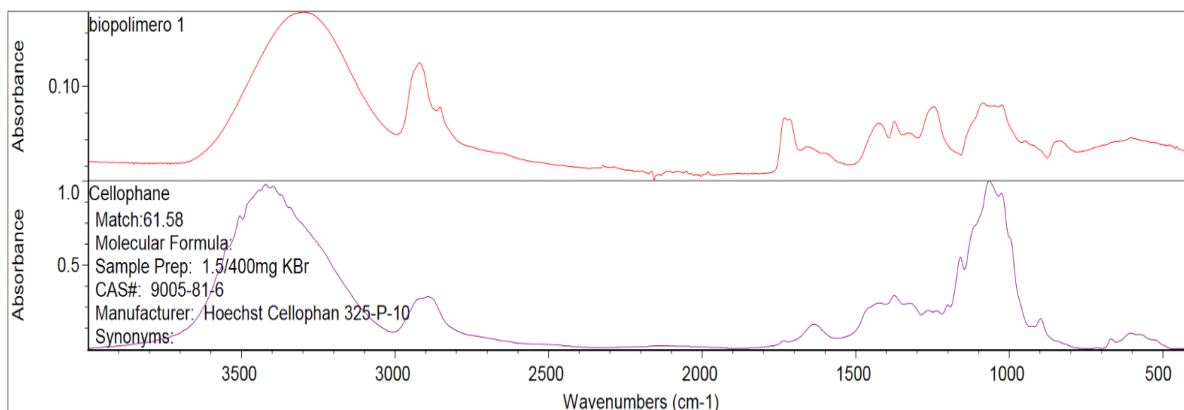
En el espectro del celofán (Figura 19) se evidencian un pico ancho en 3332 cm^{-1} que corresponde al estiramiento de grupos OH; otro en 2904 cm^{-1} asignada al estiramiento CH; una banda en 1632 cm^{-1} atribuida al agua absorbida; un pico en 1370 cm^{-1} ocurrido por la flexión del grupo OH ; una banda fuerte a 1024 cm^{-1} que se atribuye al estiramiento característico C -O -C; y por ultimo una banda en la región de $500 - 850\text{ cm}^{-1}$ que corresponde a la deformación glicosídica C1-H con contribución de vibración anular y flexión OH .

Mediante el equipo FTIR, además se comprobó una similitud de un 73,62% representativa entre el espectro del celofán obtenido en este estudio, y celofán estándar (disponible en las librerías del equipo FTIR). El resultado obtenido en este análisis es similar a las investigaciones realizadas por Da Silva et al. (2015) y Leppanen (2020).

3.1.7. Análisis FTIR del biopolímero

Figura 21

Espectro FTIR del biopolímero comparado con celofán estándar



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Tabla 8

Reporte Picos Biopolímero

Region	Peak	Height
1	603.89	0.05
1	835.02	0.05
1	1085.46	0.08
1	1243.99	0.08
1	1373.53	0.07
1	1424.85	0.06
1	1730.96	0.07
1	2919.89	0.12
1	3298.60	0.17

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

En el espectro FTIR del biopolímero comparado con celofán estándar (Figura 20) se indica una comparación de bandas espectrales entre el celofán y biopolímero. Se demostró que existe un 61,58% de similitud entre las bandas. Se observan diferencias en la estructura química del biopolímero, con la aparición de un pico fuerte en 1730 cm^{-1}

que se asigna al estiramiento de los grupos C = O de PVA (Saadiah et al., 2019), se identificó también un aumento pronunciado en 2904 cm^{-1} corresponde al estiramiento del grupo -CH.

Las bandas en la región de 3298 cm^{-1} se asignan al estiramiento OH del PVA, debido al fuerte enlace de hidrógeno intermolecular/intramolecular que se atribuye a la vibración de estiramiento de los grupos OH del agua unida. Las bandas en 1373 y 1243 cm^{-1} se originan por las vibraciones de balanceo y oscilación -CH, respectivamente. Otro pico fuerte a 1085 cm^{-1} corresponde a C-O -C (enlace éter). Por último, la banda ubicada en 842 cm^{-1} se asigna al modo de balanceo CH₂ de PVP como lo demuestran los autores Ghazali et al. (2022), Abubakar et al. (2022), y Pritam y Sharma (2019) en sus investigaciones.

Determinación de propiedades en tracción

Para determinar las propiedades en tracción, se ejecutó en base a la norma ASTM D882. La prueba ASTM D882 fue realizada con tres probetas de diferentes dimensiones, obtenidas del biopolímero, como se aprecia en la tabla 9. La prueba fue realizada en una máquina de prueba de tracción, o máquina de prueba universal (Figura 21), a una velocidad de $0,5\text{ mm}/\text{min}$ constante de la cruceta .

Tabla 9
Dimensiones de las probetas.

Probeta	Espesor (mm)	Anchura (mm)
P1	0.70	14.89

P2	0.76	16.84
P3	0.94	16.70

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Figura 22
Máquina de pruebas universal.



Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Se obtuvieron diferentes resultados (Anexo A), para fuerza y tensión utilizando una celda de 20 N en la máquina universal para medir los parámetros.

Tabla 10
Resultados de fuerza y tensión.

Probetas	Fuerza (N)	Tensión (N/mm ²)
P1	20.26	2.024
P2	30.375	2.280
P3	13.8	0.8

Fuente:
Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Alarcón y Arroyo (2016), en su investigación de evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros, sin aditivos y con aditivos, obtienen valores de relación elongación / tracción de muestras de biopolímeros con aditivos, que van desde 2,16 hasta 3,90, valores que coinciden con los obtenidos en esta investigación.

Determinación de dureza

Se procede a la toma de la muestra de dureza, con un durómetro Rex Gauge-1600 D, en seis secciones del biopolímero, con medidas 8 cm de largo y 3mm de espesor. Se obtuvieron los diferentes resultados de dureza como se muestra en la tabla 11, arrojando una dureza promedio de 70,33.

Figura 23
Durometro shore D.



Fuente:
 Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
 Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Tabla 11
Dureza Shore D promedio

Sección del biopolímero	Dureza Shore D
S1	73
S2	69
S3	67
S4	71
S5	70
S6	72
Promedio	70,33

Fuente:
 Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
 Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Según Recreus Industries (2021), el valor de dureza obtenido está bajo los estándares de dureza shore D, con un rango de valores que van desde 0 a 100, por lo que el valor de dureza 70,33 se encuentra dentro de la escala duro.

CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto anteriormente, y de acuerdo a los resultados descritos en el presente trabajo de investigación, se concluye lo siguiente:

- Los porcentajes en las soluciones para formar la viscosa fueron:

Tabla 12

Porcentajes en las soluciones, para formación de la viscosa

19%	NaOH
45%	CS ₂
8%	NaOH
10,5%	H ₂ SO ₄
1,65%	ZnSO ₄
25,04%	MgSO ₄
10%	H ₂ SO ₄
10%	NaOH

Fuente:

Evelyn Jacqueline Morocho Bastidas
Dayanna Estefanía Campoverde Auqui

Siguiendo los procedimientos ya descritos en la metodología, se obtuvo un porcentaje de rayón del 100%, lo cual favoreció al biopolímero celofán en la formación de las biopelículas.

- De la elaboración de las películas de celofán, se determinó que la velocidad y la temperatura de secado es fundamental, siendo estos factores que afectan la elasticidad y la estabilidad de la película conforme pasa el tiempo.

Un secado rápido a altas temperaturas de la película, genera un material débil y quebradizo. Si el procedimiento se realiza de forma gradual, la película que se logra es dura y sin cortes. Adicionalmente, el tipo de molde que se utiliza para este procedimiento, debe ser hermético, como por ejemplo el acero, ya que no

permite la retrogradación del celofán.

- Las concentraciones óptimas para la formación del biopolímero, fue la que contenía celofán, PVA y agua en relación masa/volumen 1 : 1,5 : 20, dando un porcentaje de similitud en comparación con el celofán estándar, del 61,58%.
- Mediante los análisis FTIR de las diferentes muestras, se pudo evidenciar las similitudes en los grupos funcionales que contenía la celulosa, el celofán y el biopolímero.
- La fuerza de tensión está dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM para la probeta P2, con dimensiones de 16,84 mm de anchura y 0,94 de espesor, alcanzando una curva máxima promedio de fuerza resultante de 30,37 N, y una tensión de 2.280 N/mm².
- Las propiedades físicas del celofán, como la resistencia a la tensión, la elongación, la suavidad y la rigidez, dependen de la composición que se le dé en el proceso de elaboración viscosa.
- Las biopelículas obtenidas pueden ser utilizadas como envoltorios de diferentes usos, modificando su composición para cada necesidad.
- A pesar de las evidentes ventajas de los biopolímeros frente a los plásticos derivados de petróleo, su uso actual está muy limitado debido a su elevado costo de producción.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda incluir un nuevo método de lavado para el manejo de pulpa de celulosa, para evitar la gran cantidad de pérdida del material.
- Se recomienda realizar pruebas de biodegradabilidad con microorganismos en laboratorio y pruebas anaerobias a las biopelículas.
- Se recomienda realizar futuras investigaciones que optimicen el proceso de extracción de celulosa, para lograr mejor rendimiento y reducción de costos en la producción.
- Se recomienda evaluar más y nuevas dosificaciones, para obtener un biopolímero con mejores características físico químicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abigail, B. (2016). *Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (Colocasia esculenta), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio.*
- Abubakar, B., Ojur D. J., Abdullahi A. A., Mudassir H. Y., Asyiqin S. N., & Shukur, M. F. (2022). Preparation and characterization of solid biopolymer electrolytes based on polyvinyl alcohol/cellulose acetate blend doped with potassium carbonate (K₂CO₃) salt. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 919, 116539. <https://doi.org/10.1016/J.JELECHEM.2022.116539>
- Alarcón, H. A. & Arroyo E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 315-323. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300007&lng=es&tlng=es.
- Amaya, J. (2021). Uso de desechos orgánicos provenientes del sector bananero de la ciudad de Machala para la obtención de biocombustibles. In T. Vilorio & E. Vázquez (Eds.), *Alejando el umbral del desequilibrio ambiental* (pp. 65–92). Abya-Yala.
- Arias P., Dankers C., Liu P., & Pilkauskas P. (2004). *La economía mundial del banano 1985-2002*. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/card/es/c/d6e109da-42e7-522e-a9b9-6d650845d34e/>
- Balam-Cocom, R.J., Duarte-Aranda, S., & Canché-Escamilla, G. (2006). Obtención y caracterización de materiales compuestos de fibras de la "piña" de henequén y

- polipropileno. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5 (1) ,39-44. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62009908>
- Baruah, J., Bardhan, P., Mukherjee, A. K., Deka, R. C., Mandal, M., & Kalita, E. (2022). Integrated pretreatment of banana agrowastes: Structural characterization and enhancement of enzymatic hydrolysis of cellulose obtained from banana peduncle. *International Journal of Biological Macromolecules*, 201, 298–307. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.12.179>
- Burroughs, J. R., & Jangala, P. a. (1962; 2007). *Viscose Spinning Solution and Process. Making Rayon Fiber 1999*.
- Carchi, D. E. (2014). *Aprovechamiento de los residuos agrícolas provenientes del cultivo de banano para obtener nanocelulosa*.
- Carrillo, F., Colom, X., & Cañavate, X. (2010). Properties of Regenerated Cellulose Lyocell Fiber-Reinforced Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29, 359 - 371. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Properties-of-Regenerated-Cellulose-Lyocell-Carrillo-Colom/42c3eb67ef72f5797d96e6ec624cbc8cf325fceb>
- Cazaurang, P. S. (1990). *Cellulose Chemistry and Technology* 24, 629-638
- Coello, J.C. (2017). *Evaluación de polímeros en pseudotallos de Musa acuminata AAA, Musa sapientum ABB y Musa paradisiaca AAB para elaboración de bioplástico*
- Cordeiro, N., Belgacem, M. N., Torres, I. C., & Moura, J. C. (2003). Chemical composition and pulping of banana pseudo-stem. *Industrial Crops and Products*, 19 (2), 147-154.
- Da Silva, B., Silva, M. F., Bittencourt, P. R. S., De Oliveira, D. M. F., Pineda, E. A. G., & Hechenleitner, A. A. W. (2015). Cellophane and filter paper as cellulosic support for silver nanoparticles and its thermal decomposition catalysis.

<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.06.108>

D'Halluin, M., Rull-Barrull, J., Bretel, G., Labrugère, C., Le Grogneq, E., & Felpin, F. X. (2017). Chemically modified cellulose filter paper for heavy metal remediation in water. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 5(2), 1965–1973. https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.6B02768/ASSET/IMAGES/MEDIUM/SC-2016-02768Q_0013.GIF

Domínguez, M. C. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Revista Producción + Limpia*, 10 (1). Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100001

Estela, R. (2022). *Monosacáridos, disacáridos y polisacáridos*. Disponible en: <https://www.ejemplos.co/30-ejemplos-de-monosacaridos-disacaridos-y-polisacaridos/>.

Faraji, M., & Rostami, R. (2020). Polypyrrole-carbon nanotube-cellophane composite plate with homogeneous network structure for flexible symmetric supercapacitor device. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2020 31:19, 31(19), 16849–16858. <https://doi.org/10.1007/S10854-020-04241-6>

Ghazali, N. M., Mazuki, N. F., & Samsudin, A. S. (2022). Characterization of biopolymer Blend-based on alginate and Poly(vinyl Alcohol) as an application for polymer host in polymer electrolyte. *Materials Today: Proceedings*, 48, 849–853. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.02.401>

Gorassini, A., Adami, G., Calvini, P., & Giacomello, A. (2016). ATR-FTIR characterization of old pressure sensitive adhesive tapes in historic papers.

Journal of Cultural Heritage, 21, 775–785.

<https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2016.03.005>

INEC (2020). *Informe de desechos plásticos en Ecuador*.

Kalia, S., Dufresne, A., Mathew, B., Kaith, B. S., Avérous L., Njuguna, J., &

Nassiopoulos E. (2011). Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites: A Review.

Journal of Polymer Science, 2011 (6), 35. Disponible en:

<https://downloads.hindawi.com/journals/ijps/2011/837875.pdf>

Koolman, J., & Röhm, K.H. (2004). *Bioquímica: texto y atlas*. Editorial Panamericana.

<https://books.google.com.ec/books?id=f61Mvd->

[vl60C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=f61Mvd-vl60C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false)

Labeaga A. (2018). *Polímeros biodegradables. Importancia y potencial aplicaciones*.

(Trabajo de fin de máster módulo de química inorgánica e ingeniería química).

Universidad nacional de educación a distancia, España. Disponible en: <http://e->

espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-

[Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf](http://espacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf)

Leidenger, O. (1997). *Procesos Industriales*. Perú. Editorial PUCP.

Leppänen, I., Vikman, M., Harlin, A., & Orelma, H. (2020). Enzymatic Degradation and

Pilot-Scale Composting of Cellulose-Based Films with Different Chemical

Structures. *Journal of Polymers and the Environment*, 28(2), 458–470.

<https://doi.org/10.1007/S10924-019-01621-W/FIGURES/8>

Li, W., Zhang, Y., Li, J., Zhou, Y., Li, R., & Zhou, W. (2015). Characterization of

cellulose from banana pseudo-stem by heterogeneous liquefaction. *Carbohydrate*

Polymers, 132, 513–519. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.06.066>

- Lizcano, C. D. & Torres, D. L. (2010). *Recuperación de celulosa a partir de papel periódico post-consumo para la obtención de derivados de celulosa*.
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2010/133247.pdf>
- Malathi, A. N. (2014). *Biodegradable films for food packaging and application of nanotechnology in biodegradable food packaging*.
- Márquez, A., Cazaurang, N., González, I., & Colunga, P. (1996). *Cellulose extraction from Agave Lechuguilla fibers, Economic Botany. Revista Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Disponible en :
https://www.academia.edu/12155040/Extraction_of_chemical_cellulose_from_the_fibers_of_Agave_lechuguilla_Torr
- Ministerio de Comercio Exterior (2017). *Informe sector bananero Ecuatoriano*.
 Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- Mohamad, N. A. N., & Jai, J. (2022). Response surface methodology for optimization of cellulose extraction from banana stem using NaOH-EDTA for pulp and papermaking. *Heliyon*, 8(3), e09114.
<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E09114>
- Morán, J. (Octubre de 2008). *Extracción de celulosa y obtención de nanocelulosa a partir de fibra sisal - caracterización*. Buenos Aires, Argentina.
https://nanopdf.com/download/extraccion-de-celulosa-y-obtencion-de-nanocelulosa-a-partir_pdf
- Müller, C., Townsend, K., & Matschullat, J. (2012). *Experimental degradation of polymer shopping bags (standard and degradable plastic, and biodegradable) in the gastrointestinal fluids of sea turtles*.

- Pritam, A. A., & Sharma, A. L. (2019). Dielectric relaxations and transport properties parameter analysis of novel blended solid polymer electrolyte for sodium-ion rechargeable batteries. *Journal of Materials Science* 2019 54:9, 54(9), 7131–7155. <https://doi.org/10.1007/S10853-019-03381-3>
- Pryor, C. (s.f.). *The Definitive Guide to ASTM D882 - Tensile Testing of Thin Plastic Film. How to Perform a Tensile Test on Thin Plastic Film to ASTM D882*. Consultado el 5 de abril de 2022: <https://www.instron.com/en/testing-solutions/by-standard/astm/astm-d882>
- Reséndiz, Y. (2015). *Tesis de Maestría en Ciencias en producción agrícola sustentable. Instituto Politécnico Nacional de Mexico. Extracción y caracterización fisicoquímica del pigmento colorido presente en la madera del guamúchil (Pithecellobium dulce). Mexico. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/22300/Tesis%20de%20Yvette%20Resendiz%20Villag%C3%B3mez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Romero, P., Marfisi, S., Oliveros P., Rojas B., & Peña G. (2014). Obtención de celulosa microcristalina a partir de desechos agrícolas del Cambur (*Musa sapientum*). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 286-300. Disponible en: <https://reviberpol.files.wordpress.com/2019/07/2014-romero.pdf>
- Rueda, E., & Hernán E. (2009). *Obtención y caracterización de nanofibras de celulosa a partir de desechos agroindustriales*. Medellín, Colombia. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2582>
- Saadiah, M. A., Zhang, D., Nagao, Y., Muzakir, S. K., & Samsudin, A. S. (2019). Reducing crystallinity on thin film based CMC/PVA hybrid polymer for application as a host in polymer electrolytes. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 511, 201–211. <https://doi.org/10.1016/J.JNONCRY SOL.2018.11.032>

- Sanz, A. (s.f.). *Tecnología de la celulosa. La industria papelera*. Consultado el 5 de abril de 2022: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Seymour R., & Carraher Ch. (2002). *Introducción a la Química de polimeros*. Editorial Reverte.
- Sharma, V., Nani, D., & Kumar, R. (2019). Spectroscopic and chemometric evaluation of cling films used for wrapping of foodstuff and illicit drugs. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 206, 558–568. <https://doi.org/10.1016/J.SAA.2018.08.052>
- Shi, Z., Xu, G., Deng, J., Dong, M., Murugadoss, V., Liu, C., Shao, Q., Wu, S., & Guo, Z. (2019). Structural characterization of lignin from *D. sinicus* by FTIR and NMR techniques. *Http://Mc.Manuscriptcentral.Com/Tgcl*, 12(3), 235–243. <https://doi.org/10.1080/17518253.2019.1627428>
- Shrestha, P., Sadiq, M. B., & Anal, A. K. (2021). Development of antibacterial biocomposites reinforced with cellulose nanocrystals derived from banana pseudostem. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2, 100112. <https://doi.org/10.1016/J.CARPTA.2021.100112>
- SIAP (2016). *Atlas Agroalimentario 2016*. SAGARPA. Disponible en: http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016
- Singh P., & Pandey A. (2009). *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation. Utilisation of Agro-Residues*. Editorial Springer. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-1-4020-9942-7%2F1.pdf>
- Tibolla, H., Pelissari, F. M., Martins, J. T., Vicente, A. A., & Menegalli, F. C. (2018). Cellulose nanofibers produced from banana peel by chemical and mechanical

- treatments: Characterization and cytotoxicity assessment. *Food Hydrocolloids*, 75, 192–201. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.08.027>
- Vanitjinda, G., Nimchua, T., & Sukyai, P. (2019). Effect of xylanase-assisted pretreatment on the properties of cellulose and regenerated cellulose films from sugarcane bagasse. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 503–516. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.10.191>
- Zhang, K., Sun, P., Liu, H., Shang, S., Song, J., & Wang, D. (2016). Extraction and comparison of carboxylated cellulose nanocrystals from bleached sugarcane bagasse pulp using two different oxidation methods. *Carbohydrate Polymers*, 138, 237–243. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2015.11.038>

APENDICE

APENDICE A

FIGURA 1A. Fuerza y desplazamiento de la probeta P1.

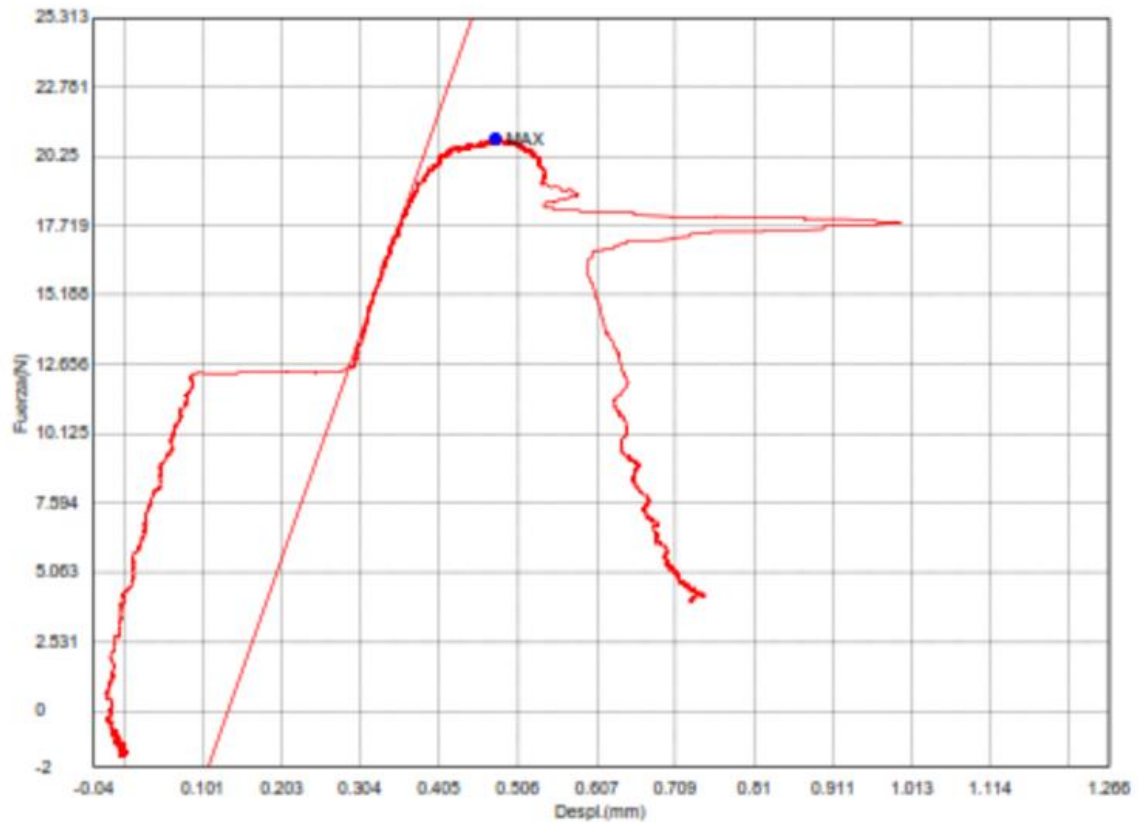


FIGURA 2A. Deformación y tensión de la probeta P1.

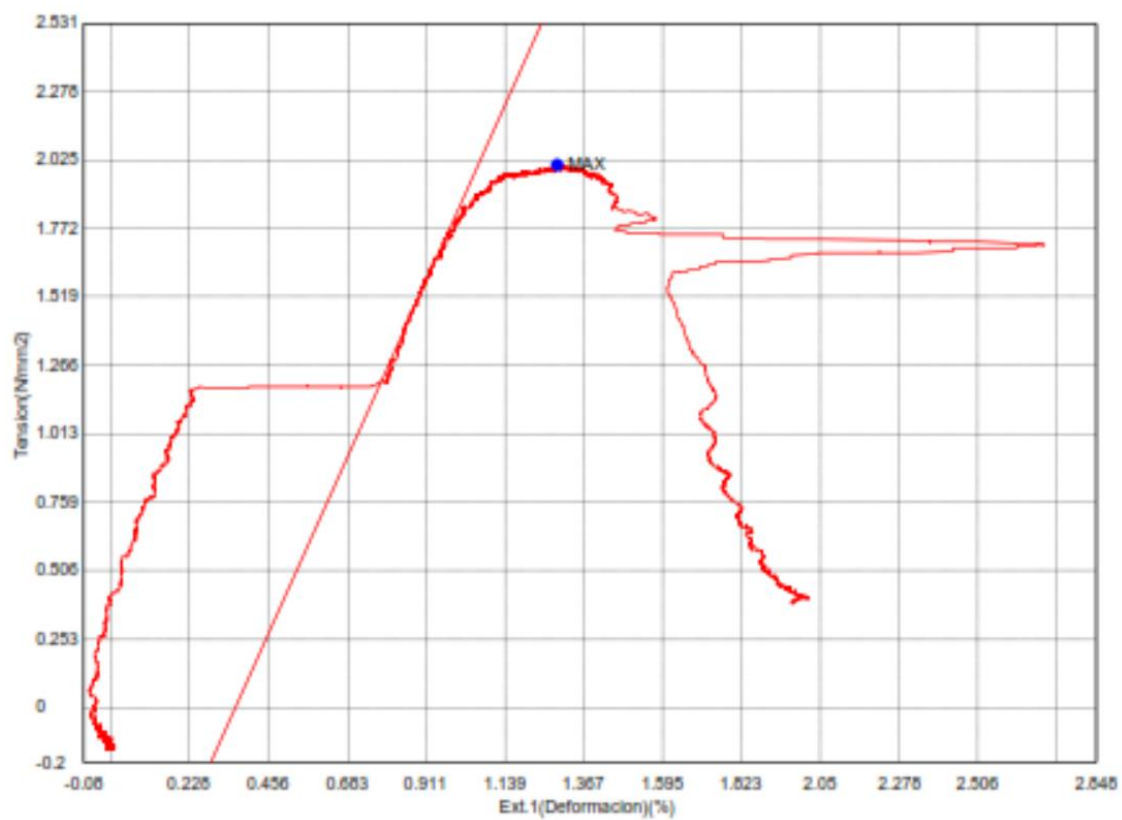


FIGURA 3A. Fuerza y desplazamiento de la probeta P2.

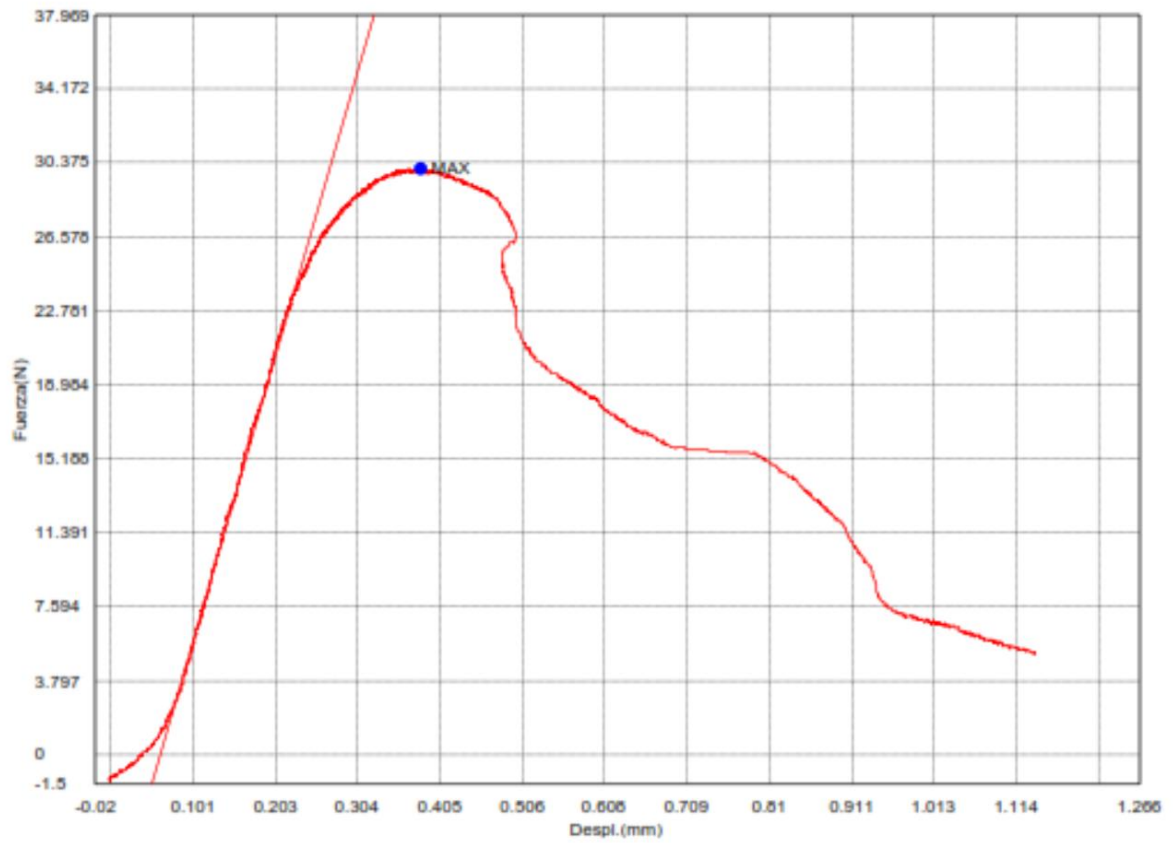


FIGURA 4A. Tension y deformacion de la probeta P2.

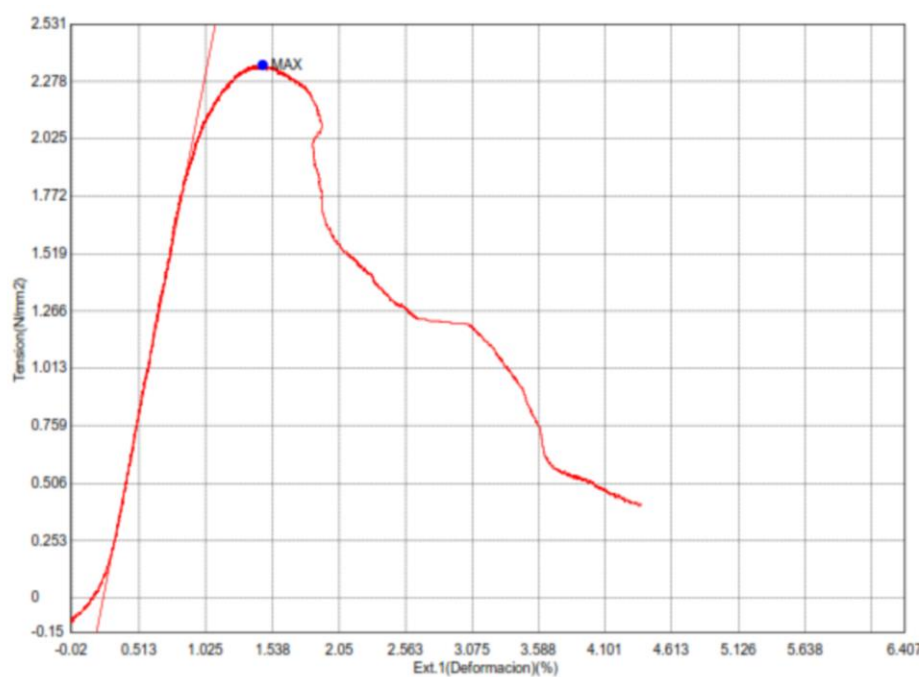


FIGURA 5A. Fuerza y desplazamiento de la probeta P3.

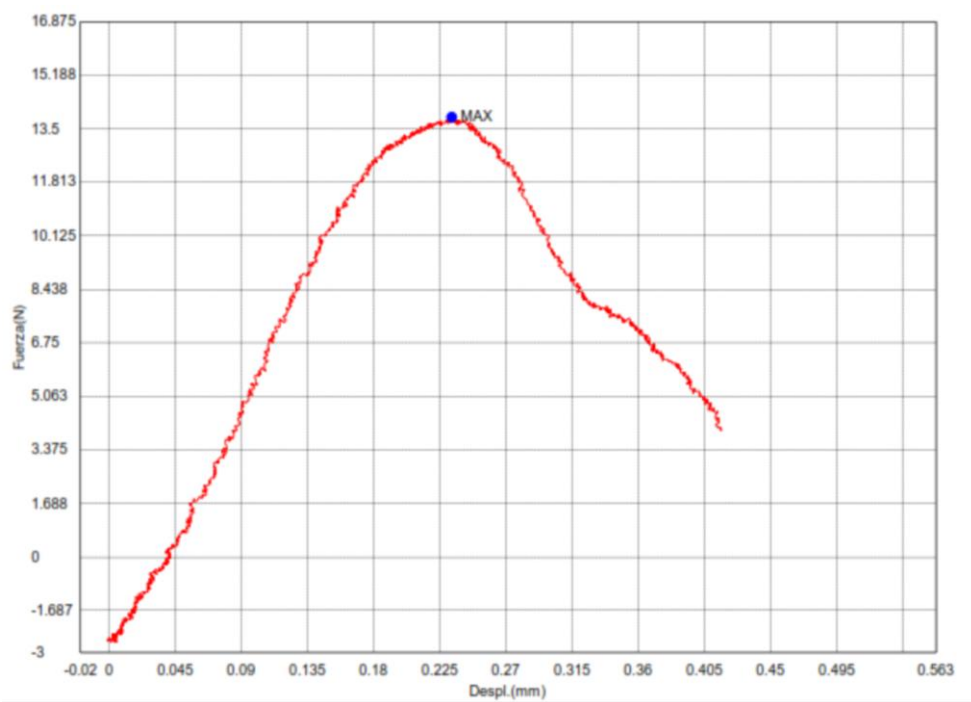
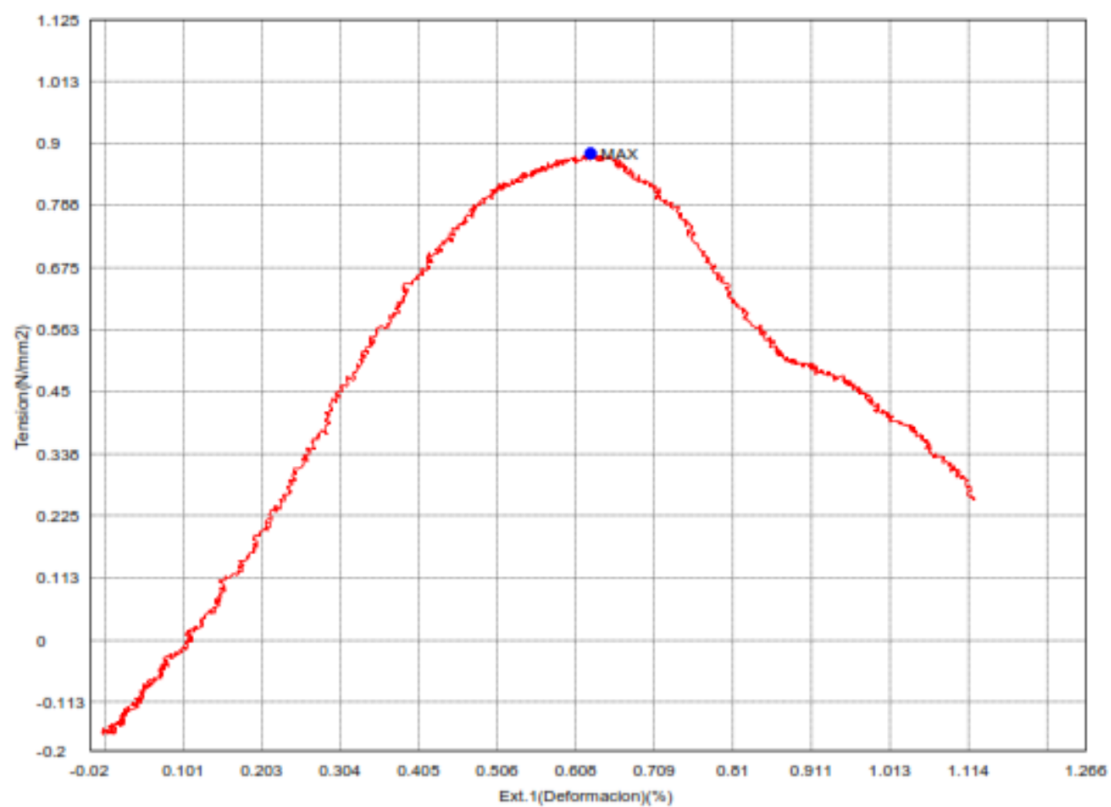


FIGURA 6A. Tension y deformacion de la probeta P3.



APENDICE B

FIGURA 1B. Dosificaciones elaboradas.



M2



M3



M4



