



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS  
DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE  
DIFERENTES FORMULACIONES**

**MACAS CORDOVA MAYELI LIZBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**QUIZHPI MALDONADO STEPHANY MICHELLE  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y  
ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES**

**MACAS CORDOVA MAYELI LIZBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**QUIZHPI MALDONADO STEPHANY MICHELLE  
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y  
ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES**

**MACAS CORDOVA MAYELI LIZBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**QUIZHPI MALDONADO STEPHANY MICHELLE  
INGENIERA QUIMICA**

**GRANDA MOROCHO OFELIA ALEXANDRA**

**MACHALA  
2024**

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE BIOPLEICULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

*por Mayeli Macas*

---

**Fecha de entrega:** 12-ago-2024 10:24p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2431349147

**Nombre del archivo:** UIS\_DE\_BANANO\_Y\_ZEOLITA\_A\_PARTIR\_DE\_DIFERENTES\_FORMULACIONES.pdf  
(935.74K)

**Total de palabras:** 13067

**Total de caracteres:** 68076

# EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE BIOPLEICULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://repository.uamerica.edu.co">repository.uamerica.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.uta.edu.ec">repositorio.uta.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://dspace.unach.edu.ec">dspace.unach.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://oldri.ues.edu.sv">oldri.ues.edu.sv</a> Fuente de Internet	<1%

9	<a href="http://acvenisproh.com">acvenisproh.com</a> Fuente de Internet	<1 %
10	<a href="http://repository.upb.edu.co">repository.upb.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Técnica de Machala Trabajo del estudiante	<1 %
12	R A García-León, W Quintero-Quintero, E Espinel-Blanco. "Technological characterization of Colombian clay during the stages of the production process", Journal of Physics: Conference Series, 2019 Publicación	<1 %
13	<a href="http://biblat.unam.mx">biblat.unam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://www.investigarmqr.com">www.investigarmqr.com</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.uea.edu.ec">repositorio.uea.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://scioteca.caf.com">scioteca.caf.com</a> Fuente de Internet	<1 %

19	<b>tesis.ipn.mx</b> Fuente de Internet	<1 %
20	<b>issuu.com</b> Fuente de Internet	<1 %
21	<b>ojs.unemi.edu.ec</b> Fuente de Internet	<1 %
22	<b>repositorio.utmachala.edu.ec</b> Fuente de Internet	<1 %
23	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
24	<b>repositorio.itm.edu.co</b> Fuente de Internet	<1 %
25	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<1 %
26	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<1 %
27	<b>tip.zaragoza.unam.mx</b> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas      Activo  
 Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 15 words

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

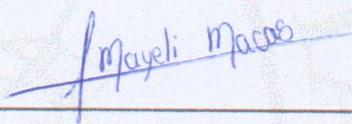
Las que suscriben, MACAS CORDOVA MAYELI LIZBETH y QUIZHPI MALDONADO STEPHANY MICHELLE, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

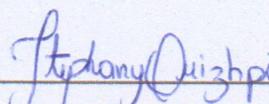
Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

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



MACAS CORDOVA MAYELI LIZBETH

0750428104



QUIZHPI MALDONADO STEPHANY MICHELLE

0706811965

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y constante apoyo a lo largo de mi carrera universitaria. Su ejemplo de perseverancia y dedicación han sido mi mayor fuente de inspiración. A mi querida familia, por su apoyo inquebrantable, comprensión y aliento a lo largo de este emocionante viaje académico. Cada logro alcanzado en este trabajo es también suyo, por haberme inspirado y motivado a perseguir mis sueños con determinación. Agradezco profundamente por ser mi roca, mi fuente de inspiración y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

Mayeli Lizbeth Macas Cordova

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, ya que con su amor y constante apoyo han sido el pilar fundamental de cada éxito a lo largo de mi vida. A ustedes, les debo cada uno de los valores que me han sido inculcados y la determinación para perseguir cada uno de mis sueños con pasión y sobre todo con mucha dedicación. A mis queridos hermanos, por ser mi fuente de inspiración a lo largo de todo este periodo académico. Este logro también es vuestro, por ser parte primordial de mi historia, de mi vida y mi motivo para ser mejor cada día.

Stephany Michelle Quizhpi Maldonado

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, mi sincero agradecimiento es a Dios por ser mi protector, mi educador y darme la dicha de culminar esta etapa tan valiosa y significativa como lo es mi carrera universitaria.

Mi infinito agradecimiento a mi tutora de tesis la Ing. Ofelia Granda cuya dedicación, sabiduría y apoyo incondicional han sido una fuente constante de inspiración. Sus consejos expertos y retroalimentación constructiva han sido cruciales para la culminación de este proyecto académico.

Finalmente, agradezco a mi familia porque con su amor infinito y constante aliento a lo largo de mi carrera académica. Su apoyo inquebrantable ha sido fundamental para alcanzar este logro.

Mayeli Lizbeth Macas Cordova

Primeramente, quiero empezar agradeciendo profundamente a Dios por ser mi guía y fortaleza en cada momento.

Mi agradecimiento infinito a todas las personas que han aportado de diversas maneras en la realización de este trabajo de titulación. De manera especial mi más sincero agradecimiento a mi tutora por su orientación, paciencia y apoyo a lo largo de este trayecto.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a mi familia. Su amor y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental para alcanzar cada una de mis metas.

A cada uno de ustedes, mis más sinceros agradecimientos por haber sido parte esencial de este importante logro en mi vida académica.

Stephany Michelle Quizhpi Maldonado

## RESUMEN

Dada la gran incidencia que tienen los productos plásticos en la vida del ser humano, se ha propuestos desarrollar una biopelícula con celulosa de raquis de banano el cual es un desecho agrícola muy abundante en la Capital Bananera del Mundo y zeolita clinoptilolita la misma que es un mineral abundante en la superficie terrestre, de esta manera se busca darle un valor agregado a estos residuos agrarios y a su vez presentar una nueva alternativa al plástico sintético.

La muestra utilizada de celulosa de raquis de banano fue obtenida en el laboratorio de la Facultad de ciencias químicas y de la salud de la Universidad Técnica de Machala y la zeolita clinoptilolita fue comercialmente adquirida en Guayaquil.

Para la obtención de la celulosa de raquis de banano se aplicó el método alcalino, posteriormente se le realizó la caracterización respectiva dándonos resultados favorables con respecto a otras fuentes bibliográficas.

Las biopelículas fueron obtenidas con el método casting, mientras que su evaluación con respecto a las propiedades mecánicas se dio en el laboratorio LenMav.

Para la formulación de las biopelículas se realizaron cuatro tratamientos A1B1, A2B1, A1B2, A2B2, en la cual sus variables de estudio fueron el % de celulosa (1 – 1.3) y el % de zeolita (0.2 - 0.5). Los tratamientos A1B1 y A2B1 presentan un buen % de elongación con un 6.65% y los tratamientos A1B2 y A2B2 presentan mejor módulo de elasticidad con un 11.90 MPa. No obstante, ninguno de estos tratamientos presentó diferencia en su resistencia a la tracción. Todos los tratamientos fueron analizados bajo las normas nacionales como la INEN 2290 (2015) para el % de elongación y resistencia a la tracción y la INEN 2635:2012 para el módulo de elasticidad.

**PALABRAS CLAVES:** Biopelículas, celulosa, propiedades, raquis, zeolita,

## ABSTRACT

Given the great incidence that plastic products have in human life, it has been proposed to develop a biofilm with cellulose from banana rachis, which is a very abundant agricultural waste in the Banana Capital of the World, and clinoptilolite zeolite, which is an abundant mineral on the earth's surface, thus seeking to give added value to these agricultural wastes and at the same time present a new alternative to synthetic plastic.

The sample of banana rachis cellulose used was obtained from the laboratory of the Faculty of Chemical and Health Sciences of the Technical University of Machala and the clinoptilolite zeolite was commercially acquired in Guayaquil.

To obtain cellulose from banana rachis, the alkaline method was applied, and then the respective characterization was carried out, giving us favorable results compared to other bibliographic sources.

The biofilms were obtained by the casting method, while their evaluation with respect to mechanical properties was carried out in the LenMav laboratory.

For the formulation of the biofilms, four treatments A1B1, A2B1, A1B2, A2B2 were carried out, in which the study variables were the % of cellulose (1 - 1.3) and the % of zeolite (0.2 - 0.5). Treatments A1B1 and A2B1 presented a good elongation % with 6.65% and treatments A1B2 and A2B2 presented better modulus of elasticity with 11.90 MPa. However, none of these treatments showed any difference in their tensile strength. All treatments were analyzed under different national standards such as INEN 2290 (2015) for % elongation and tensile strength and INEN 2635:2012 for modulus of elasticity.

**KEY WORDS:** Biofilms, cellulose, properties, rachis, zeolite,

## INDICE

	<b>Pág</b>
DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
INDICE.....	6
INTRODUCCIÓN .....	12
OBJETIVOS .....	13
Objetivo General .....	13
Objetivos Específicos .....	13
1. MARCO TEÓRICO.....	14
1.1 Antecedentes .....	14
1.1.1 Contaminación ambiental por los plásticos .....	14
1.1.2 Contaminación ambiental por raquis de banano .....	14
1.1.3 Aprovechamiento del raquis de banano .....	15
1.2 Biopelículas .....	16
1.2.1 Características de las biopelículas .....	17
1.2.2 Funciones de las biopelículas .....	17
1.2.3 Componentes de una biopelícula .....	17
1.2.4 Propiedades mecánicas de las biopelículas .....	23
1.3 Celulosa .....	23
1.3.1 Propiedades.....	24
1.3.2 Tipos de celulosa .....	24
1.3.3 Celulosa de raquis de banano.....	25
1.4 Zeolita .....	27
1.4.1 Propiedades.....	27

1.4.2	Tipos de zeolita.....	28
1.4.3	Composición química.....	28
1.4.4	Zeolita natural: La clinoptilolita.....	29
1.4.5	Aplicación de las zeolitas naturales.....	29
1.5	Técnicas de elaboración de biopelículas .....	30
1.5.1	Método casting .....	30
1.5.2	Método coater.....	30
1.5.3	Método electrospinning.....	30
2.	METODOLOGÍA.....	31
2.1	Tipo de investigación.....	31
2.2	Diseño de la investigación .....	31
2.2.1	Ubicación del estudio.....	31
2.2.2	Población de estudio, tamaño de muestra. ....	32
2.2.3	Materiales, equipos y reactivos.....	32
2.2.4	Formulación de las biopelículas .....	33
2.2.5	Descripción del método de obtención de las biopelículas. ....	33
2.2.6	Diagrama de flujo.....	34
2.3	Procesamiento de datos.....	35
2.4	Estudio de las variables dependientes e independientes.....	35
2.4.1	Variables Independientes.....	35
2.4.2	Variables dependientes.....	36
2.5	Método .....	36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	37
3.1	Análisis de celulosa de raquis de banano.....	37
3.1.1	Difracción de Rayos-X (XRD).....	37
3.1.2	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).. ....	38
3.1.3	Fluorescencia de Rayos X (FRX). ....	39
3.2	Condiciones óptimas para la formulación de biopelículas.....	40
3.3	Propiedades mecánicas de las biopelículas .....	44

3.3.1	Porcentaje de Elongación.....	45
3.3.2	Resistencia a la tracción.....	47
3.3.3	Módulo de Elasticidad.....	49
3.3.4	Espesor.....	51
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
4.1	Conclusiones.....	52
4.2	Recomendaciones.....	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	54
	ANEXOS.....	64

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág</b>
<b>Tabla 1.</b> Composición físico-química del almidón de yuca .....	22
<b>Tabla 2.</b> Composición del raquis de banano .....	26
<b>Tabla 3.</b> Composición química de la zeolita natural .....	28
<b>Tabla 4.</b> Materiales, equipos y reactivos .....	32
<b>Tabla 5.</b> Formulación de las biopelículas .....	33
<b>Tabla 6.</b> Diseño Experimental .....	35
<b>Tabla 7.</b> Formulación de las biopelículas a base de celulosa de raquis de banano y zeolita.....	35
<b>Tabla 8.</b> Estudio de variables .....	36
<b>Tabla 9.</b> Índice de cristalinidad de la celulosa de raquis de banano .....	38
<b>Tabla 10.</b> Tamaño del cristal.....	38
<b>Tabla 11.</b> FRX de celulosa de raquis de banano.....	39
<b>Tabla 12.</b> FRX de elementos de minería en celulosa de raquis de banano.....	40
<b>Tabla 13.</b> Pruebas preliminares de la formulación de las biopelículas .....	41
<b>Tabla 14.</b> Formulación óptima de las biopelículas de celulosa de raquis de banano y zeolita clinoptilolita .....	44
<b>Tabla 15.</b> Propiedades mecánicas de las biopelículas .....	44
<b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza para % de Elongación.....	45
<b>Tabla 17.</b> Comparación del %Zeolita utilizando el método de Tukey .....	45
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza de la resistencia a la tracción.....	47
<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza de Módulo de elasticidad .....	49
<b>Tabla 20.</b> Comparación del módulo de elasticidad utilizando el método de Tukey .....	50
<b>Tabla 21.</b> Espesor de cada tratamiento estudiado .....	51

## LISTA DE FIGURA

	<b>Pág</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura del alcohol polivinílico .....	18
<b>Figura 2.</b> Estructura del Glicerol .....	19
<b>Figura 3.</b> Amilosa – Estructura química .....	20
<b>Figura 4.</b> Estructura de la amilopectina.....	20
<b>Figura 5.</b> Proceso de gelatinización del almidón.....	21
<b>Figura 6.</b> Comportamiento del almidón antes, durante y después de la gelatinización	22
<b>Figura 7.</b> Estructura de la celulosa .....	24
<b>Figura 8.</b> Partes de la planta de banano .....	25
<b>Figura 9.</b> Estructura tridimensional de la zeolita .....	27
<b>Figura 10.</b> Estructura de la zeolita clinoptiloita.....	29
<b>Figura 11.</b> Esquema del método casting.....	30
<b>Figura 12.</b> Ubicación del área de estudio.....	31
<b>Figura 13.</b> Diagrama de flujo de la elaboración de biopelículas .....	34
<b>Figura 14.</b> Difractograma de la celulosa de raquis de banano .....	37
<b>Figura 15.</b> Espectro de FT-IR de la celulosa de raquis de banano.....	39
<b>Figura 16.</b> Porcentaje de Elongación de cada tratamiento.....	46
<b>Figura 17.</b> Resistencia a la tracción de cada tratamiento.....	48
<b>Figura 18.</b> Módulo de elasticidad de cada tratamiento .....	50

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág</b>
<b>Anexo 1.</b> Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2635:2012 .....	64
<b>Anexo 2.</b> Elaboración de las biopelículas .....	65
<b>Anexo 3.</b> Análisis de laboratorio .....	65
<b>Anexo 4.</b> Resultado de análisis de laboratorio .....	66

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, mediante diversas investigaciones y datos provenientes por la Sociedad Nacional de Industrias, en el 2017 la fabricación de plásticos a nivel mundial logró alcanzar los 438 millones de toneladas, esto representó un aumento de 3,8% a las cifras propuestas en el 2016. En el 2019 según los datos proporcionados por las partes que conforman la Alianza del Pacífico la producción de plástico en Perú aumentó en un 4,5%, la cual fue sobrepasada por Colombia en un 0,3%.<sup>1</sup>

Para dar solución a este problema medioambiental que ocasionan los envases de origen fósil o de polímeros sintéticos, se han presentado innovaciones con el propósito de hallar nuevas alternativas que utilicen materias primas biodegradables como lo son los carbohidratos (almidón, celulosa), proteínas y grasas.<sup>1</sup> Actualmente, la elaboración de bioplásticos presenta una alta demanda, convirtiéndolo en un producto sustentable que permite reemplazar a los plásticos que son desarrollados con productos convencionales o no renovables.<sup>2</sup>

Estos bioplásticos en su elaboración usan materias primas degradables como la fibra de residuos orgánicos, la misma que en su composición principal se presenta la celulosa. Este polisacárido se obtiene mediante la extracción de los tallos del banano los cuales regularmente son desechados, la celulosa de este residuo puede ser usado como un componente de refuerzo en biopelículas debido a que fortalece sus propiedades mecánicas.<sup>3</sup>

Además de lo ya mencionado, una membrana biodegradable puede presentar mejoras en sus propiedades como el esfuerzo de tracción máximo, el módulo de ruptura y la resistencia de deformación al añadirle zeolita en su composición puesto que sirve como material de refuerzo.<sup>4</sup>

La presente investigación tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de una biopelícula de celulosa de raquis de banano y zeolita mediante el método casting, con la finalidad de disminuir los problemas mecánicos que presentan las biopelículas elaboradas con almidón.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas a partir de diferentes formulaciones de celulosa de raquis de banano y zeolita comparándolo con los parámetros de calidad establecido en las normas nacionales.

### **Objetivos Específicos**

1. Formular biopelículas de celulosa de raquis de banano y zeolita.
2. Evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas con las diferentes formulaciones de celulosa de raquis de banano y zeolita.
3. Comparar los parámetros calidad de las biopelículas con las normas nacionales.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

1.1.1 *Contaminación ambiental por los plásticos.* Los plásticos son de uso común en la vida del ser humano y su expansión se ha dado a nivel mundial, como resultado de este consumo acelerado se presenta la contaminación ambiental. En el Ecuador el plástico representa el 11% de las toneladas anuales, estos polímeros son de gran problema para el medio ambiente debido a que del 100% de plástico utilizado, solo el 9% es reciclado por los ecuatorianos, el 12% es quemado causando otro punto de contaminación medioambiental y el 79% de este plástico es tirado a los basureros.<sup>5</sup>

1.1.2 *Contaminación ambiental por raquis de banano.* Las industrias generan muchos residuos, estos productos llegan a convertirse en una problemática cuando los empleados o productores no tienen el suficiente conocimiento sobre la contaminación ambiental que los mismos generan y a su vez la ausencia del gobierno por no poseer un buen manejo de los residuos o la generación de nuevos proyectos que permitan desarrollar productos innovadores. Esto genera que existan varios puntos de contaminación que forman parte del cambio climático teniendo como resultado la obtención de vapores de efecto invernadero y otros contaminantes como el carbono negro.<sup>6</sup>

El Ecuador tiene la mayor producción de banano, la misma que ha llegado a representar el 12% de la fabricación mundial. Los países productores de banano presentan muchos residuos orgánicos los cuales se originan en las diferentes etapas como la producción, la selección y el empaque final del producto. Después de este proceso se genera como residuo el raquis o pinzote, que es la parte que sostiene al conjunto de bananos y que posee mucha cantidad de fibra que puede utilizarse para desarrollar nuevos productos.<sup>7</sup>

1.1.3 *Aprovechamiento del raquis de banano.* Ecuador posee diversos sectores económicos de gran relevancia y que son importantes para la economía del país, entre estos se encuentra el sector agroindustrial. Aunque este sector contribuye de manera positiva, también proporciona aspectos negativos como la generación de residuos; los mismos que pueden ser aprovechados en la elaboración de bioplásticos, dado que estos por su composición y posibilidad de procesamiento durante su etapa de elaboración llegan a formar parte de las primordiales materias primas.<sup>8</sup>

La planta de banano tiene gran altura y su forma es robusta, tiene un tallo circular en forma de cilindro el cual es rico en diversos componentes como el pseudotallo las cuales son fibras largas y fuertes. Cada pseudotallo contiene un racimo de banano una única vez, después este muere y es reemplazado por uno nuevo para dar frutos otra vez. En la composición del plátano encontramos partes como: pieles, raquis, pseudotallo y hojas.<sup>9</sup> El raquis de banano tiene un bajo contenido de materia seca lo cual es un problema si se lo mantiene a temperatura ambiente.<sup>10</sup>

Según Briones y otros <sup>7</sup>utilizaron el pinzote o llamado raquis de banano para la elaborar el papel, donde evaluaron las concentraciones de NaOH (Hidróxido de sodio) con la finalidad de obtener un papel con buena textura y color a raíz de la celulosa extraída del raquis de banano.

La investigación realizada por Niebla y Chunga <sup>11</sup>hace referencia al aprovechamiento del raquis de banano para la obtención de fibras de celulosa y se obtienen mediante dos tipos de extracción, la tradicional y la acelerada.

La obtención de la fibra de celulosa al igual que ya lo mencionado en este apartado, se realiza con la finalidad de aprovechar los residuos que genera la postcosecha de este fruto.

Según la indagación exhaustiva realizada por Mayhuire y otros<sup>12</sup> podemos decir que estas fibras son de gran relevancia en la formación de biopelículas que tiene como componente principal el almidón, debido a que sirven como un componente de refuerzo, de esta forma mojara la cristalinidad de las biopelículas. De esa manera permite que la película presente una mayor resistencia a la tensión y una reducción en su elongación.

## 1.2 Biopelículas

El descubrimiento de las biopelículas inicialmente se dio en 1684 por el conocido padre de la microbiología Anton van Leeuwenhoek, esto nació cuando se analizaron muestras provenientes de una placa microbiana la cual fue emanada de los dientes de Anton. Louis Pasteur en 1864 llegó a observar a estas comunidades microbianas (biopelículas) en muestras que fueron obtenidas de los barriles que almacenaban vino. A finales de 1980 el término “biopelícula” era únicamente utilizado en la microbiología específicamente en la rama ambiental, debido a que estos se habían logrado formar en tubos encargados de transportar agua bebible y principalmente en la parte posterior de los barcos.<sup>13</sup>

Las películas biodegradables son una alternativa para la sustitución de envases de origen fósil debido a que estos causan un grave problema de contaminación ambiental. Por este motivo, existen varias investigaciones científicas sobre la elaboración de biopelículas a partir de materias primas biodegradables.<sup>14</sup> Esto convierte a las biopelículas en un producto eficiente para las industrias, ya que dadas sus buenas características mecánicas y a su proximidad con los productos comunes.<sup>15</sup>

Existen diversos materiales de origen natural y de origen sintéticos que pueden ser usados en la elaboración de biopelículas. En los polímeros de origen natural podemos encontrar proteínas (colágeno, queratina, etc.), polisacáridos como el almidón, derivados de la celulosa, etc. y por último podemos encontrar a los lípidos como los ácidos grasos, monoglicéridos, etc. En los componentes de origen sintético podemos encontrar a el ácido poliláctico (PLA) y a polihidroxialcanoatos (PHA), etc. como resultado de la fermentación de polímeros primarios como la celulosa, el almidón, etc, los mismos que son usados como sustratos por distintos m/o.<sup>16</sup>

En la actualidad la investigación de materiales biodegradables y/o compostables a partir de biopolímeros naturales ha tenido una gran acogida, específicamente la línea de desarrollo de biopelículas, todo esto se ha venido dando debido al debilitamiento que están presentando los recursos fósiles y por la contaminación que causa el uso de plástico común.<sup>17</sup>

1.2.1 *Características de las biopelículas.* Las biopelículas pueden servir como recubrimiento para diversos productos en especial para alimentos, debido a que la mayoría de las células se pueden adherir a superficies sólidas en las que se encuentran sustratos estos a su vez forman una matriz activa biológicamente, estos son protegidos por otras sustancias como proteínas, polisacáridos. Una de sus características relevantes es servir como barrera protectora de productos donde los microorganismos positivos que forman parte de ella aíslan a los patógenos, para evitar la deshidratación, ayudando a que las bacterias capten los nutrientes y reforzando su resistencia al medio ambiente.<sup>18</sup>

Existen microorganismos que sirven para la producción de biopelículas, estos representan un gran desafío debido a que su tolerancia es mayor cuando tenemos presente la acción de moléculas como los actinomicetos y los hongos filamentosos estos sirven para la actividad antimicrobiana, de igual forma están presentes macroorganismos planctónicos estos crecen de manera libre.<sup>13</sup>

1.2.2 *Funciones de las biopelículas.* Las biopelículas presentan múltiples propiedades funcionales, las mismas que sirven como barrera con el exterior y viceversa. Entre las siguientes propiedades funcionales podemos encontrar:

- Reducción a la pérdida de humedad
- Retención de componentes volátiles
- Mejoramiento en las propiedades mecánicas

Cabe recalcar que es de suma importancia la adición de aditivos debido a que estos refuerzan sus propiedades.<sup>19</sup>

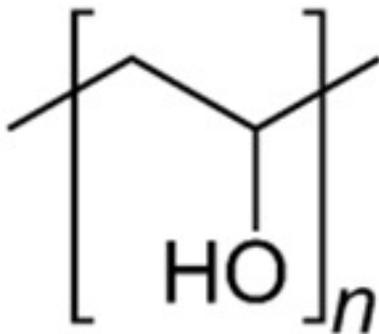
1.2.3 *Componentes de una biopelícula.* Las películas están formadas por tres componentes: el polímero, el disolvente y finalmente el plastificante.<sup>20</sup>

Entre los componentes ya mencionados existen diversos reactivos que pueden ser utilizados en la elaboración de una biopelícula, en esta investigación se emplearán reactivos específicos que serán detallados a continuación.

1.2.3.1 *Alcohol Polivinílico (PVA)*. Es un polímero sintetizado y que se considera biodegradable. Este polímero se usa para elaborar bioplástico debido a que mejora sus propiedades mecánicas al generar una barrera.<sup>21</sup>

Este material es elaborado a partir de la hidrólisis del acetato de polivinílico, presenta excelentes resistencias como la química y óptica. Las propiedades físicas que las resinas de este polímero presentan han resultado con grandes usos a nivel industrial, por esta razón al combinarla con otros polímeros generan un mejor rendimiento y una mejora en las propiedades ecológicas al añadirle almidón.<sup>22</sup>

**Figura 1.** Estructura del alcohol polivinílico



**Fuente:**<sup>23</sup>

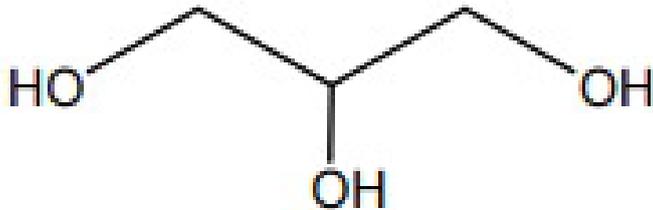
1.2.3.2 *Agua (H<sub>2</sub>O)*. Durante la elaboración de biopelículas el H<sub>2</sub>O es uno de los componentes claves, es usada como plastificante. En la elaboración de estas películas es preferible usar agua purificada dado que esta no tiene impurezas (iones), es decir, se encuentra libre de cloruros, calcio, magnesio, fluoruros.<sup>24</sup>

1.2.3.3 *Glicerol*. El glicerol (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>) comúnmente conocido como glicerina es un líquido viscoso incoloro, inodoro, posee la propiedad de absorber agua del aire (higroscopía), su temperatura de fundición es de 17.8 °C y además es miscible con el agua y etanol.<sup>25</sup>

Este compuesto orgánico posee la capacidad de retener agua lo cual aporta en la generación de espacios moleculares, los mismo que reaccionan con el almidón formando puentes de hidrógeno.<sup>26</sup>

La glicerina es uno de los componentes principales en la elaboración de biopelículas debido a que posee propiedades plastificantes, lo cual les otorga una mayor flexibilidad, resistencia a la rotura, mejor estabilidad y compatibilidad con las cadenas biopoliméricas.<sup>5</sup>

**Figura 2.** Estructura del Glicerol



**Fuente:**<sup>27</sup>

1.2.3.4 *Almidón.* El almidón es un polímero natural, este se encuentra en tallos, granos y tubérculos; varía su nombre dependiendo del lugar de dónde se lo extrae, cuando la extracción es de granos se lo denomina almidón y si es de tallos y tubérculos se lo denomina fécula.<sup>28</sup>

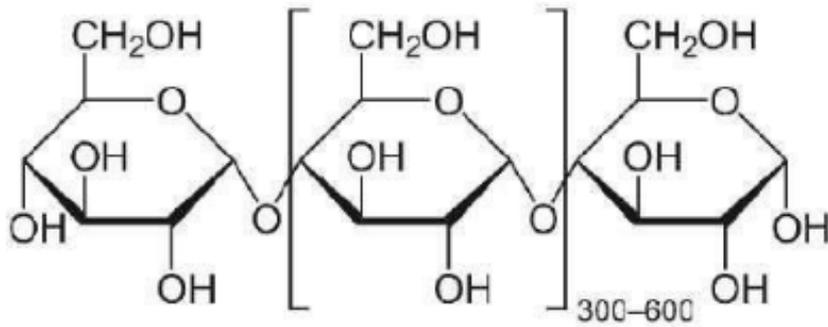
Este polímero natural es usado en la elaboración de películas biodegradables por ser considerado como una materia renovable para la naturaleza debido a que cuando se biodegrada regresa a la misma en forma de agua y CO<sub>2</sub> reduciendo la contaminación del medio ambiente.<sup>29</sup>

#### ➤ **Estructura química del almidón**

La amilosa y la amilopectina son un par de polisacáridos que forma parte de la estructura del almidón.<sup>30</sup> Su composición está dada en una relación de 18 % de amilosa y 33% de amilopectina.<sup>31</sup>

La amilosa es un polímero el cual está conformado por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4) y tiene una proporción de enlaces  $\alpha$  (1-6). Dentro de la hélice tiene una forma helicoidal la cual contiene átomos de H y de grupos OH que se encuentran por fuera de la molécula. Tiene un peso molecular que varía entre los 105 – 106 g/mol. Es considerada una molécula hidrófoba debido a que sus átomos de H permanecen en su interior lo cual le permite desarrollar uniones con ácidos grasos o con compuestos de glicerina.<sup>30</sup>

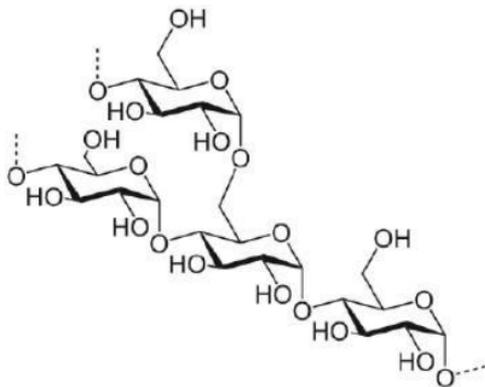
**Figura 3.** Amilosa – Estructura química



**Fuente:**<sup>30</sup>

Por el contrario, la amilopectina es una molécula que tiene enlaces glucosídicos  $\alpha$ 1-6 y estos forman cadenas ramificadas cortas. Puede llegar tener entre 10 y 60 moléculas de glucosa y las cadenas que se encuentran al lateral pueden llegar a tener de 15 a 45 moléculas de glucosa. Tiene cadenas que se encuentra ubicadas dentro del gránulo con sus partes no reductoras orientadas para la superficie, también cuenta con partes con doble hélice las cuales se encuentran alternadas y lugares amorfos. Tiene un peso molecular mayor al de la amilosa y se encuentra entre  $1 \times 10^7$  a  $5 \times 10^8$  g/mol.<sup>30</sup>

**Figura 4.** Estructura de la amilopectina



**Fuente:**<sup>30</sup>

En los estudios realizados por Ramos y otros <sup>32</sup>nos manifiesta que la utilización de almidón con alto contenido de amilosa refuerza las propiedades mecánicas de una película debido a que esta es la que proporciona la red tridimensional. Además, Enríquez y otros <sup>33</sup>mencionan que cuando mayor sea el contenido de amilopectina se presentará una mayor cristalinidad en las películas a base de almidón.

### ➤ Almidón de yuca

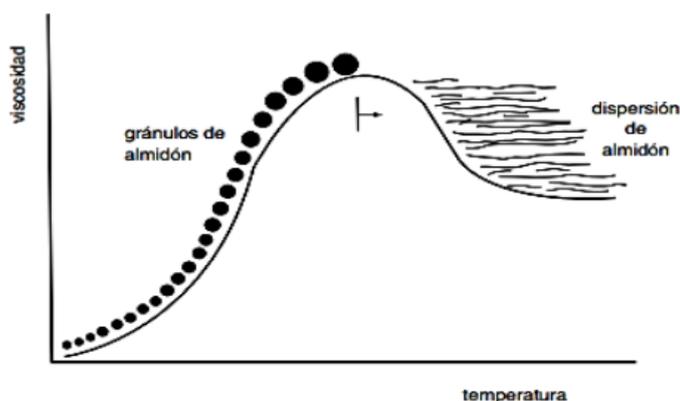
También conocido como almidón de mandioca es un producto muy importante por su rico contenido en calorías, la mandioca o yuca posee gran contenido de almidón después del maíz, sin embargo, está por encima del almidón de papa o el almidón de trigo. Este tipo de almidón es usado naturalmente sin ser alterado, aprovechando sus propiedades de consistencia, viscosidad, siempre y cuando durante su extracción este sea tratado a un pH y T° constante. Una de sus propiedades más importantes y por la que es usada en las industrias es su facilidad para la gelificación.<sup>34</sup>

Aunque de forma natural presenta buenas características para la elongación, permeabilidad a los gases, su uso es menor por su fragilidad, deterioro en ambientes húmedos y falta de conexión con otros polímeros cuando se mezclan.<sup>35</sup> Aun así, la mezcla del almidón de yuca con otros productos (aditivos) se vuelve excelente para reforzar las diferentes propiedades de los nuevos polímeros desarrollados.<sup>36</sup>

La temperatura de gelatinización del almidón de mandioca es menor comparado con la de otros almidones, esta varía de 49 a 64 °C o de 62 a 73 °C, cabe recalcar que esto varía dependiendo de la constitución genética y del ambiente en donde se desarrolló el cultivo.<sup>37</sup>

La gelatinización es la transición que resisten los elastómeros de almidón cuando son llevados a técnicas de altas temperaturas, esto genera un impacto significativo en la eficacia y en la estabilidad de productos fabricados a base de almidón.<sup>38</sup> Dependiendo de la temperatura de gelatinización que se emplee en la elaboración de una película se obtendrá propiedades mecánicas distintas.<sup>39</sup>

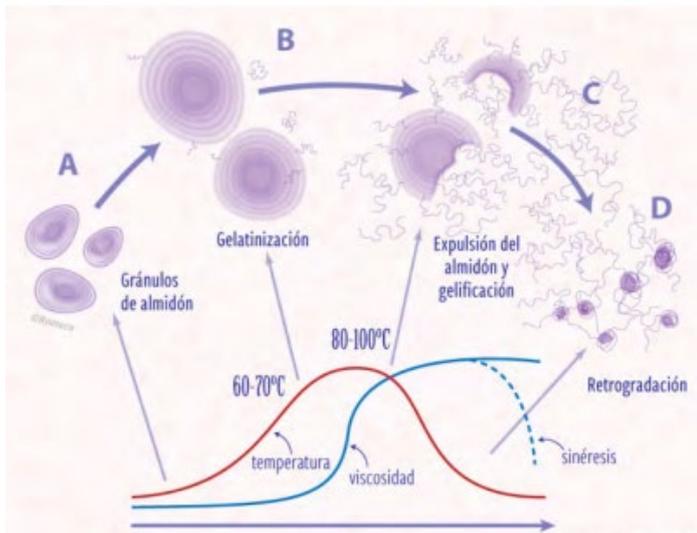
**Figura 5.** Proceso de gelatinización del almidón



**Fuente:**<sup>19</sup>

Los parámetros que afectan el mecanismo de gelatinización son: el tipo de plastificantes, la temperatura y la concentración.<sup>40</sup>

**Figura 6.** Comportamiento del almidón antes, durante y después de la gelatinización



Fuente:<sup>41</sup>

El almidón de yuca presenta la siguiente composición:

**Tabla 1.** Composición físico-química del almidón de yuca

<b>Análisis Fisicoquímico</b>	<b>Rango Estándar</b>
Almidón (%)	92-98
Temperatura de gelatinización (°C)	58.5-70.0
Viscosidad máxima (UB)	400-900
Tamaño (% que debe pasar malla 100)	99
Color	Blanco
Cenizas (%)	< 0.12
Nitrógeno total (%)	< 0.064
Pulpa (mg)	0.5
Humedad (%)	10-13
pH	4.5-5.5

Fuente:<sup>37</sup>

1.2.4 *Propiedades mecánicas de las biopelículas.* Las propiedades mecánicas se las define como la capacidad de un material para resistir cargas o fuerzas aplicadas sobre él, las mismas que provienen de fuentes externas.<sup>42</sup>

Las propiedades que mayoritariamente se determinan son la fuerza y el % de elongación de rotura, el cual hace referencia a la habilidad que la película posee al fisurarse. Estas propiedades dependen de la composición y estructura de los ingredientes que la componen, es decir, tiene una amplia relación los aditivos que estos las conforman con el método de elaboración.<sup>19</sup>

1.2.4.1 *Resistencia a la tracción.* Está relacionada con la tensión o resistencia máxima que puede llegar a tener un material antes de ser sometido a un alargamiento desde cada extremo, aquí entra en presencia la velocidad y T° específica.<sup>43</sup>

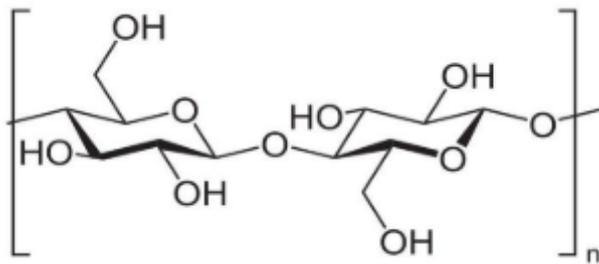
1.2.4.2 *Porcentaje de elongación.* Es el porcentaje del cambio presente en la distancia de la muestra respecto a la distancia que tiene la muestra originalmente. Este valor simboliza la flexibilidad o estiramiento que llega a tener la biopelícula hasta que está se rompa totalmente.<sup>44</sup>

1.2.4.3 *El módulo elástico.* También conocido como el módulo de Young es una constante la cual vincula el trabajo a la deformación que tiene un objeto cuando este es puesto a prueba con cargas de tensión.<sup>45</sup>

### **1.3 Celulosa**

La celulosa es considerada un polímero sustentable y natural que es generado en la fotosíntesis, no tóxico, biológicamente compatible, rentable y biodegradable. En las paredes celulares vegetales esta es el principal componente, su longitud y espesor presenta variaciones dependiendo de la especie vegetal.<sup>6</sup>

**Figura 7.** Estructura de la celulosa



**Fuente:**<sup>46</sup>

1.3.1 *Propiedades.* Llega a tener características físicas y química de manera especial cuando su presentación viene dada en escala nanométrica, entre estas propiedades tenemos gran área, mayor resistencia, grupos (OH) buenos para ser modificados, dureza y equilibrio.<sup>6</sup>

1.3.2 *Tipos de celulosa.* La celulosa se clasifica en distintos tipos como lo son: I, II, III y IV.<sup>47</sup>

Celulosa tipo I: Conocida como celulosa nativa, se la puede encontrar en la naturaleza. Se considera una mezcla de celulosas, las mismas que se encuentran en algas, bacterias y plantas. Sus átomos se encuentran organizados de forma paralela.

Celulosa tipo II: Es obtenida por tratamiento de hidróxido de sodio acuoso de la celulosa tipo I. Se diferencia de la celulosa de primer tipo por la manera en cómo están organizados sus átomos, debido a que estos se encuentran organizados de forma antiparalela.

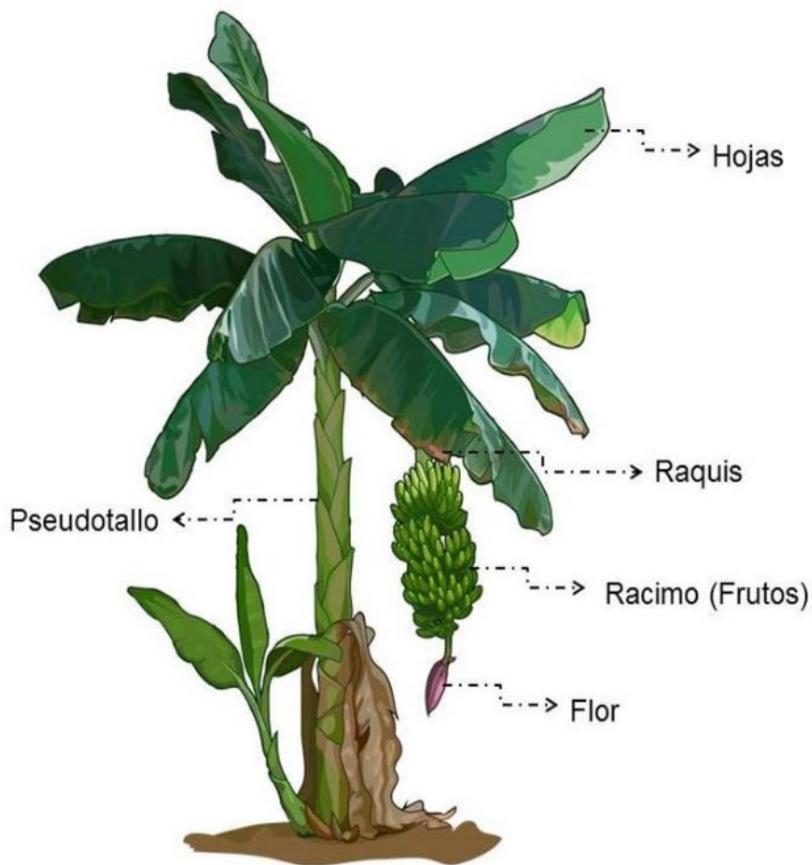
Celulosa tipo III: La celulosa de tercer tipo se presenta por el sometimiento que muestra la celulosa tipo I o celulosa tipo II con el amoníaco líquido o de algún tipo de amina.

Celulosa tipo IV: Resulta del tratamiento de la celulosa con glicerol a elevadas temperaturas.<sup>6</sup>

1.3.3 *Celulosa de raquis de banano*. El raquis o pinzote es la parte que sostiene al conjunto de bananos y que posee muchas fibras lignocelulósicas. La celulosa es una masa obtenida mediante un método químico o mecánico, el raquis de banano tiene un promedio de 30,6 % de celulosa, lo que lo convierte en un polímero de gran cantidad en el medio ambiente.<sup>7</sup>

Los residuos que se presenta como consecuencia de la utilización del banano poseen una gran cantidad de materiales celulósicos. La celulosa es la responsable de proporcionar rigidez y resistencia a las estructuras de las especies vegetales, esta se encuentra presente en grandes proporciones en la cáscara y en el raquis del plátano.<sup>9</sup>

**Figura 8.** Partes de la planta de banano



**Fuente:**<sup>48</sup>

1.3.3.1 *Composición química*. La composición química de la celulosa de raquis de banano se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición del raquis de banano

<b>Componente</b>	<b>Raquis de banano</b>
Celulosa (%)	35.76 ± 2.29
Hemicelulosa (%)	28.04 ± 0.75
Lignina (%)	13.69 ± 0.14
Cenizas (%)	0.54 ± 0.02
Humedad (%)	12.44 ± 0.35
Extractos liposolubles (%)	5.83 ± 0.36
Extractos hidrosolubles (%)	36.94 ± 0.69

**Fuente:**<sup>49</sup>

1.3.3.2 *Aplicaciones de la celulosa de raquis de banano.* La celulosa de raquis de banano presenta múltiples aplicaciones, se la puede utilizar como un material principal para la fabricación de biocombustibles, en la elaboración de fibras para tableros de madera o como refuerzo de matrices poliméricas termoplásticas, entre estas el polietileno; es necesario enfatizar que la aplicación que más fuerza ha tenido en los últimos años es la elaboración de bionanocomposites.<sup>50</sup>

Los bionanocomposites son sustancias de tamaño nanométrico, una parte de su composición es inorgánica y la otra restante es orgánica, la parte inorgánica generalmente es de un mineral (arcilla) y la otra parte es de origen natural (biopolímero).<sup>51</sup>

Según estudios realizados por Zambrano y Neira <sup>52</sup>nos proporciona información acerca de la elaboración de celulosa con diferentes partes vegetativas del banano entre estas el raquis, todo esto lo realizan con la finalidad del aprovechamiento de la fibra que este contiene, para su posterior aplicación como material importante en la industria del papel.

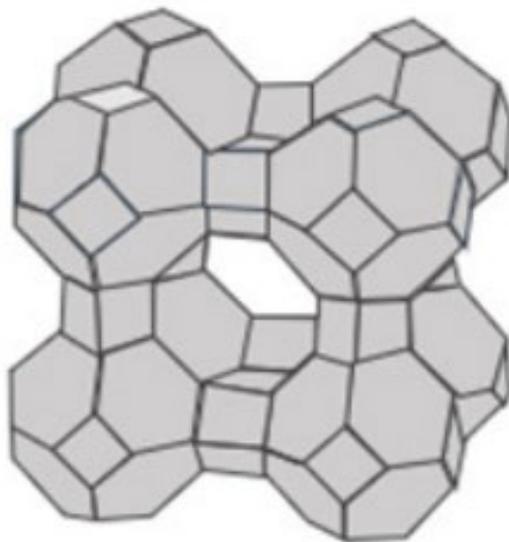
Las investigaciones desarrolladas por Cifuentes y otros <sup>53</sup>permiten analizar una comparación entre la cantidad celulosa de fibra de plátano con el contenido presente en las fibras de madera, esto con la finalidad de obtener un nuevo material que sirva de reemplazo en la fabricación de papeles. Además, realizando un estudio con el polietileno de alta densidad (HDPE), permite estudiar a la fibra de plátano no solo en la aplicación de papel si no también en la fabricación de aislantes térmicos con la finalidad de sustituir materiales sintéticos de uso convencional.

## 1.4 Zeolita

En 1756 el geólogo A.F Cronsted reconoció a las zeolitas como un compuesto mineral, el nombre de *zeolita* proviene del griego de dos palabras *zeo* – *lithos* que traducidos significa *que hierve - piedra*, este compuesto presenta características únicas y que son de gran uso en las industrias. A la zeolita la podemos encontrar en las hendiduras de rocas ígneas (basalto), las cuáles nacen a partir de la ceniza volcánica con la unión de agua salada que con el paso de los años se iban endureciendo y se convirtieron en un mineral.<sup>54</sup>

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos microporosos, presentan una dimensión de poro menor a  $2 \text{ nm}^3$ , estos poros y canales<sup>55</sup> están ordenados de manera que se logró la alineación de redes tridimensionales tetraédricas compuestas por  $[\text{SiO}_4]$  y  $[\text{AlO}_3]$ , las cuales se encuentran enlazados con átomos de oxígeno compactados entre sí.<sup>56</sup>

**Figura 9.** Estructura tridimensional de la zeolita



**Fuente:**<sup>54</sup>

1.4.1 *Propiedades.* La incorporación de materiales inorgánicos a una matriz polimérica puede dar como resultado la obtención de polímeros con mejores propiedades mecánicas, entre estos materiales inorgánicos que optimizan a la matriz polimérica podemos encontrar a las zeolitas. Se diferencian de los rellenos tradicionales porque proporcionan una gran variedad de propiedades potenciales como las propiedades antibacterianas, las de adsorción y las propiedades catalíticas, etc.<sup>17</sup>

1.4.2 *Tipos de zeolita.* Según lo expuesto en<sup>57</sup> las zeolitas se clasifican en dos grupos: las naturales y las sintéticas. Las zeolitas naturales son tetraedros que tienen un limitado uso dentro del campo industrial, puesto que las propiedades que estas poseen van de la mano con su estructura y la porosidad de la partícula, la cual al tener canales con agujeros pequeños impiden la impregnación de partículas de gases y de material orgánico de gran tamaño. Al contrario, la zeolita sintética es muy comercial en el campo industrial, por su pureza, la igualdad del tamaño de los poros y un mayor equilibrio térmico. Para obtener el componente principal como los tetraedros a esta zeolita se la debe sintetizar y para esto se deben de aplicar procesos a escala de laboratorio como el hidrotermal, donde se usan temperaturas elevadas, además se deben emplear productos naturales o se puede usar silicatos artificiales como sustitutos de estos. Como resultado de todo el proceso, el costo de la zeolita sintética es más elevado que el de la zeolita natural. Además, de lo ya mencionado, la zeolita natural presenta una resistencia a los disolventes orgánicos y a productos químicos; así mismo, posee una mayor resistencia a la tracción, elasticidad y a la dureza.<sup>58</sup>

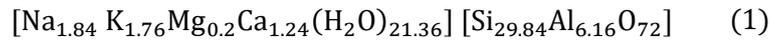
1.4.3 *Composición química.* Las zeolitas naturales presentan la siguiente composición química, como elementos fundamentales está el Oxígeno, Silicio y Aluminio y como cationes intercambiables el Calcio, Magnesio, Bario, Sodio y potasio.<sup>59</sup>

En la Tabla 3 se detalla la composición química de la zeolita.

**Tabla 3.** Composición química de la zeolita natural

<b>Compuesto</b>	<b>%</b>
Óxido de Silicio SiO <sub>2</sub>	71.78
Pérdida por Ignición	11.90
Óxido de Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.91
Óxido de Calcio CaO	1.80
Óxido de Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51
Óxido de Potasio K <sub>2</sub> O	0.78
Óxido de Magnesio MgO	0.47
Óxido de Sodio Na <sub>2</sub> O	0.45
Plomo (Pb)	0.001
Arsénico (As)	0.00
<b>Fuente:</b> <sup>60</sup>	

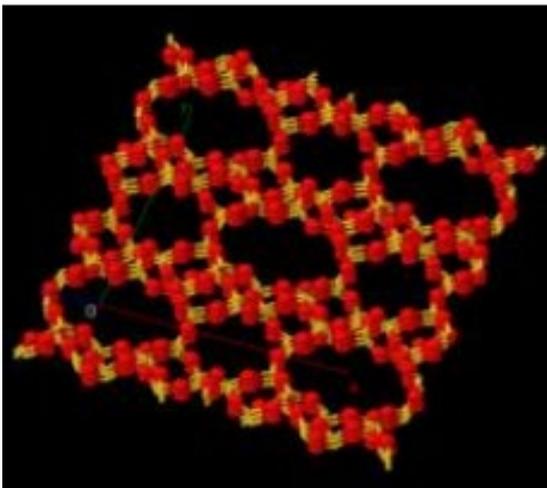
1.4.4 *Zeolita natural: La clinoptilolita.* La clinoptilolita posee la siguiente fórmula (1):



Se considera una de las zeolitas puras más abundantes, su pureza y estructura es diferente según el depósito en la que se encuentre.<sup>61</sup>

A continuación, en la *Figura 10* se puede notar la estructura porosa que posee, donde se detalla que presenta tres canales huecos: uno con anillos contiguos de ocho miembros con acceso libre de 0.26 x 0.47 (nm) y dos paralelos, uno de ocho miembros con ventanas de acceso de 0.33 x 0.46 (nm) y un canal de 10 miembros con acceso de 0.3x 0.76 (nm).<sup>62</sup>

**Figura 10.** Estructura de la zeolita clinoptilolita



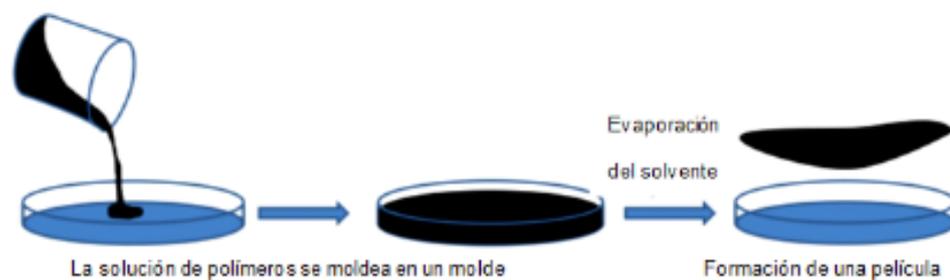
**Fuente:**<sup>62</sup>

1.4.5 *Aplicación de las zeolitas naturales.* La zeolita posee diversas aplicaciones en distintos sectores económicos como en la agricultura, industria, construcción, etc. En los que destacan las actividades económicas de agricultura, minería, con la elaboración en la elaboración de soportes de fertilizantes y acondicionadores de suelos en sistemas de zeopónicos, descontaminación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, etc.<sup>63</sup>

## 1.5 Técnicas de elaboración de biopelículas

1.5.1 *Método casting*. También conocido como método de fundición se lo usa normalmente para la elaboración de películas a base de celulosa o de almidón. Sin embargo, también se pueden elaborar películas a base de policarbonato, poliamidas u otros polímeros sintéticos. En primer lugar, este método se basa en la preparación de la mezcla de los ingredientes, luego se vierte en una superficie plana para posteriormente esperar la eliminación del líquido del polímero.<sup>57</sup>

**Figura 11.** Esquema del método casting



**Fuente:**<sup>44</sup>

1.5.2 *Método coater*. Este método permite preparar las muestras a una mayor escala que las muestras preparadas por el método casting. Esta técnica también es llamada fundición en tiras y es muy conocida en las industrias del papel y en la industria de la pintura. Este método implica la elaboración de la película mediante una suspensión que forma películas en un soporte, luego pasan a correas transportadoras las cuales permiten controlar el grosor de la película mediante distintos cuchillos presentes en el interior del equipo.<sup>44</sup>

1.5.3 *Método electrospinning*. Es un procedimiento que sirve para crear polímeros en escala más pequeña, sea estas micro o nanométricas teniendo una variedad de aplicaciones, esta técnica aporta diversas características a los polímeros como una buena superficie, mejor porosidad y mayores propiedades mecánicas. Para esta técnica se utiliza un campo eléctrico donde se aplica la solución del polímero con una viscosidad variada, luego fluye a un tubo capilar provocando una densidad elevada, opuesta a la tensión superficial.<sup>44</sup>

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

La investigación es cuantitativa porque se manejan proporciones numéricas y experimental ya que se desarrollaron biopelículas usando celulosa del raquis del banano y zeolita natural del tipo clinoptilolita, los resultados fueron evaluados en LenMav un Laboratorio de ensayo de materiales de la ciudad de Riobamba.

### 2.2 Diseño de la investigación

2.2.1 *Ubicación del estudio.* Geográficamente el lugar de estudio se ubica en Ecuador, en la Provincia del Oro, en el Cantón Machala, en este cantón se encuentra ubicada la Universidad Técnica de Machala, donde posteriormente esta investigación se efectuó en el Laboratorio “área de carbón activo” de la Facultad de Ciencias Químicas de la Salud.

**Figura 12.** Ubicación del área de estudio



**Fuente:** Elaboración propia

2.2.2 *Población de estudio, tamaño de muestra.* En el siguiente apartado se detallan la población y tamaño de muestra de la presente investigación.

2.2.2.1 *Población de estudio.* En la presente investigación se empleó celulosa de raquis de banano, la misma que fue extraída en el Laboratorio “área de carbón activo” de la Facultad de Ciencias Químicas de la Salud y zeolita clinoptilolita la cual fue obtenida de manera comercial de la empresa Calmosacorp de Guayaquil.

2.2.2.2 *Tamaño de muestra.* La muestra que se utilizó fue de acuerdo a formulaciones previamente obtenidas, en tal caso 20 gramos de celulosa de raquis de banano y 10 gramos de zeolita natural del tipo clinoptilolita.

2.2.3 *Materiales, equipos y reactivos.* En la presente investigación se utilizaron materias primas, insumos, reactivos, materiales y equipos los cuales se detallan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Materia prima, insumos/reactivos, materiales y equipos

<b>Materia prima</b>	<b>Insumos/Reactivos</b>	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Celulosa de raquis de banano	Glicerol Agua destilada	Vasos de precipitación de 100 ml	Balanza analítica
Zeolita natural: clinoptilolita	Alcohol Polivinílico (PVA) Almidón de yuca	Vasos de precipitación de 250 ml Varilla de agitación Matraz Probeta Bandeja de aluminio Recipientes antiadherentes Pipeta de 1 ml Pera de succión de tres vías Magneto	Estufa Agitador Plancha de calentamiento Desecador al vacío Termómetro

**Fuente:** Elaboración propia

2.2.4 *Formulación de las biopelículas.* Las biopelículas se desarrollaron mediante el método casting, donde varió la cantidad de celulosa de raquis de banano y la cantidad de zeolita clinoptilolita.

**Tabla 5.** Formulación de las biopelículas

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>	<b>CANTIDAD</b>
Agua	94	94 ml
Almidón	3	3 g
Glicerol	1	1 ml
PVA	2	2 g

**Nota:** Las cantidades de celulosa y zeolita serán incrementadas al porcentaje de almidón y su variación al agua.

**Fuente:**<sup>24</sup>

Después de varias pruebas, se logró obtener la formulación adecuada donde se buscó que la biopelícula a la percepción del sentido de la vista pueda desmoldarse con facilidad, a su vez que no presente aireación internamente y por último que no se adhiera a las placas.

2.2.5 *Descripción del método de obtención de las biopelículas.* Para la obtención de biopelículas se llevarán a cabo diferentes formulaciones de celulosa de raquis de banano 1–1.3 g y zeolita clinoptilolita 0.2-0.5 g.

Las biopelículas se realizaron por el método casting, a continuación, se detallan los pasos a seguir:

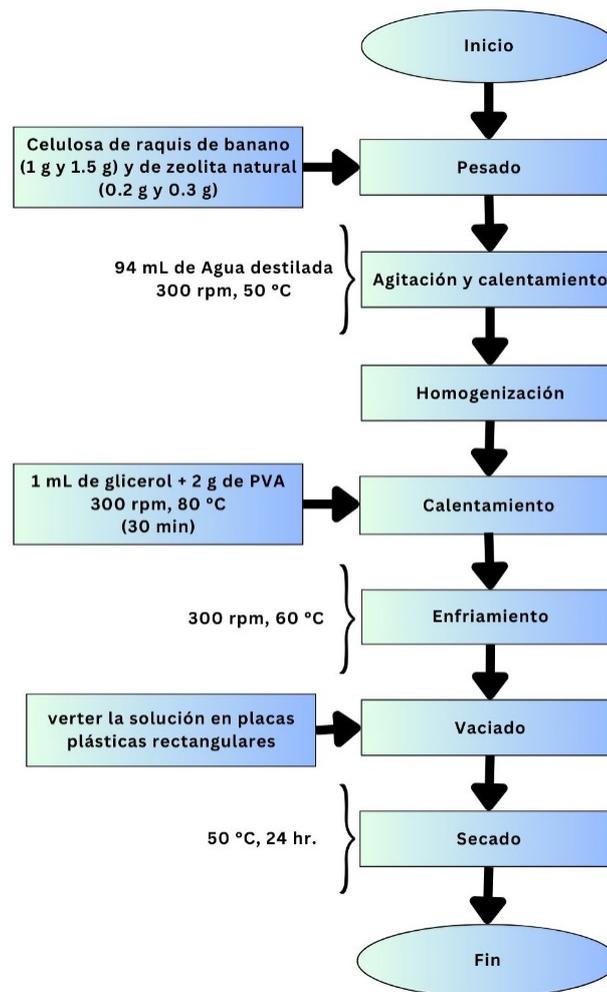
- **Pesaje de materia prima:** Se pesa celulosa de raquis de banano (1 g; 1.5 g) y de zeolita natural tipo clinoptilolita (0.2 g; 0.3 g).
- **Agitación y calentamiento:** Luego se procederá a medir 94 ml de agua destilada para calentarla a 50°C y mantener en agitación constante a 300 rpm. Se añadirá 3.5 g almidón junto con la celulosa de raquis de banano y zeolita natural tipo clinoptilolita,
- **Homogenización:** Con el fin de producir la gelatinización del almidón se procede a homogenizar la mezcla a una temperatura de 80°C.

- **Calentamiento:** Para dar lugar a la formación de la biopelícula se añadirá 1 ml de glicerol y 2 g de PVA a la misma temperatura anterior manteniendo una agitación constante a 300 rpm por 30 minutos.
- **Enfriamiento:** Se procede a enfriar la mezcla obtenida mediante agitación constante a 300 rpm y 60°C.
- **Vaciado:** Las soluciones son vertidas en placas plásticas rectangulares.
- **Secado:** Se lleva las placas a la estufa a 50°C por 24 horas.

Además, es importante mencionar que la formulación estará sujeta a adaptaciones según estudios realizados en<sup>26</sup>.

2.2.6 *Diagrama de flujo.* Para la elaboración de las biopelículas se aplicó un proceso el cual se detalla en la figura 13.

**Figura 13.** Diagrama de flujo de la elaboración de biopelículas



**Fuente:** Elaboración propia

## 2.3 Procesamiento de datos

Para la investigación aplicará el diseño factorial de A x B, con el análisis de varianza y prueba de comparación Tukey con un 95% de nivel de confianza, se efectuarán 3 repeticiones. Mediante el uso del programa estadístico Minitab 2019 los datos de la investigación serán procesados. El diseño experimental se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Diseño Experimental

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>	<b>Variables de Respuesta</b>
<b>Celulosa (%)</b> <b>A</b>	1	Resistencia a la tracción
	1.3	Porcentaje de elongación
<b>Zeolita (%)</b> <b>B</b>	0.5	Módulo de elasticidad
	0.2	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 7.** Formulación de las biopelículas a base de celulosa de raquis de banano y zeolita

<b>Tratamientos</b>	<b>Celulosa de raquis de banano (%)</b>	<b>Zeolita Clinoptilolita (%)</b>
A1B1	1	0.5
A2B1	1.3	0.5
A1B2	1	0.2
A2B2	1.3	0.2

**Fuente:** Minitab 19

## 2.4 Estudio de las variables dependientes e independientes

2.4.1 *Variables Independientes.* Las variables que manejaremos son:

- % Celulosa de raquis de banano
- % Zeolita natural Clinoptilolita

2.4.2 *Variables dependientes.* Se estudiarán las propiedades mecánicas de las biopelículas como:

- Resistencia a la tracción
- % de Elongación
- Módulo de elasticidad

**Tabla 8.** Estudio de variables

<b>Variables Dependientes</b>	<b>Variables Independientes</b>
Resistencia a la tracción	% Celulosa de raquis de banano
% de Elongación	% Zeolita natural Clinoptilolita
Módulo de elasticidad	% Zeolita natural Clinoptilolita

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.5 Método

En la presente investigación las biopelículas serán desarrolladas a partir del método casting descrito en<sup>24</sup> donde la adición de zeolita clinoptilolita y la celulosa de raquis de banano serán adicionadas en % peso.

Las propiedades mecánicas se analizarán con la probeta de la norma INEN 2635.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente estudio principalmente se obtuvo celulosa de raquis de banano para posteriormente continuar con el desarrollo de la biopelícula.

La obtención de la celulosa de raquis de banano se la desarrollo mediante el método descrito por Flores y Delgado.<sup>64</sup>

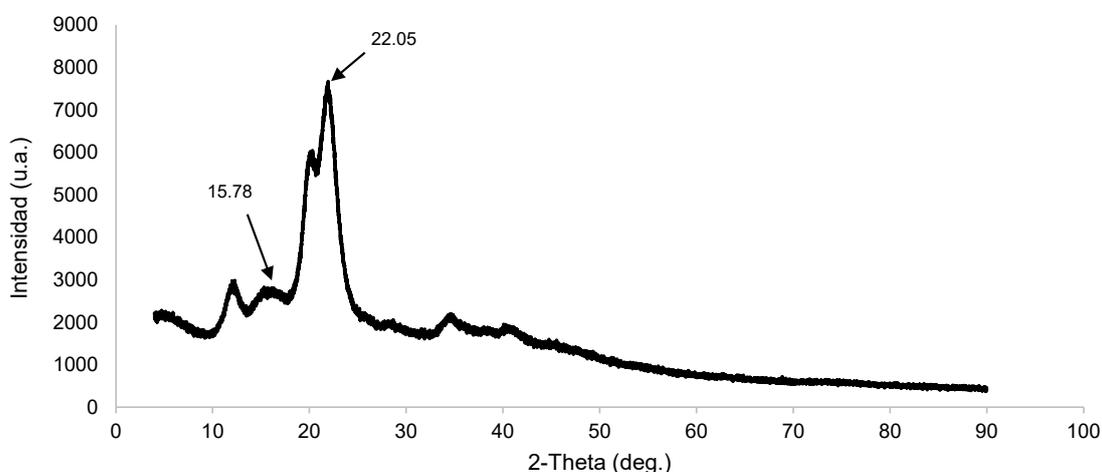
#### 3.1 Análisis de celulosa de raquis de banano

Mediante el método alcalino se desarrolló la investigación y se obtuvo la celulosa de raquis de banano. La misma que presentó los siguientes resultados:

3.1.1 *Difracción de Rayos-X (XRD)*. Este método se utiliza para obtener la cristalinidad de diversos materiales mediante la aplicación de un software de cristalografía.

Los difractogramas de celulosa de raquis de banano se muestran en la figura 14. Según la investigación realizada por Bolio y otros <sup>65</sup>se puede mencionar que el pico cercano y lejano de la celulosa de raquis de banano se encuentran entre 22.4 y 15.4 respectivamente, con esta información se logró concluir que los picos obtenidos poseen relación con los antes ya mencionados, dándonos como resultado un pico cercano de  $2\theta = 22.05^\circ$  y un pico lejano de  $2\theta = 15.78^\circ$  característico a la estructura de la celulosa.

**Figura 14.** Difractograma de la celulosa de raquis de banano



**Fuente:** Elaboración propia

El porcentaje de cristalinidad de la celulosa de raquis de banano fue obtenido mediante el método de Segal descrito en.<sup>66</sup>

**Tabla 9.** Índice de cristalinidad de la celulosa de raquis de banano

<b>Muestra</b>	<b>Intensidad de pico menor (I1)</b>	<b>Intensidad de pico mayor (I2)</b>	<b>Cristalinidad %</b>
Celulosa de raquis de banano	2749	7439	63.05

**Fuente:** Elaboración propia

El tamaño del cristal de la celulosa de raquis de banano fue obtenido mediante la ecuación descrita en.<sup>66</sup>

**Tabla 10.** Tamaño del cristal

<b>Muestra</b>	<b>Tamaño del cristal Å</b>
Celulosa de raquis de banano	24

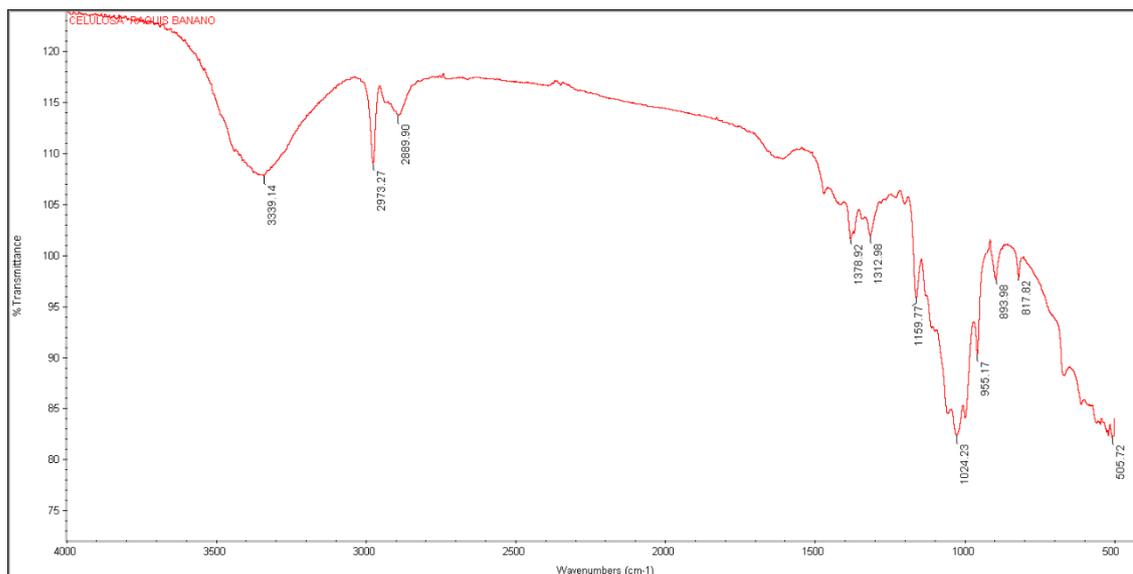
**Nota:** El tamaño de cristal se mide en Ångström (Å)

**Fuente:** Elaboración propia

La celulosa de raquis de banano presenta un tamaño de cristal de 24 Å (2.4 nm), es menor a lo investigado por Bolio, Valadez, Veleza y Andreeva en<sup>65</sup> donde la celulosa obtenida tiene un tamaño de cristal de 44.6 Å, además según la investigación de Delgado y Flores<sup>64</sup> el tratamiento alcalino que se dio a la celulosa junto con el proceso de blanqueamiento ayuda a la destrucción de otras estructuras y esto ayuda a elevar el porcentaje de cristalinidad.

3.1.2 *Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).* El estudio por FT-IR sirve para poder caracterizar un material sin la necesidad de tener un tratamiento previo, la celulosa de raquis de banano obtenida fue analizada por medio de FT-IR y los resultados obtenidos se muestran en la figura 15.

**Figura 15.** Espectro de FT-IR de la celulosa de raquis de banano



**Fuente:** Elaboración propia

El análisis FTIR del raquis nos proporciona un espectro semejante al espectro obtenido en la investigación realizada por Sandoval y otros <sup>67</sup> donde el FTIR tiene picos de absorción de 2900.81 cm<sup>-1</sup> y los obtenidos en la presente investigación son de 2973.27 cm<sup>-1</sup>, de esta manera se pueden ver el alargamiento de los grupos de carbono presentes en la celulosa, además de igual forma en la misma investigación se presentan picos de absorción de 1068.51 cm<sup>-1</sup> y los obtenidos en esta investigación son de 1024.23 cm<sup>-1</sup>, esto representa las oscilaciones C-O-C que constituyen a la celulosa de raquis de banano, por esta razón se puede decir que los resultados de este análisis son característicos de la celulosa, debido a que este presenta una excelente definición.

3.1.3 *Fluorescencia de Rayos X (FRX)*. El análisis de un fragmento de celulosa de raquis de banano ha permitido realizar la caracterización respectiva de su composición química, la misma que se presenta en las tablas 11 y 12:

**Tabla 11.** FRX de elementos de la celulosa de raquis de banano

Muestra	Cr (%)	Cu (%)	Rb (%)
<b>Celulosa de Raquis Banana</b>	0	0	0

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 12.** FRX de compuestos de la celulosa de raquis de banano

ID	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	CaO (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	ZnO (%)
Raquis Banana celulosa	0	1.67	0.28	1.31	0.03	0.03	0.003

**Fuente:** Elaboración propia

En los análisis de FRX de la celulosa de raquis de banano se puede observar una gran presencia de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) con 1.67%, seguido de la presencia de óxido de calcio (CaO) con 1.31%, luego tenemos la presencia de óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) con 0.28% y por último en cantidades menores se encuentra el óxido de manganeso (MnO) y el óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con 0.03% los dos elementos, adicionalmente se encuentra el óxido de zinc (ZnO) con 0.003%, sin embargo, según Gómez <sup>68</sup> el elemento que más deben contener las cáscaras de banano es el óxido de potasio, no obstante en su investigación detalla la presencia de óxido de silicio con 0.84%, óxido de calcio con 2.09%, óxido de fósforo 1.05% y óxido de hierro con 0.51%. Mediante este análisis se puede decir que la celulosa de raquis de banano se encuentra en parámetros medios donde contiene los elementos regulares en menores cantidades.

El raquis de banano mediante el análisis FRX, tiene un alto contenido de óxido de potasio con 49%, además llega a contener P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO y SiO<sub>2</sub> con 4.50%, 3.1% y 2.7% respectivamente.<sup>69</sup> Dado los datos de la celulosa de raquis de banano se puede constatar que esos elementos son propios del raquis del banano, pero se encuentran en porcentajes inferiores.

### 3.2 Condiciones óptimas para la formulación de biopelículas

En la investigación presente se procedió a realizar la formulación óptima para las biopelículas implementando la celulosa de raquis de banano y zeolita clinoptilolita. Para llegar a la formulación final especificada en la investigación se hicieron varias pruebas similares utilizando la metodología usada en <sup>24</sup>, sin embargo, está sujeta a cambios. Las distintas pruebas se presentan en la tabla 13.

**Tabla 13.** Pruebas preliminares de la formulación de las biopelículas

Formulación	Condiciones para la elaboración	Resultado
3.5 g almidón (1.5 – 2.5) g celulosa comercial (0.5 – 1) g zeolita clinoptilolita 0.5 g PVA 1 ml glicerol 91.5 ml agua	Método casting <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Calentar el agua a 50°C - 300 rpm</li> <li>➤ Añadir el almidón, celulosa y zeolita a 50°C – 300 rpm</li> <li>➤ Finalmente, 80°C agregar el PVA y glicerol a 300 rpm</li> <li>➤ Vaciar en placas plásticas a 60°C</li> <li>➤ Secar en estufa a 40°C x 24 horas</li> </ul>	
2.5 g almidón (0.5 – 1) g celulosa comercial (0.5 – 1) g zeolita clinoptilolita 1 g PVA 1 ml glicerol 94.5 ml agua	Método casting <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Calentar el agua a 50°C - 300 rpm</li> <li>➤ Añadir el almidón, celulosa y zeolita a 50°C – 300 rpm</li> <li>➤ Finalmente, 80°C agregar el PVA y glicerol a 400 rpm</li> <li>➤ Vaciar en placas plásticas a 60°C</li> <li>➤ Secar en estufa a 40°C x 24 horas</li> </ul>	

1.5 g almidón

(1 – 1.5) g celulosa comercial

(0.5 – 1) g zeolita clinoptilolita

1 g PVA

1 ml glicerol

94.5 ml agua

#### Método casting

- Calentar el agua a 50°C - 300 rpm
- Añadir el almidón, celulosa y zeolita a 50°C – 300 rpm
- Finalmente, 80°C agregar el PVA y glicerol a 400 rpm
- Vaciar en placas plásticas a 60°C
- Secar en estufa a 40°C x 24 horas

1.5 g almidón

(1 – 1.3) g celulosa comercial

(0.2 – 0.5) g zeolita clinoptilolita

1 g PVA

1 ml glicerol

95 ml agua

#### Método casting

- Calentar el agua a 50°C - 300 rpm
- Añadir el almidón, celulosa y zeolita a 50°C – 300 rpm
- Finalmente, 80°C agregar el PVA y glicerol a 400 rpm
- Vaciar en placas plásticas a 60°C
- Secar en estufa a 40°C x 24 horas



1.5 g almidón

(1 – 1.3) g celulosa de raquis de  
banano

(0.2 – 0.5) g zeolita clinoptilolita

2 g PVA

1 ml glicerol

94 ml agua

#### Método casting

- Calentar el agua a 50°C - 300 rpm
- Añadir el almidón, celulosa y zeolita a 50°C – 400 rpm
- Finalmente, 90°C agregar el PVA y glicerol a 600 rpm
- Vaciar en placas plásticas a 60°C
- Secar en estufa a 50°C x 24 horas



---

**Fuente:** Elaboración propia

---

**Tabla 14.** Formulación óptima de las biopelículas de celulosa de raquis de banano y zeolita clinoptilolita

TRATAMIENTOS	CELULOSA (g)	ZEOLITA (g)	ALMIDÓN (g)	GLICERINA (ml)	PVA (g)
<b>A1B1</b>	1	0.5	1.5	1	2
<b>A2B1</b>	1.3	0.5	1.5	1	2
<b>A1B2</b>	1	0.2	1.5	1	2
<b>A2B2</b>	1.3	0.2	1.5	1	2

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 Propiedades mecánicas de las biopelículas

Para evaluar las propiedades mecánicas se aplicó el método de exclusión con la finalidad de obtener una variabilidad de  $\pm 5$  en los datos analizados en los laboratorios. Con este nuevo análisis se obtuvo la tabla 15 donde los valores previamente seleccionados fueron analizados en el Minitab 19.

**Tabla 15.** Propiedades mecánicas de las biopelículas

Celulosa (%)	Zeolita (%)	Elongación (%)	Resistencia de Tracción (MPa)	Modulo Elástico (MPa)
<b>A1</b>	<b>B1</b>	6.70 $\pm$ 0.20	0.90 $\pm$ 0.21	4.23 $\pm$ 3.18
<b>A1</b>	<b>B2</b>	5.44 $\pm$ 0.51	1.60 $\pm$ 0.12	8.53 $\pm$ 0.42
<b>A2</b>	<b>B1</b>	6.60 $\pm$ 1.13	1.64 $\pm$ 0.43	5.83 $\pm$ 1.48
<b>A2</b>	<b>B2</b>	3.62 $\pm$ 0.59	1.51 $\pm$ 0.45	15.29 $\pm$ 3.78

**Fuente:** Laboratorio LenMav

Con los datos obtenidos en la tabla 15, se realizó el ANOVA sobre el rendimiento de las dos variables de estudio: % celulosa de raquis de banano y % de zeolita clinoptilolita, sobre las distintas propiedades mecánicas.

3.3.1 *Porcentaje de Elongación.* El ANOVA presentó diferencias significativas en uno de los valores del análisis estadístico donde el valor de  $p < 0.05$ , el factor B (% Zeolita) presentó diferencias significativas, mientras que el factor A (% Celulosa) y la interacción entre ambos no presenta diferencia alguna. Es decir, la cantidad de zeolita si afectó a la propiedad mecánica de elongación de las biopelículas, como se aprecia en la tabla 16.

**Tabla 16.** ANOVA para el % de Elongación

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
% Celulosa	1	1.84	1.84	3.82	0.122
% Zeolita	1	8.98	8.98	18.62	0.012
% Celulosa*% Zeolita	1	1.47	1.47	3.06	0.155
Error	4	1.93	0.48		
Total	7	14.24			

**Fuente:** Elaboración propia

Dado que en los datos estadísticos existe diferencia en uno de los tratamientos, se analizó mediante la prueba de Tukey las medias del porcentaje de elongación de los tratamientos, el tratamiento con B1 (%Zeolita: 0.5 g) se ubicó en la agrupación A con la mayor media (6.65 %), mientras que el tratamiento con B2 (%Zeolita: 0.2 g) se ubicó en la agrupación B con la menor media (4.53%), en la tabla 17 se presentan los resultados:

**Tabla 17.** Comparación del %Zeolita utilizando el método de Tukey

<b>% Zeolita</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
B1	4	6.65	A
B2	4	4.53	B

**Fuente:** Elaboración propia

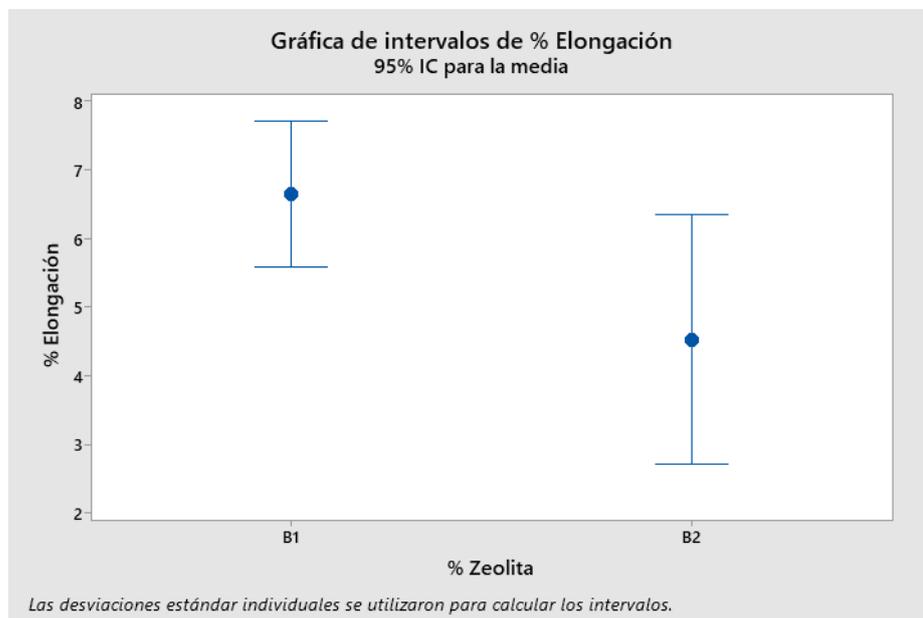
El análisis manifestó que el valor de 0.5 g de zeolita generó un aporte mayor en la media de esta variable (6.65%). En la investigación realizada por Vergara y otros <sup>70</sup> donde expone que la adición de este mineral genera un mayor % de elongación en una biopelícula.

En el estudio realizado por Arévalo y otros <sup>71</sup> nos dice que el % de elongación de una biopelícula se encuentra entre el rango de 3% y 5.9%, a pesar de que el % de elongación obtenido en esta investigación sobrepasa de manera mínima aquellos porcentajes se puede manifestar que la biopelícula se encuentra entre los parámetros de elongación adecuados.

De esta manera se puede concluir que la adición de zeolita es de gran beneficio para una biopelícula debido a que por sus excelentes propiedades ayudan en la optimización de la matriz polimérica dándonos como resultado una biopelícula con excelentes propiedades mecánicas, específicamente enfocándonos en el porcentaje de elongación.

En la figura 16 se puede observar el estudio de las medias de los factores analizados, el análisis demostró que, al no tener ninguna afectación por parte de la celulosa, a mayor cantidad de zeolita y cantidades de celulosa variada (1 – 1.3 g) las biopelículas presentan mayor porcentaje de elongación, de esta forma la mejor interacción se dio en el factor B1 (%Zeolita: 0.5 g).

**Figura 16.** Porcentaje de Elongación de cada tratamiento



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la Norma INEN 2290 (2015) para fundas plásticas, presenta una elongación en dirección de máquina (DM)  $\geq 300$  y una elongación en dirección transversal (DT)  $\geq 250$ , cabe recalcar que la presente norma hace referencia a fundas plásticas para residuos y desechos sólidos. En la actual investigación las biopelículas

obtenidas presentaron un porcentaje de elongación DM y DT entre 4,53 y 6,65 %, de acuerdo a los valores obtenidos se puede decir que no se encontraron dentro de los rangos establecidos.

3.3.2 *Resistencia a la tracción.* El análisis de varianza no presentó diferencias significativas en ninguno de los valores del análisis estadístico, el factor A (%Celulosa), el factor B (% Zeolita) y la interacción entre ambos no presenta diferencia alguna debido a que ningún valor de  $p < 0.05$ . Es decir, tanto la variación en la cantidad de celulosa, cantidad de zeolita no afectó a la propiedad mecánica de resistencia a la tracción de las biopelículas, como se aprecia en la tabla 18.

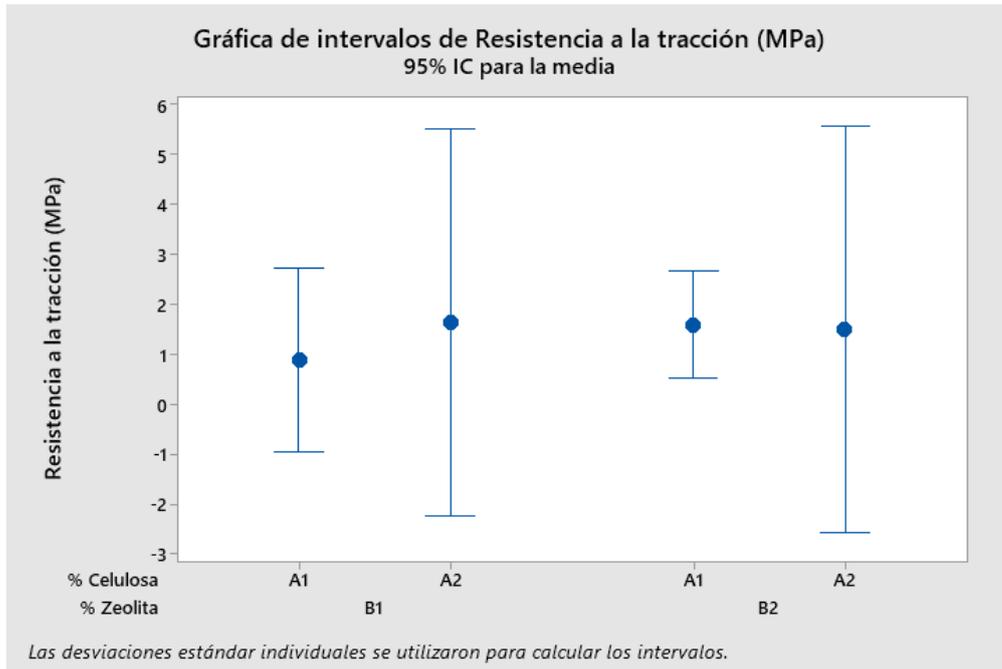
**Tabla 18.** ANOVA de la resistencia a la tracción

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
% Celulosa	1	0.21	0.21	1.92	0.238
% Zeolita	1	0.16	0.16	1.48	0.291
% Celulosa*% Zeolita	1	0.34	0.34	3.04	0.156
Error	4	0.44	0.11		
Total	7	1.16			

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 17 se puede visualizar el estudio de las medias de los factores analizados, mediante este análisis se demostró que, al no tener diferencias significativas podemos decir que las cantidades de celulosa (1 – 1.3 g) y las cantidades de zeolita (0.5 – 0.2 g) no afectan a la resistencia a la tracción de las biopelículas.

**Figura 17.** Resistencia a la tracción de cada tratamiento



**Fuente:** Elaboración propia

Mediante los resultados obtenidos se puede analizar que la cantidad de celulosa y zeolita no afectó significativamente en la propiedad de resistencia a la tracción. Estos resultados son muy distintos a los alcanzados en la indagación realizada por <sup>72</sup> y <sup>73</sup>, debido a que estos presentan un incremento en la propiedad mecánica de la resistencia a la tracción cuando se les proporciona un aumento del porcentaje en peso hasta el 55% de celulosa y 10% de zeolita respectivamente.

En la investigación realizada por Benítez <sup>45</sup> nos proporciona datos en la cual nos dice que ha mayor resistencia a la tracción los materiales poseen menor rigidez, es por esta razón que los empaques con 1.5 g de zeolita tiene mayor resistencia a la tracción que los que contienen 2 g de zeolita, de esta manera se puede decir que los resultados obtenidos en el presente estudio son equilibrados debido a que la variación de zeolita como de celulosa no afecta a su resultado.

En la Norma INEN 2290 (2015) para fundas plásticas domésticas, se presentan los rangos para la resistencia a la tracción en dirección de máquina (DM)  $\geq 22$  y una resistencia a la tracción en dirección transversal (DT)  $\geq 17$ , dentro de la presente investigación las biopelículas analizadas presentaron una resistencia a la tracción de DM y DT entre 1.94 MPa y 0.75 MPa, de acuerdo a los valores obtenidos se puede decir que no se encuentran dentro de los rangos establecidos.

3.3.3 *Módulo de Elasticidad.* El análisis de varianza presentó diferencias significativas en uno de los valores del análisis estadístico donde el valor de  $p < 0.05$ , el factor B (% Zeolita) presentó diferencias significativas, mientras que el factor A (% Celulosa) y la interacción entre ambos no presenta diferencia alguna. Es decir, la cantidad de zeolita sí afectó a la propiedad mecánica de módulo de elasticidad de las biopelículas, como se aprecia en la tabla 19.

**Tabla 19.** ANOVA del Módulo de elasticidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
% Celulosa	1	34.99	34.99	5.23	0.084
% Zeolita	1	94.54	94.53	14.13	0.020
% Celulosa*% Zeolita	1	13.26	13.26	1.98	0.232
Error	4	26.76	6.68		
Total	7	169.55			

**Fuente:** Elaboración propia

El análisis obtenido presenta un valor de  $p$  menor a las fuentes analizadas, concluyendo que la cantidad de zeolita afecta de manera significativa el módulo de elasticidad de una biopelícula. Durante la investigación realizada por Ordoñez <sup>74</sup> se puede evidenciar que una biopelícula que posee zeolita como refuerzo polimérico presenta un incremento en su módulo de elasticidad.

Adicional a lo ya mencionado por Dorigato y otros <sup>75</sup> en su investigación hace énfasis que el incremento del módulo de elasticidad se da como resultado a la formación de una interfase rígida entre la matriz y las partículas que generan la obstrucción de las cadenas del polímero, es por esta razón que la zeolita es comúnmente usada como un refuerzo polimérico. Concluyendo de esta manera que la adición de estas partículas nanoestructurales genera en las biopelículas un aumento en el módulo de elasticidad dándonos como resultado un material compuesto con óptimas propiedades mecánicas.

Estos resultados también se contrastan con lo mencionado por Benítez <sup>45</sup> donde el módulo de elasticidad fue mayor utilizando 1.5 g de zeolita que, con 2 g de la misma, de esta forma se puede definir que ha mayor cantidad de zeolita menor módulo de elasticidad.

Debido a que en los datos estadísticos existe diferencia en uno de los tratamientos, se analizó mediante la prueba de Tukey las medias del módulo de elasticidad de los

tratamientos, el tratamiento con B2 (%Zeolita: 0.2 g) se ubicó en la agrupación A con la mayor media (11.90 MPa), mientras que el tratamiento con B1 (%Zeolita: 0.5 g) se ubicó en la agrupación B con la menor media (5.03 MPa), en la tabla 20 se presentan los resultados:

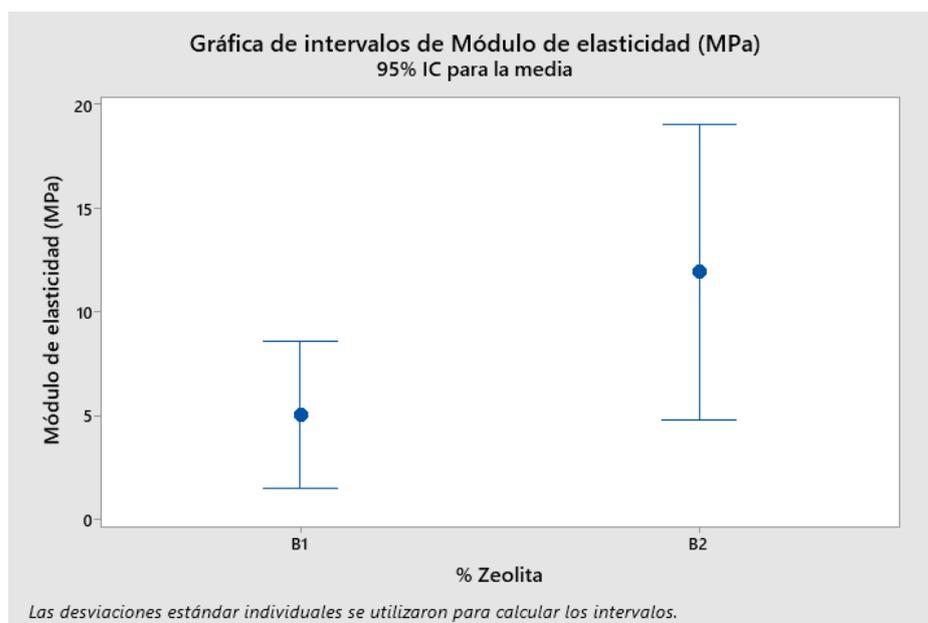
**Tabla 20.** Comparación del módulo de elasticidad utilizando el método de Tukey

% Zeolita	N	Media	Agrupación
B2	4	11.90	A
B1	4	5.03	B

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 18 se puede observar el estudio de las medias de los factores analizados, el análisis demostró que, al no tener ninguna afectación por parte de la celulosa, a menor cantidad de zeolita y cantidades de celulosa variada (1 – 1.3 g) las biopelículas presentan mayor módulo de elasticidad, de esta forma la mejor interacción se dio en el factor B2 (%Zeolita: 0.2 g).

**Figura 18.** Módulo de elasticidad de cada tratamiento



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la norma NTE INEN 2635:2012 nos establece que el módulo de elasticidad de una lámina delgada debe encontrarse entre 1027 MPa y 9928 MPa, con estos valores se puede decir que las biopelículas elaboradas dentro de esta investigación sobrepasan los valores solicitados dentro de la norma.

3.3.4 *Espesor.* El rango de espesor que se obtuvo en la presente investigación va entre 0.25 y 0.28 mm, esto se observa en la tabla 21.

**Tabla 21.** Espesor de cada tratamiento estudiado

<b>Celulosa (%)</b>	<b>Zeolita (%)</b>	<b>Espesor (mm)</b>
<b>A1</b>	<b>B1</b>	0.25 ± 0.04
<b>A1</b>	<b>B2</b>	0.28 ± 0.03
<b>A2</b>	<b>B1</b>	0.25 ± 0.04
<b>A2</b>	<b>B2</b>	0.28 ± 0.01

**Fuente:** Elaboración propia

Para la determinación del espesor se analizó la norma INEN 2542, la misma que posee valores de referencia de  $0.120 \pm 0.010$  mm los mismos que de acuerdo a <sup>76</sup> son valores específicos para la obtención de biopelículas de excelente calidad. Analizando los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que estos sobrepasan los valores de referencia presentando un valor promedio de espesor de 0.2625 mm.

Una biopelícula con un grosor inferior a los 0.10 mm presentará déficit en sus propiedades físicas por esta razón controlar el espesor en una biopelícula es de suma relevancia debido a que puede generar cambios en sus propiedades físicas, mecánicas y de barrera.<sup>77,78</sup>

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se obtuvo la formulación más óptima para las biopelículas mediante el método casting, donde la formulación más adecuada se basó en la utilización de 1 ml de glicerol, 2 g PVA, 1.5 g almidón y la variación de celulosa de raquis de banano (1 g – 1.3 g) y de zeolita clinoptilolita (0.2 g – 0.5 g), donde las biopelículas se formaron de manera adecuada y la adherencia entre ellas es nula.
- Se realizaron los análisis de las propiedades mecánicas de las cuatro formulaciones de biopelículas y se obtuvieron buenos resultados para cada propiedad. Para el % de elongación los mejores tratamientos son A1B1 y A2B1 con un promedio de 6.65%, en el módulo de elasticidad los mejores resultados lo presentan los tratamientos A1B2 y A2B2 con un promedio de 11.90 MPa. Además, la propiedad de fuerza a la tracción no presentó diferencia entre las formulaciones, de esta manera se puede decir que la cantidad de celulosa y de zeolita es aceptada en todos los tratamientos.
- Se compararon los resultados obtenidos de las propiedades mecánicas con distintas normas nacionales entre ellas la INEN 2290, INEN 2542 y INEN 2635; sin embargo, los análisis de las propiedades mecánicas de las biopelículas no ingresan en ninguna de ellas.

## 4.2 Recomendaciones

- Evitar el aumento de temperatura al inicio del proceso, adicionar el almidón a los 50°C de esta forma alcanzará su punto de gelificación.
- Durante la adición del PVA evitar que se formen pelotas del producto para esto pueden subir la revolución y ayudarse con agitación manual.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) León Moncada, A.; Bravo Aranibar, N.; Pandía Estrada, S.; Aleman Polo, M.; Romero Santivañez, R. Desarrollo y Caracterización de Biopelículas a Partir de Mezclas de Almidón de Maíz - Papa, Sorbitol y Aceite Esencial de Orégano (*Origanum Vulgare*). *Revista de la Sociedad Química del Perú* **2022**, 88 (3). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.401>.
- (2) Alexander, J.; Pilataxi, B.; Santiago, L.; Almendáriz, C.; Flores-Huilcapi, A. G.; Alejandro, A.; Pinos, R.; Huilcapi, F.; Rodríguez, &. Obtención y Caracterización de Un Bioplástico a Partir de Garbanzo (*Cicer Arietinum*). *ConcienciaDigital* **2022**, 5 (1), 57–69. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i1.1964>.
- (3) Marshall, J. Victory for Crowdsourced Biomolecule Design. *Nature* **2012**. <https://doi.org/10.1038/NATURE.2012.9872>.
- (4) Darmayanti, R. F.; Muharja, M.; Widjaja, A.; Widiastuti, N.; Rachman, R. A.; Widyanto, A. R.; Halim, A.; Satrio, D.; Piluharto, B. Performance of Modified Hollow Fiber Membrane Silver Nanoparticles-Zeolites Na–Y/PVDF Composite Used in Membrane Bioreactor for Industrial Wastewater Treatment. *Heliyon* **2023**, 9 (11), 2405–8440. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21350>.
- (5) Jeaneth, E.; Ramos, B.; Lourdes, I. S.; Espinoza, R. Elaboración de Biopelículas de Harina de Musa Acuminata Activadas Con Aceites Esenciales Rosmarinus Officinalis Y Eucalyptus Globulus Mediante Técnica Casting, **2021**. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7637>.
- (6) Pérez, R. H.; Castillo, A. Á.; Paredes, A. O.; Delgado, A. M. S. Obtención de Nanocelulosa a Partir de Residuos Postcosecha. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* **2023**, 16 (30), 1e–47e. <https://doi.org/10.22201/CEIICH.24485691E.2023.30.69662>.
- (7) Burgos Briones, G. A.; Mendoza Vélez, C. J.; Mendoza Pico, C. E.; Bedón Arteaga, V. G.; Alcívar Cedeño, U. E. Aprovechamiento Del Pinzote de Banano (*Musa Paradisiaca*) En La Elaboración de Papel. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982 **2022**, 69. [https://doi.org/10.33936/LA\\_TECNICA.V0I0.4494](https://doi.org/10.33936/LA_TECNICA.V0I0.4494).
- (8) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. R. Residuos Agroindustriales Generados En Ecuador Para La Elaboración de Bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* **2018**, 17 (3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>.

- (9) Redondo-Gómez, C.; Quesada, M. R.; Astúa, S. V.; Zamora, J. P. M.; Lopretti, M.; Vega-Baudrit, J. R. Biorefinery of Biomass of Agro-Industrial Banana Waste to Obtain High-Value Biopolymers. *Molecules* **2020**, Vol. 25, Page 3829 2020, 25 (17), 3829. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25173829>.
- (10) Caicedo, W.; Viáfara, D.; Pérez, M.; Alves Ferreira, F. N.; Rubio, G.; Yanza, R.; Caicedo, M.; Caicedo, L.; Valle, S.; Ferreira, W. M. Características Químicas Del Ensilado de Raquis de Plátano (*Musa Paradisiaca*) y Banano Orito (*Musa Acuminata* AA) Tratado Con Suero de Leche y Urea, **2020**, Vol. 31. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172020000400005&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172020000400005&script=sci_abstract).
- (11) Perez Niebla, A. T.; Sanchez Chunga, D. J. Análisis de La Obtención de Fibras de Celulosa a Partir de Raquis de Banano Mediante Extracción Tradicional y Extracción Acelerada, **2020**. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15661>.
- (12) Mayhuire, E. A.; Huamaní, Y. C.; Zanard, L. M.; Miranda, E. M. de. Biopelículas Producidas Con Cáscara de Naranja y Reforzadas Con Celulosa Bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú* **2019**, 85 (2), 231–241. <https://doi.org/10.37761/RSQP.V85I2.80>.
- (13) Ortega-Peña, S.; Hernández-Zamora, E. Biopelículas Microbianas y Su Impacto En Áreas Médicas: Fisiopatología, Diagnóstico y Tratamiento. *Bol Med Hosp Infant Mex* **2018**, 75 (2), 79–88. <https://doi.org/10.24875/BMHIM.M18000012>.
- (14) Brito, C. A.; Silvino, A. C. Uma Breve Revisão Do Uso de Derivado Do Limoneno Como Monômero Promissor Na Síntese de Polímeros Biodegradáveis. *Rev. Virtual Quim* **2021**, 13 (4), 1017–1041. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20210031>.
- (15) Gabriel López Abúndez, Á.; López Beltrán, E.; Laura Martínez Valdez, D. Fabricación de Biopolímeros Como Alternativa Para Reducir La Generación de Residuos Plásticos, **2022**, Vol. 9. <https://revistasinvestigacion.lasalle.mx/index.php/mclidi/article/view/3496/3478>.
- (16) Rubio-Anaya, M.; Guerrero-Beltrán, Y. Polímeros Utilizados Para La Elaboración de Películas Biodegradables, **2012**, Vol. 6. [https://www.researchgate.net/profile/Joseangel-Guerrero-Beltran/publication/285092312\\_Polimeros\\_utilizados\\_para\\_la\\_elaboracion\\_de\\_p](https://www.researchgate.net/profile/Joseangel-Guerrero-Beltran/publication/285092312_Polimeros_utilizados_para_la_elaboracion_de_p)

eliculas\_biodegradables/links/5a0f16b70f7e9bd1b2bd35c5/Polimeros-utilizados-para-la-elaboracion-de-peliculas-biodegradables.pdf.

- (17) Souza, A. F.; Behrenchsen, L.; Souza, S. J.; Yamashita; Leimann, F. V; Shirai, \*. Production and Characterization of Starch Composite Films with Silver Loaded Zeolite, **2018**, Vol. 25. [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(03\)%202018/\(58\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(03)%202018/(58).pdf).
- (18) Guaña-Escobar, F.; Vaca-Tenorio, M.; Aguilar-Morales, J. Biopelículas y Envases Activos, Nuevas Tecnologías En La Industria Alimentaria, **2022**, Vol. 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8920203>.
- (19) Argueta Miranda, M. de la P.; Trujillo Rivera, A. Elaboración y Caracterización de Una Biopelícula a Partir de Almidón de Plátano Verde (Musa Paradisiaca) Incorporando Aceite Esencial de Orégano (Origanum Sp.) Como Inhibidor Microbiano En La Preservación de Fresas Empacadas. June 1, **2019**. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/17926>.
- (20) Solano-Doblado, L. G.; Alamilla-Beltrán, L.; Jiménez-Martínez, C. Películas y Recubrimientos Comestibles Funcionalizados. TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas **2018**, 21 (0), 30–42. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2018.0.153>.
- (21) Acurio Rocafuerte, R. M.; Cabezas Rodríguez, H. K. Elaboración de Biopelículas a Partir de Residuos de Tallos de Flores, **2022**. [https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UG\\_02244762c56128654276b0ff40616952](https://rraae.cedia.edu.ec/Record/UG_02244762c56128654276b0ff40616952).
- (22) Medina-Jaramillo, C.; López-Cordero, A. F. Materiales Biodegradable Activos a Base de Almidon y Alcohol Polivinilico., **2018**, Vol. 82. <https://go.gale.com/ps/i.do?p=IFME&sw=w&issn=0122056X&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA590858260&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>.
- (23) Estrada, A.; Medina, O.; Quispe, R.; Martínez, A.; Acueducto, A.; La Laguna Ticomán, B. Caracterización de La Fabricación de Un Andamio de Alcohol Polivinilico (Pva) Para La Sobrevivencia Celula, **2016**. [https://speckle.inaoep.mx/%7Etecnologia\\_salud/2016/documentos/memorias/MyT2016\\_042\\_E.pdf](https://speckle.inaoep.mx/%7Etecnologia_salud/2016/documentos/memorias/MyT2016_042_E.pdf).
- (24) Alexandra, O.; Morocho1, G.; Elizabeth, D.; Caraguay2, G. Desarrollo de Películas Biodegradables Usando Zeolitas Impregnadas Con Plata. Avances Investigación en Ingeniería **2021**, 18 (1 (Enero-Junio)). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/AVANCES.1.6751>.

- (25) Zapata Criollo, D. M. Evaluación de Biopelículas Formuladas a Partir de Almidón de Banano Verde (*Musa Paradisiaca*) y Yuca (*Manihot Esculenta*) Con Gel de Sábila (*Aloe Vera*)., **2019**. [https://www.researchgate.net/publication/348088762\\_Biopelicula\\_a\\_partir\\_de\\_almidon\\_de\\_banano\\_verde\\_Musa\\_paradisiaca\\_y\\_mandioca\\_Manihot\\_esculenta](https://www.researchgate.net/publication/348088762_Biopelicula_a_partir_de_almidon_de_banano_verde_Musa_paradisiaca_y_mandioca_Manihot_esculenta).
- (26) Díaz Alejandro, A. M. Elaboración y Caracterización Fisicomecánica de Una Película Biodegradable Utilizando Harina de Cáscara de Plátano (*Musa Paradisiaca* L.), **2021**. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/9106d7c1-c7e5-462a-b21e-de9caca0b56a/content>.
- (27) Lafuente Aranda, G. "Glicerol: Síntesis y Aplicaciones," **2017**. [https://www.academia.edu/37310018/Sintesis\\_y\\_Aplicaciones\\_de\\_Glicerol](https://www.academia.edu/37310018/Sintesis_y_Aplicaciones_de_Glicerol).
- (28) Rengifo Reyes, D. A.; Téllez Espinosa, E. P. Elaboración de Biopelícula a Partir de La Semilla de Aguacate Variedad Lorena, **2021**. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/8731463>.
- (29) Marcela, L.; Torres, M.; Steven, S.; Calderón, Q.; Distrital, U.; De Caldas, F. J. Generación de Bioplástico a Base Del Almidón Producido Por La Semilla Del Aguacate, **2021**. <https://repository.udistrital.edu.co/items/c60f9c28-f306-4f88-a9c3-079d6a30e19e>.
- (30) León Mendez, G.; León Mendez, D.; Monroy Arellano, M. R.; De La Espriella Angarita, S.; Herrera Barros, A. Modificación Química de Almidones Mediante Reacciones de Esterificación y Su Potencial Uso En La Industria Cosmética. **2020**. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4263410>.
- (31) Raúl, C.; Bustos, B.; Pablo, J.; Sánchez, G.; Guevara, A.; Suarez, D.; Lozano, N.; Castillo, S. Propiedades, Modificaciones y Usos de Los Almidones, Con Miras a La Obtención de Películas Biodegradables. Artículo de Revisión. *Rev Invest (Guadalajara)* **2017**, 10 (2), 135–152. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.87>.
- (32) Ramos García, M. de L.; Romero Bastida, C.; Bautista Baños, S. Almidón Modificado: Propiedades y Usos Como Recubrimientos Comestibles Para La Conservación de Frutas y Hortalizas Frescas; **2018**. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>.

- (33) Enríquez, M.; Velasco, R.; Ortiz, V. Composición y Procesamiento de Películas Biodegradables Basadas En Almidón, **2012**, Vol. 10. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>.
- (34) Adhemir, R.; Vega, P. Propuesta de Elaboración de Bioplástico En Base a Almidón de Yuca Para Vasos Descartables, **2020**. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12438>.
- (35) Cuaces, V.; Felipe, A.; Moreira, C.; Lissette, W.; Anchundia, C.; Universidad, J.; De Manabí, T.; Portoviejo -Ecuador, P. Obtención de Polímeros Biodegradables a Partir Del Almidón de Yuca. MQRInvestigar **2023**, 7 (1), 2680–2700. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.2680-2700>.
- (36) Reyes, C.; Vladimir, G.; Orantes, M.; Antonio, E.; Guadrón, F.; Renán, C.; José, P.; Académico Carlos Alberto Zúniga-González Gerson Vladimir Cornejo Reyes, E.; de El Salvador, U.; Salvador Edgar Antonio Marinero Orantes, E.; Salvador Carlos Renán Funes Guadrón, E.; Salvador Pedro José Toruño, E.; Académico Carlos Alberto Zúniga-González, E.; clave, P. Biopolímeros Para Uso Agro Industrial: Alternativa Sostenible Para La Elaboración de Una Película de Almidón Termo Plástico Biodegradable. Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. **2020**, 6 (11), 1359–1382. <https://doi.org/10.5377/RIBCC.V6I11.9824>.
- (37) Martínez De La Cruz, S.; Jiménez Ramos, E. Obtención y Caracterización Física y Química Del Almidon de Yuca (Manihot Esculentum) Variedad Guayape, **2016**. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/865>.
- (38) Pineda Gómez, P.; Coral, D. F.; Arciniegas, M. L.; Rorales Rivera, A.; Rodríguez García, M. E. Papel Del Agua En La Gelatinización Del Almidón de Maíz: Estudio Por Calorimetría Diferencial de Barrido., **2010**, Vol. 6. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83516540008>.
- (39) F., L.; C., M. Evaluación Físicoquímica y Nutricional de Almidones y Películas Comestibles a Base de Almidón, **2015**. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/21588>.
- (40) Torres, L. C.; Malaver, O.; Álvarez, A. D.; Pradilla, C. Efecto de Las Condiciones de Deformación Sobre La Temperatura de Gelatinización En La Preparación Del Almidón Termoplástico de Maíz. Uniandes **2012**. <http://hdl.handle.net/1992/25061>.
- (41) Ghinis Rojas, D. M. Efecto de La Homogeneización Sobre Las Propiedades Físicoquímicas y Mecánicas de Una Película Elaborada a Base de Almidón de

Maíz Doblemente Modificado., **2018**.  
<http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/2181>.

- (42) López Rodríguez, D. F.; Rojas González, A. F. Factores Que Influyen Las Propiedades Mecánicas, Físicas y Térmicas de Materiales Compuestos Madero Plásticos. *Entre ciencia e ingeniería* **2018**, 12 (23), 93–102. <https://doi.org/10.31908/19098367.3708>.
- (43) Caiza Ilbay, A. P. Obtención de Una Biopelícula a Partir Del de Maracuyá (Passiflora Edulis f. Flavicarpa) y Verde (Musa Paradisiaca) Para El de Alimentos, **2021**. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16796/1/96T00708.pdf>.
- (44) Escobar Guadarrama, J. A. Elaboración y Caracterización de Biopelículas Elaboradas Con Quitosano y Adicionadas Con Partículas de Almidón, **2020**. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109321>.
- (45) Benitez S., A. M. Desarrollo de Un Empaque Activo Biodegradable Para Aguacate (Persea Americana). **2018**. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6222>.
- (46) Renato, D.; Vela, M. Extracción de Celulosa a Partir de La Especie Calamagrostis Intermedia Para La Preparación de Compuestos Semisintéticos, **2021**. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/32958>.
- (47) Mishra, R. K.; Sabu, A.; Tiwari, S. K. Materials Chemistry and the Futurist Eco-Friendly Applications of Nanocellulose: Status and Prospect. *Journal of Saudi Chemical Society* **2018**, 22 (8), 949–978. <https://doi.org/10.1016/J.JSCS.2018.02.005>.
- (48) Jiménez Coello, C. Evaluación de Polímeros En Pseudotallos de Musa Acuminata AAA, Musa Sapientum ABB y Musa Paradisiaca AAB Para Elaboración de Bioplástico, **2017**. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/1586>.
- (49) Fallas, M. J.; Alfaro, C. C.; Arias, J. M. Cellulases Production Optimization and Inductors Evaluation in Pretreated Plantain Rachis by Penicillium Oxalicum. **2019**. <https://doi.org/10.1002/ep.14400>.
- (50) Montes Pérez, S. Refuerzos Celulósicos Procedentes de Residuos Agrícolas. Aplicación de La Nanocelulosa En La Preparación de Biocomposites Biodegradables, **2020**. <http://addi.ehu.es/handle/10810/50410>.

- (51) Mesa, N.; Bionanocomposites, N. Estado Del Arte Del Uso de Bionanocomposites Para La Eliminación de Contaminantes Emergentes de Aguas Residuales.; **2019**. <https://idus.us.es/handle/11441/94136>.
- (52) Roxanna Mercedes Zambrano Muñoz, A.; Juan Alejandro Neira Mosquera, I. Estudio de Los Procesos Para La Obtención de Celulosa a Partir de Tallo, Hojas y Raquis Con Fines Industriales, de Plátano (Musa Acuminata Red Dacca, Musa Acuminata y Musa Paradisiaca)., **2018**. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cc9c6867-7924-4451-a6d3-784c43fc8a07/content>.
- (53) Cifuentes Sánchez, W. G.; Cifuentes Rivera, E. Propuesta de Aprovechamiento de La Fibra de Plátano En La Región Del Ariari Departamento Del Meta, **2019**. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4925>.
- (54) Robalino, W. S. M.; Aguirre, M. E. U.; Robalino, C. D. M.; Fiallos, D. C. C. Georreferenciación de Zeolitas Naturales En La Cordillera Chongón-Colonche Del Ecuador. Revista de Investigación Talentos **2022**, 9 (1), 45–59. <https://doi.org/10.33789/TALENTOS.9.1.160>.
- (55) Granda Morocho, O. A. Desarrollo de Películas Biodegradables Usando Zeolitas Impregnadas Con Plata, **2020**. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/20.500.11962/26464>.
- (56) Tapia Huanambal, N. J.; Bravo Ayala, M. M.; Lengua Calle, R. L.; Becerra Vásquez, E. Y.; Vegas Saavedra, X. A.; Ale Borja, N. Acondicionamiento de La Zeolita Clinoptilolita Para La Adsorción de Aniones Fosfato. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas **2023**, 26 (52), e25997. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i52.25997>.
- (57) Hosseinnia, M.; Alae, R.; Tabarzadi, P.; Masoumi, A.; Farrokhzad, H.; Poorkhalil, A. Zeolite-Based Polymer Composite Films for Vegetables and Fruits Packaging: A Review. Journal of Vinyl and Additive Technology **2024**, 30 (2), 363–382. <https://doi.org/10.1002/VNL.22067>.
- (58) Bukit, N. Mechanical and Thermal Properties of Polypropylene Reinforced by Calcined and Uncalcined Zeolite. Makara Journal of Technology **2012**, 16 (2), 5. <https://doi.org/10.7454/mst.v16i2.1510>.
- (59) Quispe, A. R.; Cabrera, S. O.; Blanco, M.; Villca, L.; Quispe, E.; García, G.; Bello, A.; Iq, E. Mineralogical and Crystallo-Chemical Characterization of Bolivian

- Natural Zeolites. *Bolivian Journal of Chemistry* **2019**, 36 (3), 126–138.  
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.3.3>.
- (60) Zeolita Natural Ficha Técnica.  
<https://www.guatecompras.gt/ofertas/files/1985/4289474%40Hoja%20Tecnica%20Zeolita.pdf>.
- (61) Larrazabal Bustos, L. L. Obtención de Nanopartículas de NZIV (Hierro Cero Valente) En Zeolitas Naturales Para La Mitigación de Drenajes Ácido de Mina (DAM) Provenientes de La Localidad de Milluni La Paz., **2023**.  
<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/31582>.
- (62) Amaya Díaz, A. M. Determinación de Las Características Físicas de Sustancias Reactivas: Piroclastos Volcánicos, Zeolita Clinoptilolita, Zeolita Modernita, de Origen Ecuatoriano Para El Tratamiento de Agua, **2021**.  
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/32615>.
- (63) Luis, J.; Mustelier, C. Caracterización y Aplicaciones de Las Rocas Zeolíticas Del Complejo Volcánico de Cabo de Gata (Almería), **2008**.  
[https://oa.upm.es/1211/1/JORGE\\_LUIS\\_COSTAFREDA\\_MUSTELIER.pdf](https://oa.upm.es/1211/1/JORGE_LUIS_COSTAFREDA_MUSTELIER.pdf).
- (64) Delgado Lopez, S. L.; Flores Guayara, L. K. Obtención y Caracterización de Celulosa Obtenida a Partir de Fibra de Coco (Coco Nucífera) Utilizando El Método Alcalino., **2023**. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22846>.
- (65) Bolio-López, G. I.; Valadez-González, A.; Veleza, L.; Andreeva, A. Whiskers de Celulosa a Partir de Residuos Agroindustriales de Banano: Obtención y Caracterización. *Rev Mex Ing Quim* **2011**, 10 (2), 291–299.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000200013](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200013).
- (66) López-Martínez, A.; Bolio-López, ; Veleza, ; Solórzano-Valencia, ; Acosta-Tejada, ; Hernández-Villegas, ; Salgado-García, ;; Córdova-Sánchez, ; Obtención de Celulosa a Partir de Bagazo de Caña de Azúcar (*Saccharum Spp.*). *Agro Productividad* **2016**, 9 (7). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/784>.
- (67) Martha, M.; Arreola, S.; Jesús, E.; González, G.; Eleydy, L.; Barbosa, R.; Ortiz Rodríguez, G. Extracción y Caracterización de Celulosa a Partir de La Planta Del Plátano: Extracção e Caracterização Da Celulose Da Planta Da Bananeira.

- Brazilian Journal of Development **2022**, 8 (12), 78810–78819.  
<https://doi.org/10.34117/BJDV8N12-130>.
- (68) Gómez Murillo, A. A. Remoción de Metales Pesados de Las Aguas Del Río Santa En El Recuay – Ticapampa Mediante Biofiltro Con Cáscara De., **2020**.  
<https://repositorio.usanpedro.edu.pe/server/api/core/bitstreams/ba06aeb7-6799-4e85-8917-09282c8d7e11/content>.
- (69) Florez-Vargas, A. O.; Sánchez-Molina, J.; Sánchez-Zuñiga, J. V. Caracterización de Los Residuos de La Cosecha Del Plátano Harton Para Un Potencial Uso Industrial. AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería **2020**, 8 (3), 13–16. <https://doi.org/10.15649/2346030X.821>.
- (70) Vergara, J.; Gacitúa, W.; Alejandro, S. Desarrollo de Un Biofilm En Base a PLA Cargado Con Iones de Cobre Soportados En Nanoparticulas de Zeolita Natural Chilena y Reforzado Con Nanofibras de Celulosa Para El Empaque de Alimentos Carnicos. Informador Tecnico **2018**, 82 (2 SI), 89–95. <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA590858262&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=0122056X&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E4863dc7&aty=open-web-entry>.
- (71) Arévalo Niño, K.; Elizabeth Alemán Huerta, M.; Guadalupe Rojas Verde, M.; Morales Rodríguez, L. A.; Manuel Barragán Av Pedro de Alba, A. L.; Universitaria, C.; Nicolás de los Garza, S.; México, N. Películas Biodegradables a Partir de Residuos de Cítricos: Propuesta de Empaques Activos; **2010**.  
<https://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/19>.
- (72) Guerra-Silva, Y. I.; Luis Valin-Rivera, J. I.; Elena Fernández-Abreu III, M.; Jesús Mondelo-García III, F.; Díaz-Batista III, D.; Figueredo-Losada Alexander Alfonso-Alvarez V, H. V. Characterization of Thermo-Fixed Polymer Matrix Composite Reinforced with Cuban Zeolite Particles. 2017, 26 (3).  
<https://www.redalyc.org/journal/932/93252908008/html/>.
- (73) Avalos Barreto, D. A.; Guevara Parimango, J. C. Estudio de La Resistencia a La Tracción, La Deformación, La Rigidez, de Biopelículas de Almidón de Semilla de Persea Americana Mill Reforzadas Con Celulosa de La Corona de Ananas Comosus. Universidad Nacional de Trujillo **2023**.  
<https://hdl.handle.net/20.500.14414/18336>.

- (74) Ordoñez Benavides, J. G. Evaluación de Las Propiedades Térmicas y Mecánicas Del Polipropileno Reforzado Con Zeolitas Tipo ZSM-5, **2016**. <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/502>.
- (75) Dorigato, A.; Dzenis, Y.; Pegoretti, A. Filler Aggregation as a Reinforcement Mechanism in Polymer Nanocomposites. *Mechanics of Materials* **2013**, 61, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2013.02.004>.
- (76) Angueta, M.; Angueta, L. Elaboración de Envases Bioplásticos Mediante El Aprovechamiento de Materias Primas Vegetales Con Fines Industriales, **2019**. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d74ae87b-e8d3-44bd-a4ca-b5269ea55ff0/content>.
- (77) González, R. E.; Tarón, A.; Pérez, J. Biopelículas de Gelana Cargadas Con Nanopartículas de Plata: Propiedades Físico Mecánicas, Antimicrobianas y de Barrera. *Información tecnológica* **2017**, 28 (6), 53–60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600007>.
- (78) Moposita Vásquez, D. D.; Fonseca Quishpi, E. M. Biopelículas a Partir de Harina Zea Mays L. Activado Con Aceite de *Romarinus Officinalis* y *Eucalyptus Globulus* Mediante Técnica Casting. 2020. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6864>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2635:2012



Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2635:2012**

---

## **MÉTODO DE ENSAYO PARA LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN DE LÁMINAS PLÁSTICAS DELGADAS.**

### **Primera Edición**

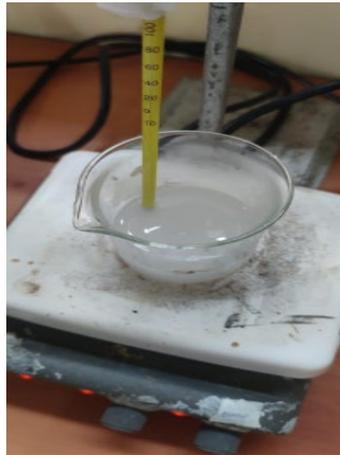
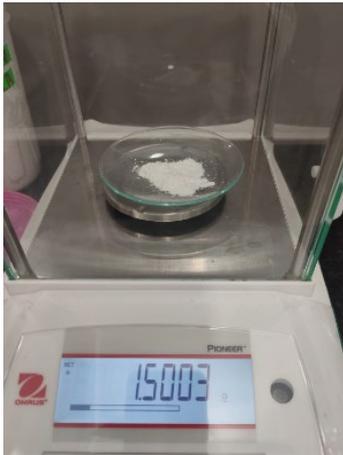
TEST METHOD FOR TENSILE PROPERTIES OF THIN PLASTIC SHEETING.

First Edition

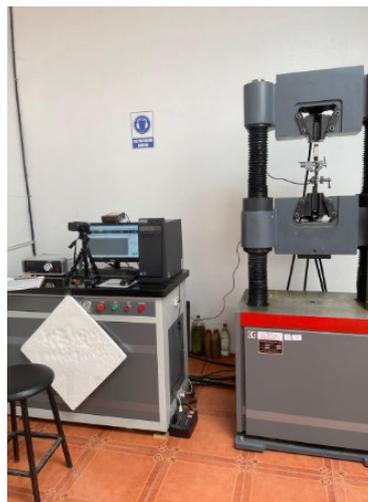
---

DESCRIPTORES: Industria del caucho y del plástico, películas y láminas, módulo de elasticidad, propiedades de tracción, resistencia a la tracción.  
PL 03.01-310  
CDU: 678.5:620.172  
CIU: 3560  
ICS: 83.140.10

## Anexo 2. Elaboración de las biopelículas



## Anexo 3. Análisis de laboratorio



## Anexo 4. Resultado de análisis de laboratorio



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 1					
SOLICITADO POR:	Mayeli Lisbeth Macas Córdova - Stephany Michelle Quizhpi Maldonado				
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"				
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA				
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO				
MATERIAL:	LAMINA DE BIOPLÁSTICO DE RAQUIS DE BANANO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07				
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17				
FECHA DE ENSAYO:	16-jul-24				
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B				
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD				
SERIE:	7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D			CÓD IDENT: M2
NÚMERO DE LA MUESTRA	1	2	3	4	5
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	BR1-P1	T1R1-P2	T2R1-P3	T3R1-P4	T4R1-P5
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,14	0,21	0,29	0,25	0,27
ANCHURA [mm]	6,30	5,93	5,79	5,86	6,04
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	0,88	1,25	1,68	1,47	1,63
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	6,324,E+00	4,400,E+01	2,060,E+01	4,402,E+00	1,471,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	1,94	3,36	1,68	0,82	1,85
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2,20	2,70	1,00	0,49	1,10
CARGA MAXIMA [N]	3,37	4,26	3,26	1,51	3,07
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3,83	3,42	1,94	0,90	1,83
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	69,44	1,16	1,72	5,08	1,52
OBSERVACIONES:					

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

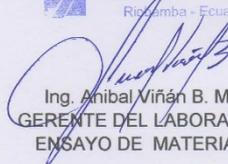
Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

Calle Roma N° 7 y Padua, Cdla. Politécnica (03) 2 924420 - 0987260955  
✉ jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 2					
SOLICITADO POR:	Mayeli Lisbeth Macas Córdova - Stephany Michelle Quizhpi Maldonado				
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"				
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA				
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO				
MATERIAL:	LAMINA DE BIOPLÁSTICO DE RAQUIS DE BANANO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07				
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17				
FECHA DE ENSAYO:	16-jul-24				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136      CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D      CÓD IDENT: M2					
NÚMERO DE LA MUESTRA	6	7	8	9	10
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	BR2-P1	T1R2-P2	T2R2-P3	T3R2-P4	T4R2-P5
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,13	0,29	0,22	0,30	0,28
ANCHURA [mm]	6,04	5,8	5,86	5,85	5,78
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	0,79	1,68	1,29	1,76	1,62
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3,552,E+00	6,473,E+00	4,790,E+00	8,823,E+00	1,796,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	1,26	0,98	0,70	1,11	1,42
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,60	0,58	0,54	0,86	1,10
CARGA MAXIMA [N]	2,75	1,75	1,13	2,17	2,77
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3,50	1,04	0,88	1,68	2,15
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	123,00	6,84	7,40	2,48	3,20
OBSERVACIONES:					

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

INFORME DE RESULTADOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN			Denominación: RG 18 - 1		
N° 3					
SOLICITADO POR:	Mayeli Lisbeth Macas Córdova - Stephany Michelle Quizhpi Maldonado				
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"				
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA				
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLÁSTICO DE CELULOSA DE RAQUIS DE BANANO				
MATERIAL:	LAMINA DE BIOPLÁSTICO DE RAQUIS DE BANANO				
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07				
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17				
FECHA DE ENSAYO:	16-jul-24				
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B					
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD					
SERIE: 7136      CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D      CÓD IDENT: M2					
NÚMERO DE LA MUESTRA	11	12	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	BR3-P1	T1R3-P2	T2R3-P3	T3R3-P4	T4R3-P5
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,15	0,24	0,23	0,28	0,29
ANCHURA [mm]	6,14	5,85	5,73	5,96	5,39
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm <sup>2</sup> ]	0,92	1,40	1,32	1,67	1,56
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,215,E+00	1,981,E+00	6,879,E+00	8,231,E+00	1,261,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	1,47	0,76	0,92	1,58	0,79
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	1,60	0,54	0,70	1,20	0,60
CARGA MAXIMA [N]	3,81	1,06	1,76	1,99	1,57
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	4,13	0,75	1,33	1,51	1,19
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	87,44	6,56	5,80	5,80	4,04
OBSERVACIONES:					

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.  
GERENTE DEL LABORATORIO  
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1