



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

Evaluación de las propiedades mecánicas de biopelículas de celulosa de fibra de coco y zeolita a partir de diferentes formulaciones.

**CURILLO CHAMBA ANA LUCIA
INGENIERA QUIMICA**

**ORELLANA VELEZ JORGE LUIS
INGENIERO QUIMICO**

**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 fibra de coco y zeolita a partir de diferentes formulaciones.

**CURILLO CHAMBA ANA LUCIA
INGENIERA QUIMICA**

**ORELLANA VELEZ JORGE LUIS
INGENIERO QUIMICO**

**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 fibra de coco y zeolita a partir de diferentes
formulaciones.**

**CURILLO CHAMBA ANA LUCIA
INGENIERA QUIMICA**

**ORELLANA VELEZ JORGE LUIS
INGENIERO QUIMICO**

BLACIO TORO SUSANA ELIZABETH

**MACHALA
2024**

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

por Curillo Chamba Ana Lucia - Orellana Velez Jorge Luis

Fecha de entrega: 11-ago-2024 08:46p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2430682518

Nombre del archivo: Tesis_-_2024-D1_Curillo-Orellana_-_11-08-2024.docx (11.43M)

Total de palabras: 13800

Total de caracteres: 79709

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

7 %

FUENTES DE INTERNET

2 %

PUBLICACIONES

2 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1 %
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
3	ftp.isdi.co.cu Fuente de Internet	<1 %
4	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
5	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
6	www.upo.es Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
8	revistas.utm.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

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

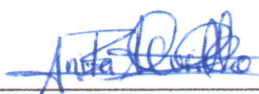
Los que suscriben, CURILLO CHAMBA ANA LUCIA y ORELLANA VELEZ JORGE LUIS, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de las propiedades mecánicas de biopelículas de celulosa de fibra de coco y zeolita a partir de diferentes formulaciones., otorgan a la Universidad Técnica 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.

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

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

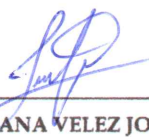
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

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



CURILLO CHAMBA ANA LUCIA

0751002924



ORELLANA VELEZ JORGE LUIS

0706021086

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a Dios por ser mi guía espiritual y haberme dado la sabiduría y la fuerza para culminar con mi carrera universitaria, agradezco a mis padres Carmen Chamba y Luis Curillo por su amor incondicional, apoyo constante y sabios consejos a lo largo de mi vida. Sin su sacrificio y perseverancia, este logro no habría sido posible. A mis hermanos Naún, David y Emilia, por su cariño, comprensión y por ser una fuente de motivación e inspiración. Agradezco a mi novio y compañero de carrera Jorge Luis Orellana Vélez, por su paciencia, motivación y apoyo inquebrantable durante este arduo camino y a otras más personas que en el transcurso de esta etapa me supieron apoyar y motivar a alcanzar cada una de mis metas académicas. Mis más sinceros agradecimientos a cada una de estas personas por ser un pilar fundamental en mi vida.

Ana Lucia Curillo Chamba

Este trabajo de titulación va dedicado a mis preciadas abuelas, María Rosario y Rosa Tene, y a mi querido abuelo, José Orellana, cuyos valores y enseñanza han sido el pilar de mi vida. A mis padres, Sandra Elizabeth Vélez Tene y Hugo Leodan Orellana Rosario, por su incondicional apoyo, que me han impulsado siempre hacia adelante. A mi hermano, Angel Fabricio Orellana Vélez por ser una constante fuente de inspiración y alegría. A mi novia y compañera en esta aventura, Ana Lucia Curillo Chamba, cuyo amor, paciencia y colaboración han sido fundamentales en la realización de este trabajo. Y a mi mascota fiel Kratos, cuya lealtad y alegría me ha brindado momentos de luz en los días más oscuros. Este logro es de todos ustedes, quienes han sido mi fortaleza e inspiración.

Jorge Luis Orellana Vélez

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra más profunda gratitud al Dr. Freddy Pereira por dar a disposición su laboratorio para la realización de este trabajo experimental, a la Dra. Susana Blacio, nuestra tutora de titulación, por su invaluable guía y apoyo constante; al Ing. Wilson León, nuestro cotutor de titulación, por su orientación técnica; y al Dr. Byron Lapo, Dr. Víctor Gonzales e Ing. Humberto Ayala por facilitarnos los reactivos, materiales y equipos necesarios para nuestra investigación. Su colaboración y apoyo fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se basó en evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas a partir de diferentes formulaciones de celulosa de fibra de coco y zeolita comparando estos resultados con normas nacionales e internacionales. Se utilizó el método casting en la elaboración de las biopelículas y se aplicó un diseño factorial 2^k de dos factores y tres repeticiones experimentales. La formulación adecuada de biopelículas se evaluó de forma visual, seleccionando la que mejor características presentaba, se escogió la formulación de 1% - 1.3% de celulosa y 0.2% - 0.5% de zeolita. Se evaluaron las propiedades mecánicas para medir su espesor (mm), módulo de elasticidad (MPa), resistencia a la tracción (MPa) y porcentaje de alargamiento en la rotura (%). Los resultados con el análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos, pero si entre los factores, se observó que un mayor contenido de celulosa y zeolita aumentaba el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción, pero reducía el porcentaje de alargamiento en la rotura. La zeolita influyó significativamente en el espesor y el módulo de elasticidad ya que una menor proporción de zeolita aumentaba el espesor por lo que una mayor proporción de la misma incrementó el módulo de elasticidad. Los resultados se compararon con estándares nacionales e internacionales, concluyendo que la elección óptima del tratamiento dependerá de las propiedades mecánicas con las que cuente la biopelícula deseada para futuras aplicaciones.

Palabras claves: Biopelícula, celulosa, zeolita, tratamientos, propiedades mecánicas, normativa.

ABSTRACT

This research work was based on evaluating the mechanical properties of biofilms from different formulations of coconut fiber cellulose and zeolite, comparing these results with national and international standards. The casting method was used in the elaboration of the biofilms and a 2^k factorial design with two factors and three experimental repetitions was applied. The appropriate formulation of biofilms was evaluated visually, selecting the one with the best characteristics; the formulation of 1% - 1.3% cellulose and 0.2% - 0.5% zeolite was chosen. The mechanical properties were evaluated to measure its thickness (mm), modulus of elasticity (MPa), tensile strength (MPa) and percentage elongation at break (%). The results of the analysis of variance showed no significant differences between treatments, but between factors, it was observed that a higher cellulose and zeolite content increased the modulus of elasticity and tensile strength, but reduced the percentage of elongation at break. Zeolite significantly influenced the thickness and modulus of elasticity since a lower proportion of zeolite increased the thickness and a higher proportion of zeolite increased the modulus of elasticity. The results were compared with national and international standards, concluding that the optimal choice of treatment will depend on the mechanical properties of the desired biofilm for future applications.

Key words: Biofilm, cellulose, zeolite, treatments, mechanical properties, standards.

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	16
OBJETIVOS.....	19
Objetivo General.....	19
Objetivos específicos.....	19
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1 Contaminación ambiental por residuos agroindustriales.....	20
1.1.1 Residuos Agroindustriales de Coco.....	20
1.2 Residuos Lignocelulósicos	21
1.3 Biopolímeros.....	21
1.4 Biopelículas.....	21
1.4.1 Propiedades de las Biopelículas.....	21
1.4.1.1 Propiedades mecánicas de las biopelículas.....	22
1.4.1.2 Realización de pruebas mecánicas	23

1.4.2 Elaboración de biopelículas.	23
1.4.2.1 Método Casting.....	23
1.5 Celulosa.....	24
1.5.1 Definición de la celulosa.....	24
1.5.2 Estructura de la celulosa.....	25
1.5.3 Propiedades de la celulosa.....	26
1.5.4 Celulosa de fibra de Coco.....	26
1.5.4.1 Propiedades de la celulosa de fibra de coco.....	26
1.6 Zeolita.....	27
1.6.1 Definición de la zeolita.....	27
1.6.2 Estructura de la zeolita.....	27
1.6.3 Propiedades mecánicas de la zeolita.....	28
1.6.4 Tipos de Zeolita Natural.....	28
1.6.4.1 Zeolita Clinoptilolita.....	30
1.7 Almidón.....	32
1.7.1 Definición de almidón.....	32
1.7.2 Estructura del almidón.....	32
1.7.3 Propiedades de la amilosa y de la amilopectina.....	34
1.7.3.1 Gelatinización.....	34
1.7.3.2 Retrogradación.....	35
1.8 Yuca (Manihot Esculenta).....	35
1.8.1 Almidón de Yuca.....	35
1.8.2 Propiedades fisicoquímicas, funcionales y morfológicas del almidón de yuca.....	36
1.8.3 Propiedades mecánicas del almidón de yuca.....	36

1.9 Alcohol polivinílico (PVA).....	37
1.10 Glicerol.....	37
1.11 Agua.....	38
2. METODOLOGÍA.....	39
2.1 Sujetos de análisis.....	39
2.1.1 Tipo de Investigación.....	39
2.1.2 Lugar de la investigación.....	39
2.1.3 Población de estudio.	40
2.1.4 Tamaño de la muestra.....	40
2.1.5 Tipos de Variables.....	40
2.1.5.1 Variables Independientes.....	40
2.1.5.2 Variables Dependientes.	40
2.2 Materiales y métodos.....	41
2.2.1 Materiales.	41
2.2.1.1 Equipos, materiales e insumos para la elaboración de biopelículas.....	41
2.2.1.2 Equipos para ensayos de tracción de biopelículas.....	41
2.2.2 Métodos.	42
2.2.2.1 Procedimiento de Elaboración de Biopelículas.	42
2.2.2.2 Método de ensayo de tracción de biopelículas.....	44
2.3 Proceso de recolección y análisis de los datos	45
2.3.1 Diseño Experimental.	45
2.3.2 Tratamientos.....	45
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46

3.1 Formulación de biopelículas.....	46
3.2 Análisis de las propiedades mecánicas	51
3.2.1 Análisis de varianza por tratamientos.	53
3.2.1.1 Espesor vs tratamientos.....	55
3.2.1.2 Módulo de elasticidad vs tratamientos.....	55
3.2.1.3 Resistencia a la tracción vs tratamientos.....	56
3.2.1.4 Porcentaje de elongación vs tratamientos.....	57
3.2.2 Análisis de varianza por factores.	58
3.2.2.3 Resistencia a la tracción vs factores.....	63
3.2.2.4 Porcentaje de elongación vs factores.	64
3.3 Comparación de calidad de las biopelículas.....	64
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1 Conclusiones	67
4.2 Recomendaciones	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	80

CONTENIDO DE GRÁFICOS

	pág.
Figura 1. Esquema del método Casting.....	24
Figura 2. Estructura de la celulosa.....	25
Figura 3. Estructura tetraédrica de la Zeolita.....	27
Figura 4. Representación esquemática de la zeolita natural Clinoptilolita (CLI).....	31
Figura 5. Estructura de la amilosa.....	33
Figura 6. Estructura de la amilopectina.....	34
Figura 7. Georreferenciación del lugar de estudio.....	39
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de biopelículas.....	44
Figura 9. Gráfica de intervalos de Espesor (mm)	55
Figura 10. Gráfica de intervalos de Módulo de la elasticidad (Mpa)	56
Figura 11. Gráfica de intervalos de Resistencia a la Tracción (MPa).	57
Figura 12. Gráfica de intervalos de Porcentaje de elongación (%)	58
Figura 13. Comparación de espesor en Tukey	61
Figura 14. Comparación de módulo de elasticidad en Tukey	63

CONTENIDO DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Propiedades físicas de los tipos de zeolita natural y fases sintéticas más importantes	28
Tabla 2. Propiedades de la amilosa y la amilopectina	34
Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas, funcionales y morfológicas.....	36
Tabla 4. Variables independientes.....	40
Tabla 5. Equipos, materiales e insumos.....	41
Tabla 6. Tratamientos de las materias primas	42
Tabla 7. Tratamiento de las variables de estudio.....	45
Tabla 8. Pruebas experimentales para determinar la formulación apropiada de biopelículas.	46
Tabla 9. Resultados de pruebas de tracción.	52
Tabla 10. Datos del análisis de varianza espesor (mm) vs tratamientos.....	54
Tabla 11. Datos del análisis de varianza módulo de la elasticidad (Mpa) vs tratamientos	54
Tabla 12. Datos del análisis de varianza resistencia a la tracción (MPa) vs tratamientos.	54
Tabla 13. Datos del análisis de varianza porcentaje de elongación (%) vs tratamientos ..	54
Tabla 14. Terminología para las concentraciones de celulosa y zeolita.....	59
Tabla 15. Datos del análisis de varianza Espesor vs. %Celulosa; %Zeolita	60
Tabla 16. Comparaciones por parejas de Tukey: %Zeolita	60
Tabla 17. Datos del análisis de varianza módulo de la elasticidad (Mpa) vs. %Celulosa; %Zeolita	62
Tabla 18. Comparaciones por parejas de Tukey: %Zeolita	62
Tabla 19. Datos del análisis de varianza resistencia a la Tracción (MPa) vs. %Celulosa; %Zeolita	64

Tabla 20. Datos del análisis de varianza porcentaje de elongación (%) vs. %Celulosa;
%Zeolita64

Tabla 21. Pruebas de tracción de materiales.65

CONTENIDO DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Proceso de elaboración de biopelículas.	80
Anexo B. Probetas del Tratamiento 1.	81
Anexo C. Probetas del Tratamiento 2.	82
Anexo D. Probetas del Tratamiento 3.	83
Anexo E. Probetas del Tratamiento 4.	84
Anexo F. Probetas del Tratamiento Blanco.	85
Anexo G. Equipo de ensayo de materiales.	86
Anexo H. Proceso de ensayo de materiales.	87

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es común el discurso sobre la preservación ambiental, el cambio climático, la proliferación de emisiones contaminantes en la atmósfera, así como la contaminación de cuerpos de agua como ríos y lagos. Estos fenómenos adversos se derivan principalmente del empleo extendido de plásticos convencionales, pues su producción se basa en derivados del petróleo, lo que conlleva a graves problemas ambientales debido a que estos plásticos no son degradables, lo que genera su persistencia como agentes contaminantes durante periodos prolongados.¹

Como resultado de esta situación, se han venido desarrollando innovaciones en la creación de productos que sean compatibles con el medio ambiente a partir de residuos agroindustriales, como es el caso de los materiales poliméricos derivados de fuentes renovables, pues muchos de estos materiales han captado la atención y el interés de la comunidad científica y los sectores industriales en los últimos años, debido a su versatilidad y aplicabilidad en diversas áreas.¹

Los residuos agroindustriales se refieren a aquellos materiales que surgen durante la producción o el procesamiento de productos, que carecen de valor económico para el que lo genera tras su uso inicial. Estos residuos se pueden presentar en estado gaseoso, líquido y sólido, sin embargo, la mayoría de estos desechos exhiben una naturaleza sólida y orgánica, los cuales se caracterizan por un elevado contenido de material lignoceluloso.²

La gestión de desechos agroindustriales muestra deficiencias significativas en cuanto a su impacto ambiental, frecuentemente, una proporción considerable de estos desechos se depositan de manera inapropiada en áreas de suelo seco, vertederos a cielo abierto, espacios vacíos o se queman sin control, lo cual puede resultar en la obstrucción de cursos de agua debido a la dispersión por el viento, además de causar un deterioro visual en el entorno. No obstante, debido a sus propiedades biológicas y químicas, estos residuos representan un recurso valioso para diversas aplicaciones, su capacidad de aprovechamiento varía según el tipo, así como la cantidad de residuo, para lo cual se disponen alternativas de valoración de primera y segunda generación para su tratamiento adecuado.³

El enfoque de la valoración de primera generación se da en la producción de bienes de consumos derivados de biomasa, tales como sustratos para el cultivo de hongos, biohidrógeno, alimentos para animales, bioetanol, compost y biogás. En contraste, la valoración de segunda generación, se orienta hacia la obtención de compuestos específicos como colágeno, aminoácidos, pectina, quitosano, ceras, celulosa, azúcares, resinas, fenoles, almidón, entre otros. Estos compuestos se emplean en la manufactura de productos básicos y especialidades químicas.³

Para la obtención de estos compuestos, se implementan técnicas avanzadas de conversión, que incluyen métodos de transformación química y catalítica, procesos biológicos y síntesis verde. A pesar de que es factible recuperar subproductos a partir de los residuos generados en estos procesos, es fundamental integrar etapas preliminares como la higienización y pretratamiento. Además, se deben evaluar diversas metodologías de procesamiento, tales como térmicas, mecánicas, físico-mecánicas y químicas, para optimizar el rendimiento y la eficiencia del producto final.³

De acuerdo a lo anterior, en Ecuador se producen alrededor de 2.2 millones de toneladas de residuos agroindustriales anualmente, principalmente conformados por desechos lignocelulósicos o compuestos con contenido de almidón, lo que revela la existencia de una abundante materia prima con potencial para crear nuevos productos.⁴ Actualmente, se han realizado investigaciones orientadas a la formulación de biopelículas a partir de estos residuos, evaluando su eficacia como un material plástico biodegradable en diversas pruebas.⁵

Es por esta razón que, la gestión de subproductos derivados del consumo de cocos ha suscitado interés entre los defensores de la preservación ambiental, esto se debe a que, gran porcentaje de la totalidad del coco se considera como un desecho. En Ecuador, los residuos de coco son frecuentemente incinerados en condiciones de cielo abierto o depositados en vertederos sin una clasificación previa de residuos, ocasionando una contaminación ambiental significativa.⁶⁻⁸

Por lo que, el aprovechamiento eficiente de los residuos agroindustriales derivados del coco representa un beneficio directo para la sociedad, debido a que dichos residuos poseen un impacto directo perjudicial en la salud de la población, en los ecosistemas y en la calidad de vida, la incineración de la estopa de cocotero ocasiona daños en la capa de ozono,

generando dióxido de carbono y óxido nitroso durante la combustión como en el proceso de descomposición, que a su vez produce metano, estos gases de efecto invernadero son causantes o contribuyentes al cambio climático.⁹

Por otro lado, la viabilidad de emplear películas biodegradables como reemplazo a los plásticos convencionales está condicionado directamente con las propiedades del plástico producido y su aplicabilidad específica, pues dichas propiedades incluyen la capacidad de actuar como barrera al aire, tanto para el oxígeno como para la humedad, así como características mecánicas y térmicas, susceptibilidad a migraciones, contaminación microbiana, capacidad de resistir a la penetración de microorganismos y resistencia al agua para su impermeabilización.¹⁰

Por esta razón, la elaboración de esta película biodegradable se llevará a cabo utilizando celulosa de fibra de coco y zeolita natural. Se elige la zeolita natural por su capacidad para mejorar la resistencia a la tracción en materiales biodegradables, además de funcionar como tamiz molecular gracias a su estructura de microporos, por otro lado, ésta se destaca por su capacidad de absorción y su estado de estabilidad térmica como química.¹¹

De tal forma que, este estudio tiene como objetivo adquirir datos sobre las propiedades mecánicas de las biopelículas con el fin de evaluar su conformidad con los estándares establecidos por las normativas nacionales, lo cual permitirá determinar su capacidad para ser empleadas en la fabricación de diversos productos, considerando sus propiedades mecánicas específicas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas a partir de diferentes formulaciones de celulosa de fibra de coco (Cocos nucifera) y zeolita comparándolo con los parámetros de calidad establecidos en normas nacionales e internacionales.

Objetivos específicos

- Formular biopelículas a diferentes proporciones de celulosa de fibra de coco y zeolita natural.
- Evaluar las propiedades mecánicas de biopelículas con las diferentes formulaciones de celulosa de fibra de coco y zeolita.
- Comparar los parámetros de calidad de las biopelículas con las normas nacionales e internacionales

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Contaminación ambiental por residuos agroindustriales

La contaminación ambiental se define como la introducción de sustancias que contaminan el entorno, las cuales pueden ser físicas, químicas o biológicas. Este fenómeno representa un riesgo para la salud, seguridad y bienestar para los seres vivos, lo cual compromete a la sostenibilidad y estructura de los recursos ambientales.^{12,13}

Ahora bien, los residuos agroindustriales se refieren a la materia residual, ya sea en estado sólido o líquido, que surge como resultado del proceso de conversión de materias primas en productos finales, y generalmente carecen de una aplicación subsiguiente dentro de la cadena productiva.¹⁴

Por su parte, la agroindustria genera una variedad de residuos, los cuales, cuando no se someten a un tratamiento adecuado, se convierten en agentes contaminantes para el medio ambiente y la salud humana. La incineración o disposición en vertederos al aire libre o terrenos baldíos provoca una contaminación significativa en el suelo, agua y otros entornos naturales.⁴

1.1.1 Residuos Agroindustriales de Coco. En Ecuador, se registra una notable producción de cocos, concentrada principalmente en la región Costa, representando alrededor del 85% de la producción total. En las provincias de El Oro, Guayas, Esmeraldas, Los Ríos y Manabí es donde se focaliza esta actividad. El país cuenta con zonas con un gran potencial para el cultivo del coco, pero su demanda se centra en sus componentes principales como el agua y la pulpa, de tal manera que, no se aprovecha el resto de sus partes las cuales son comúnmente desechadas.¹⁵

En la actualidad, solo se aprovecha el 17% de los residuos agroindustriales generados por el coco, específicamente la cubierta y la parte media de la fruta, mientras que el 83% restante se considera un desecho.⁸ La membrana externa de este fruto está compuesta por un material fibroso, representado el 30% del peso total del coco. Muchas empresas en el sector agroindustrial consideran esta fibra, conocida como bonote, como un residuo que generalmente se quema o se deposita en vertederos sanitarios.¹⁶

1.2 Residuos Lignocelulósicos

La agroindustria produce volúmenes significativos de residuos, cuyas propiedades exhiben una notable diversidad, condicionada por el origen de la materia prima empleada y su método de fabricación. A pesar de estas variaciones, estos residuos comparten una característica distintiva: su contenido predominante de materia orgánica, compuesta por diversos porcentajes de lignina, pectina, hemicelulosa y celulosa. Por consiguiente, se les cataloga como residuos lignocelulósicos.¹⁷

1.3 Biopolímeros

Los biopolímeros constituyen macromoléculas presentes en sistemas biológicos, siendo sustancias poliméricas producidas de forma completa o parcial provenientes de fuentes renovables tales como plantas, microorganismos o árboles. Estos compuestos biológicos se clasifican de tres formas principales como ácidos nucleicos, proteínas y polisacáridos, por lo general, exhiben elevados pesos moleculares y están compuestos por unidades idénticas en la que un monómero tiende a repetirse a lo largo de la cadena.¹⁸

1.4 Biopelículas

Una biopelícula se conceptualiza como una lámina delgada que se puede aplicar sobre un alimento con el propósito de impedir que pierda o gane humedad, del mismo modo, la elaboración de este tipo de material biodegradable se puede desarrollar de manera independiente al sustrato alimenticio. Por otro lado, se destacan en el control de cambios nutricionales y organolépticos, también, regulan el intercambio de gases como: vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, los cuales pueden provocar alteraciones en el producto.¹⁹

1.4.1 Propiedades de las Biopelículas. Son considerados como una clase de polímeros, específicamente del tipo polisacárido, que poseen parámetros físicos y químicos, las biopelículas pueden presentar propiedades como la elongación, resistencia mecánica, capacidad de retención de agua, capacidad de transmitir luz y permeabilidad de gases. Estos parámetros se encuentran clasificados en propiedades ópticas, estructurales y mecánicas.²⁰

1.4.1.1 *Propiedades mecánicas de las biopelículas*. Las propiedades mecánicas de acuerdo con la NTE INEN 2635 se describen a continuación.²¹

- *La resistencia a la tracción nominal*. Señala cuán resistente puede ser un material ante una fuerza de estiramiento que se le aplique.²²

La resistencia a la tracción (nominal) se calcula dividiendo la carga máxima por la sección transversal mínima original de la probeta. El resultado debe expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa). Este valor debe reportarse a tres cifras significativas. La carga máxima puede ocurrir en el límite de elasticidad, en el límite de rotura, o en la región entre el límite de elasticidad y el límite de rotura.²¹

- *El porcentaje de alargamiento en la rotura*. Conocido también como porcentaje de elongación, se refiere a la capacidad de un material para deformarse o extenderse hasta alcanzar su punto de ruptura.²³

El porcentaje de alargamiento en la rotura se calcula dividiendo la extensión al momento de la rotura de la probeta por la longitud inicial calibrada de la probeta y multiplicando por 100. Cuando se utilizan marcas de calibradores o extensómetros para definir una sección específica de prueba, solamente esta longitud se utiliza en el cálculo; caso contrario se utiliza la distancia entre las mordazas. El resultado debe expresarse en porcentaje y reportarse a dos cifras significativas.²¹

- *El módulo elástico*. Muestra el nivel de rigidez que pueda presentar el material.²⁴

El módulo elástico debe calcularse trazando una tangente a la porción lineal inicial de la curva de carga-extensión, seleccionando cualquier punto en esta tangente y dividiendo el esfuerzo de tracción por la deformación correspondiente. Previo al cálculo, corregir la extensión para la "compensación del arranque". Para efectos de esta determinación, el esfuerzo de tracción se debe calcular dividiendo la carga por la sección transversal original promedio de la sección de ensayo. El resultado debe

expresarse en fuerza por unidad de área, por lo general megapascales (MPa), y reportarse a tres cifras significativas.²¹

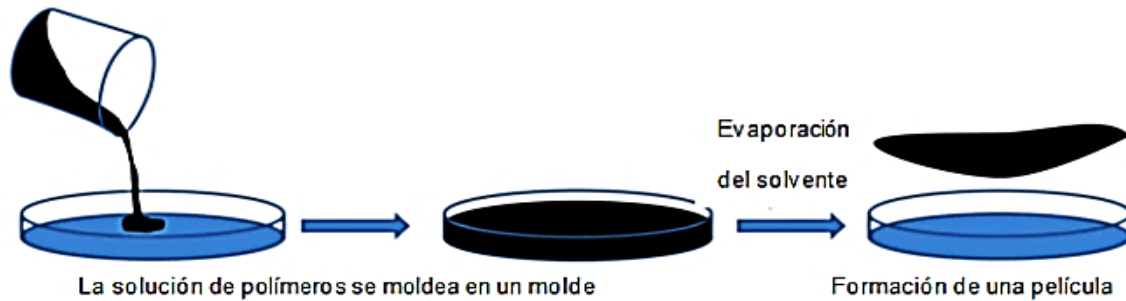
1.4.1.2 Realización de pruebas mecánicas. El proceso comienza rotulando cada una de las probetas dependiendo el tratamiento, con la finalidad de evitar confusiones durante el procedimiento de la prueba. Se miden datos específicos de la probeta como espesor (mm) que puede realizarse con un calibrador manual, así mismo, se mide el ancho (mm) y la altura (mm) los mismos que son ingresados a un programa por lo general se utiliza el software Horizon.²⁵

De esta forma, se coloca una de las probetas en la maquina universal de ensayos entre la mordaza superior e inferior y se inicia la prueba, el proceso puede grabarse con una cámara digital que permite capturar el esfuerzo axial creciente que se produce en la probeta antes de su ruptura, momento en el cual finaliza el ensayo mecánico, este tiene una duración de aproximadamente 10 minutos. Los resultados se exportan al programa Excel para su análisis posterior.²⁵

1.4.2 Elaboración de biopelículas. Existen actualmente varios métodos para elaborar biopelículas, en específico en la industria alimentaria suelen optar entre lo más principales por los métodos como el recubrimiento (coating), la inmersión (dripping or immersing), el ensamblaje capa por capa (layer-by-layer assembly), extrusión y el método casting, este último es el más preferido debido a su simplicidad, dando como resultados estructura óptimas para análisis, lo que facilita su aplicación en diferentes estudios y experimentos.²⁶

1.4.2.1 Método Casting. Es un método aplicable en la elaboración de películas y se trata de un procedimiento en la que se vierte un líquido sobre una superficie o molde bajo parámetros específicos dando lugar a la formación de un material sólido que replica la misma forma del molde. Las ventajas inherentes a este método manifiestan distribución homogénea del espesor, pureza óptima destacable, notoria planitud y estabilidad dimensional.²⁷

Figura 1. Esquema del método Casting



Fuente: ²⁷

En los últimos años, se ha venido aplicando este método por la simplicidad de requerir de menos equipos. Varios estudios han demostrado que la producción de biopelículas mediante este método no requiere de equipos costosos y su elaboración puede completarse en un tiempo de 15 a 30 minutos aproximadamente, lo que facilita su realización en laboratorios.²⁸

De la misma forma, es considerado un método tradicional ya que no requiere de modificaciones químicas al almidón, ni controles constantes de presión o temperatura.²⁹ Este proceso permite crear películas con baja permeabilidad al vapor de agua y solubilidad, características destacables para el empaque de alimentos donde se busca mantener un nivel constante de humedad.²⁸ No obstante, la principal desventaja que presentan los prototipos elaborados siguiendo este método es la tendencia a la aparición de grietas en las láminas. A pesar de esto, aplicando formulaciones adecuadas de las materias primas, es posible obtener un producto final con propiedades mecánicas y físicas de igual similitud a las de los plásticos derivados del petróleo.³⁰

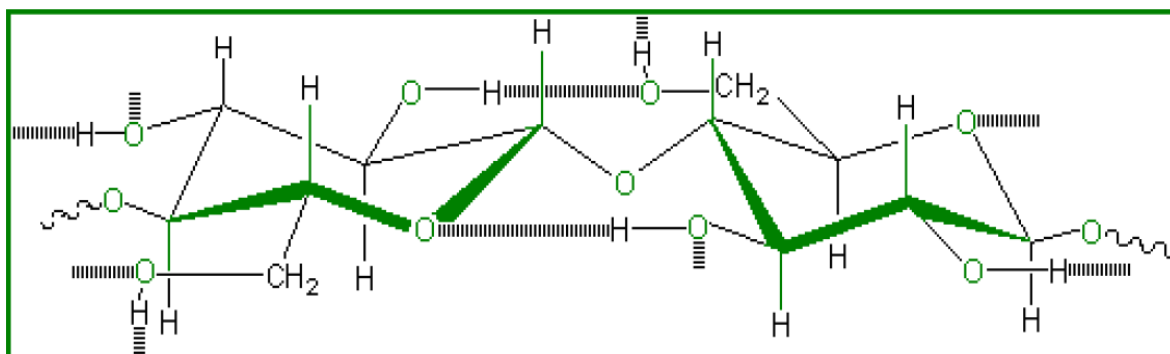
1.5 Celulosa

1.5.1 Definición de la celulosa. La celulosa es un componente estructural en las paredes celulares de las plantas, se considera un carbohidrato complejo compuesto por más de 3000 unidades repetitivas de glucosa, asimismo, se destaca por su biodegradabilidad, estabilidad química y biocompatibilidad, por lo cual, su forma nativa y modificada ha sido extensamente estudiada.³¹

1.5.2 Estructura de la celulosa. Es un polímero semicristalino conformado por cadenas lineales de unidades de D-glucopiranosas sin ramificaciones, este se presenta en forma de material compuesto junto con otros componentes como hemicelulosa y lignocelulosa. La estructura química de este compuesto guarda similitud con la del almidón, no obstante, su extrema rigidez se debe a la presencia de enlaces β (1 \rightarrow 4) glicosídicos de estructura interna. Cada unidad de celulosa provoca la formación de haces de fibrillas y esto es debido a sus tres grupos hidroxilo que establecen la formación de enlaces de hidrógeno, estos haces ocasionan una alteración en regiones amorfas en desorden de las regiones cristalinas consideradas altamente ordenadas.³²

Por otra parte, la fibra de celulosa contribuye a la resistencia a la fractura de los compuestos debido a su elevada cristalinidad, resistencia mecánica, amplia superficie específica y de similitud química con el almidón permitiéndole actuar como agente reforzador.³³

Figura 2. Estructura de la celulosa



Fuente: ³⁴

Las unidades fundamentales de anhidro- β -D-glucopiranosas en la cadena de celulosa se encuentran conectadas por enlaces conocidos como β -glucosídicos (C1-C4), los cuales son enlaces etéricos específicos. Estos se forman por la eliminación de una molécula de agua del hidroxilo glicosídico C1 de una unidad de D-glucosa y del hidroxilo alcohólico secundario del C4 de la unidad de D-glucosa adyacente. Se denomina oxígeno glicosídico (-O-) al oxígeno que enlaza las dos unidades estructurales elementales, y a su vez difiere del oxígeno en el puente del óxido (C1-O-C5) que participa en la formación del ciclo de la piranosa. La unidad elemental de anhidro- β -D-glucopiranosas se presenta en la forma del β -

anómero, debido a que este isómero constituye el disacárido celobiosis, que representa el penúltimo producto en la hidrólisis de la celulosa.³⁴

1.5.3 Propiedades de la celulosa. La celulosa se distingue como un biopolímero con propiedades excepcionales como la biocompatibilidad y biodegradabilidad, así como su habilidad en la absorción de agua. Su origen renovable y la capacidad de ser ajustada a necesidades específicas la hacen útil para diversas aplicaciones. Los materiales a base de celulosa son considerados económicos y ecológicos, ya que son elaborados de una diversidad de materias primas naturales.³⁵

Asimismo, la versatilidad de la celulosa se presenta en su capacidad para formar geles, lo que la hace útil como agente espesante y estabilizador en distintas formulaciones alimenticias. Además, es capaz de formar películas comestibles que la convierten en una solución ideal para revestimientos en alimentos, lo que ayuda a extender su vida útil y preservar su calidad. En el ámbito farmacéutico, la celulosa crea sistemas de liberación controlada en los medicamentos, y su naturaleza mucoadhesiva la hace valiosa para incorporar ingredientes activos y crear productos funcionales. Por otro lado, gracias a sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas puede adaptarse eficientemente a distintos ambientes alimentarios, asegurando principalmente estabilidad y consistencia en las formulaciones en las que se emplea.³⁶

1.5.4 Celulosa de fibra de Coco. La fibra de coco se caracteriza por presentar aproximadamente un 35.9% de celulosa, 18.56% de hemicelulosa y un 19.38% de lignina en su composición, siendo la celulosa el mayor componente presente en este residuo.³⁷

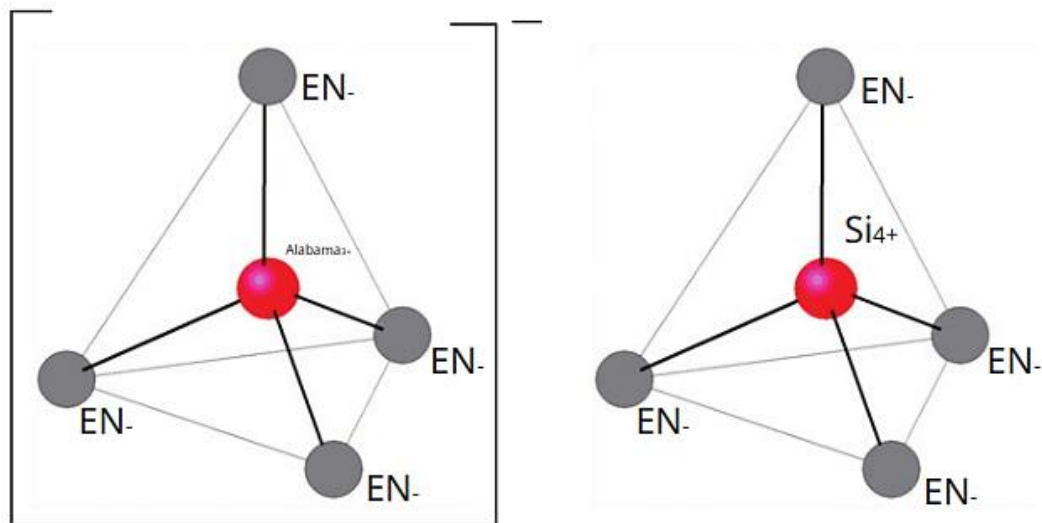
1.5.4.1 Propiedades de la celulosa de fibra de coco. La celulosa extraída del coco se caracteriza por presentar una estructura porosa, esto conlleva a una acelerada disminución de su masa, cuenta con una notable tolerancia al calor, esto evidencia una degradación térmica en un rango de temperatura que oscila los 300 – 350 °C, se destaca por un grado de cristalinidad que alcanza el 65.9%, si se eleva este valor la celulosa contará con mayor resistencia térmica, cohesividad y fluidez intermedia, de igual forma, presenta una morfología transversal atípica, con superficies heterogéneas lo que acelera su degradación y microfibrillas que cuentan con un grosor promedio de 1.37 nm.^{32,38,39.}

1.6 Zeolita

1.6.1 Definición de la zeolita. La zeolita es un silicato de aluminio que contiene una estructura cristalina abierta tridimensional, este mineral incorpora átomos de silicio, aluminio y oxígeno en poros que permiten alojar moléculas de agua. Su estructura posee una serie de agujeros, canales o redes interconectados, cuyos tamaños oscilan entre los 3 a 10 Å, los cuales son capaces de albergar moléculas pequeñas.⁴⁰

1.6.2 Estructura de la zeolita. La unidad fundamental de la zeolita consiste en un tetraedro con un átomo de silicio (Si) o aluminio (Al) en su centro, rodeado por cuatro átomos de oxígeno en sus vértices. Cada átomo de oxígeno se comparte entre dos tetraedros, formando a su vez canales periódicos de una a tres dimensiones con una apertura típicamente menor a 2 millas náuticas. La repetición de la estructura de la zeolita resulta en poros idénticos, ocupando los canales y las cavidades un 50% aproximado del volumen total de la zeolita por lo que, el agua contenida en esos espacios constituye el 10% al 12% de su masa, por esta razón las zeolitas se clasifican como tamices moléculas debido a su capacidad de separación selectiva con base al tamaño o forma de los poros, así como también, catalizadores, intercambiadores de iones y adsorbentes.^{40,41}

Figura 3. Estructura tetraédrica de la Zeolita



Fuente: ⁴⁰

1.6.3 *Propiedades mecánicas de la zeolita.* Las zeolitas al ser materiales microporosos muestran propiedades mecánicas importantes, tales como la separación de gases, la catálisis y el intercambio iónico.⁴² En este contexto, a través de modelos de regresión basados en aprendizaje automático, se hace posible estimar propiedades mecánicas intrínsecas como los módulos de cizallamiento y de volumen, los cuales se fundamentan en descriptores críticos derivados de las zeolitas, logrando predicciones de 17.3% y 10.6%, en los módulos volumétrico y de corte de las zeolitas, respectivamente.⁴³ Cabe resaltar que los tratamientos mecánicos ejercen gran influencia en el comportamiento de las zeolitas, logrando ocasionar alteraciones en el área superficial, morfología, composición de sus fases y unidad estructural. Un ejemplo por destacar es la zeolita natural en polvo, que suele ser sometida a tratamientos mecánicos con el fin de reducir su tamaño para que exista un aumento en su área superficial.⁴⁴

1.6.4 *Tipos de Zeolita Natural.*

Tabla 1. Propiedades físicas de los tipos de zeolita natural y fases sintéticas más importantes

Familia	Tipo de Zeolita	Nombre Químico	Fórmula Típica de la Celda Unitaria	Sistema Cristalino	Volumen de poro	Gravedad Específica	Dimensión de los canales	Estabilidad Térmica	Capacidad de Intercambio Iónico
Analcima	Analcima	Alumino silicato hidratado de sodio	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{13}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Cúbico	18	2.24 – 2.29	2.6 Å	Alta	454
Analcima	Wairakita	Alumino silicato hidratado de sodio y calcio	$\text{Ca}_8(\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	20	2.26	-	Alta	461

Fuente:^{45,46}

Tabla 1. (Continuación)

Familia	Tipo de Zeolita	Nombre Químico	Fórmula Típica de la Celda Unitaria	Sistema Cristalino	Volumen de poro	Gravedad Específica	Dimensión de los canales	Estabilidad Térmica	Capacidad de Intercambio Iónico
Natrolita	Natrolita	Alumino silicato hidratado de sodio	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	23	2.20 – 2.26	6-7 x 7.0 2.6 x 3.9	Baja	526
		Alumino silicato hidratado de calcio	$\text{Na}_2\text{Ca}_6(\text{Al}_{24}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$				Hexagonal		
Chabazita	Chabazita	Alumino silicato hidratado de calcio, potasio y sodio	$(\text{Na}_{0.5}\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	35	2.02 – 2.08	3.6 x 5.2	Alta	312
		Alumino silicato hidratado de magnesio, calcio y sodio	$\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 240\text{H}_2\text{O}$						
Chabazita	Faujasita	Alumino silicato hidratado de calcio, magnesio, potasio y sodio	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	-	2.14 – 2.21	4.3 x 5.5 3.4 x 4.8	Alta	233
		Alumino silicato hidratado de sodio, calcio y potasio	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$				Ortorrómbico		
Mordenita	Mordenita	Alumino silicato hidratado de sodio, calcio y potasio	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Ortorrómbico	28	2.12 – 2.15	2.9 x 5.7	Alta	229

Fuente:^{45,46}

Tabla 1. (Continuación)

Familia	Tipo de Zeolita	Nombre Químico	Fórmula Típica de la Celda Unitaria	Sistema Cristalino	Volumen de poro	Gravedad Específica	Dimensión de los canales	Estabilidad Térmica	Capacidad de Intercambio Iónico
		Alumino silicato hidratado de sodio y calcio	$Ca_4(Al_8Si_{28}O_{72}) \cdot 24H_2O$	Monoclínico	39	2.10 – 2.20	4.0 x 5.5 4.4 x 7.2 4.1 x 4.7	Baja	291
Heulandita	Clinoptilolita	Alumino silicato hidratado de sodio, potasio y calcio	$Na_4K_4(Al_8Si_{40}O_{96}) \cdot 24H_2O$	Monoclínico	39	2.16	3.9 x 5.4	Alta	254
	Laumontita	Alumino silicato hidratado de calcio	$Ca_4(Al_8Si_{16}O_{48}) \cdot 16H_2O$	Monoclínico	34	2.20 – 2.30	4.6 x 6.3	Baja	425
Harmotoma	Phillipsita	Alumino silicato hidratado de potasio, sodio y calcio	$(NaK)_{10}(Al_{10}Si_{22}O_{64}) \cdot 20H_2O$	Ortorrómico	31	2.15 – 2.20	4.2 x 4.4 2.8 x 4.8	Baja	387
	Linde A	Alumino silicato hidratado de sodio	$Na_{12}(Al_{12}Si_{12}O_{48}) \cdot 27H_2O$	Cúbico	47	1.99	3.3 4.2	Alta	548
Fases Sintéticas	Linde X	Alumino silicato hidratado de sodio	$Na_{86}(Al_{86}Si_{106}O_{384}) \cdot 264H_2O$	Cúbico	50	1.93	7.4	Alta	473

Fuente:^{45,46}

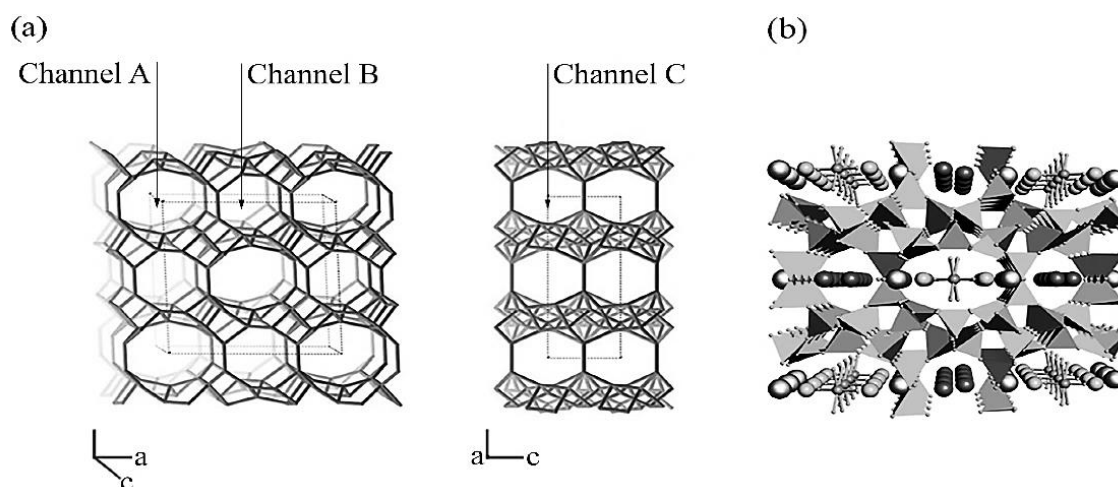
1.6.4.1 Zeolita Clinoptilolita. La Clinoptilolita (CLI), es una zeolita natural ampliamente investigada, es muy común y se destaca por su accesibilidad económica. Se pueden encontrar depósitos alrededor del mundo, y dependiendo de la localización geográfica de

los yacimientos, la cantidad de CLI varía entre un 60% y un 90%. Pertenece al grupo de zeolitas naturales Heulandita (HEU) y se caracteriza por una razón de Silicio/Aluminio que varía de 4.0 a 5.3, otorgándole una notable estabilidad térmica capaz de soportar temperaturas de hasta 800 °C.⁴⁷

Además, la CLI es altamente valorada debido a su disponibilidad y estructura, lo que ha propiciado su amplio uso en diversas áreas y procesos industriales, como la agricultura, la veterinaria, el campo médico y la protección ambiental. Gracias a su capacidad de ser químicamente modificada y alta estabilidad térmica, la convierte en una buena opción para aplicaciones en el ámbito de la catálisis. Es tipo de zeolita natural ha demostrado ser eficaz en la descomposición de una variedad de contaminantes a estos se incluyen tintes orgánicos, compuestos farmacéuticos, pesticidas, herbicidas y óxidos de nitrógeno (NO_x).⁴⁷

Actualmente, la CLI se usa para convertir desechos vegetales y otros materiales en biocombustibles y también para sintetizar importantes compuestos químicos industriales. En cuanto a su estructura, esta se compone de tres tipos de canales, dos de estos canales son paralelos entre sí y se denomina tipo A, constituidos por anillos de diez miembros (0.3×0.76 nm) y tipo B, formados por anillos de 8 miembros (0.33×0.46 nm). Por otro lado, el tipo C consta de anillos de 8 miembros (0.26×0.47 nm) interceptando los canales A y B.⁴⁷

Figura 4. Representación esquemática de la zeolita natural Clinoptilolita (CLI)



Nota. (a) Estructura tridimensional de la red de la Clinoptilolita (CLI), (b) vista de las cavidades y canales dentro de la estructura de la CLI (los tetraedros simbolizan las unidades

básicas $(\text{SiO}_4)^{4-}$ y $(\text{AlO}_4)^{5-}$); las esferas ilustran los cationes que pueden ser reemplazados por otros iones.⁴⁷

Fuente:⁴⁷

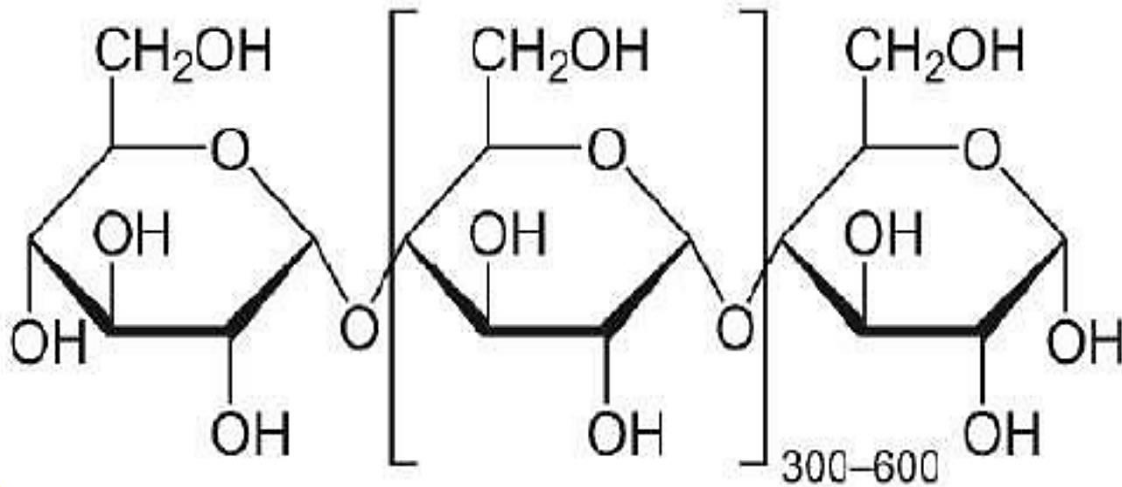
1.7 Almidón

1.7.1 Definición de almidón. El almidón es un polisacárido complejo almacenado en gránulos con diversidad en tamaño, composición química y propiedades físicas, que dependen de su origen. Este polímero presenta una estructura semicristalina altamente organizada y compleja, compuesta por dos polímeros de glucosa: la amilosa y la amilopectina. Uno de los elementos primordiales para la elaboración de las biopelículas es el almidón, pues esto se debe a su costo reducido, carácter renovable, capacidad de biodegradación, extensa disponibilidad y su competitividad económica.⁴⁸

1.7.2 Estructura del almidón. El almidón es un polisacárido que está compuesto por unidades de D-glucosa que se descomponen en dos componentes principales: la amilosa y la amilopectina. Estas dos suponen hasta un 99% de la materia seca total del almidón.⁴⁹

Por consiguiente, la amilosa está compuesta por unidades de anhidroglucosa conectadas por enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, siendo un polímero con un grado mínimo de ramificación a través de enlaces $\alpha(1-6)$. Su peso molecular promedio varía entre 10^5 y 10^6 g/mol³. La amilosa presenta una estructura helicoidal, donde los grupos hidroxilo se ubican en la superficie externa y los átomos de hidrógeno se encuentran en el interior. Esta disposición interna de los hidrógenos confiere propiedades hidrófobas a la amilosa, permitiéndole formar complejos con glicéridos de ácidos grasos, ácidos grasos libres, ciertos alcoholes y yodo.⁵⁰

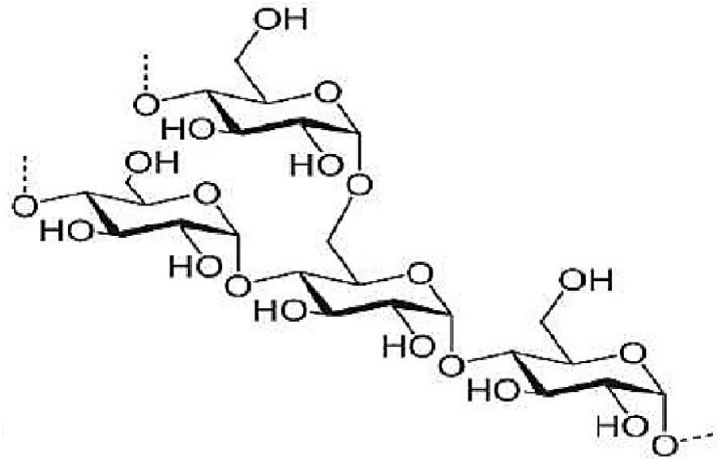
Figura 5. Estructura de la amilosa



Fuente: ⁵⁰

Por otra parte, la amilopectina presenta una estructura caracterizada por cadenas principales formadas por 10 a 60 unidades de glucosa y ramificaciones laterales de 15 a 45 unidades de glucosa. Esta macromolécula es altamente ramificada, con cadenas lineales cortas conectadas a través de enlaces glucosídicos α (1-6), de los cuales aproximadamente el 5% actúan como puntos de ramificación. La disposición radial de los extremos terminales no reductores de las cadenas de amilopectina se orienta hacia la superficie, lo cual permite zonas cristalinas que se configuran como una hélice doble y zonas amorfas en los puntos de ramificación. El peso molecular de la amilopectina es aproximadamente mil veces mayor que el de la amilosa pues este se encuentra en el rango de 1×10^7 a 5×10^8 g/mol.⁵⁰

Figura 6. Estructura de la amilopectina



Fuente: ⁵⁰

1.7.3 Propiedades de la amilosa y de la amilopectina.

Tabla 2. Propiedades de la amilosa y la amilopectina

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Susceptibilidad a la retrogradación	Alta	Baja
Productos de la acción glucoamilasa	D-Glucosa	D-Glucosa
Peso molecular	50.000-200.000	1 a varios millones
Forma molecular	Esencialmente lineal	Arbustiva
Enlaces glicosídicos	Principalmente α -D-(1-4)	α -D-(1-4), α -D-(1-6)
Productos de la acción de β -amilasa	Maltosa	Maltosa y β dextrina limite

Fuente:⁵¹

1.7.3.1 Gelatinización. La gelatinización es un fenómeno de relevancia crucial en el ámbito de las propiedades de cocción, la textura y la aceptabilidad sensorial de los productos alimenticios que contienen almidón, este proceso modifica la disposición molecular en el gránulo de almidón, generando una inflación granular, fusión de cristalitas, desaparición de la birrefringencia, incremento de la viscosidad y solubilización. La gelatinización se

manifiesta como un proceso semicooperativo o cooperativo, donde el almidón experimenta descomposición en presencia de agua y calor.⁵²

Inicialmente, la región amorfa (amilosa) se hidrata y expande, ocasionando deformaciones y rupturas en las regiones cristalinas (amilopectina). Este proceso se inicia en las áreas amorfas, donde los enlaces de hidrógeno presentan menor fortaleza, el punto de inicio es el hilio del gránulo de almidón, extendiéndose gradualmente hacia la periferia. Las características de la gelatinización están directamente vinculadas a la estructura molecular de la amilopectina y a la proporción entre amilopectina y amilosa. Por ende, la gelatinización del almidón se conceptualiza como una “transición de orden a desorden”, conllevando la pérdida de birrefringencia, el aumento en el poder de inflación y la solubilización.⁵²

1.7.3.2 Retrogradación. La retrogradación constituye un procedimiento ininterrumpido que conlleva en primera instancia la rápida recristalización de las moléculas de amilosa, seguida por una recristalización más lenta de las moléculas de amilopectina. La rigidez inicial de un gel de almidón, la capacidad de adhesión y la digestibilidad de los alimentos procesados se ven determinadas por el fenómeno de retrogradación de la amilosa.⁵³

1.8 Yuca (Manihot Esculenta)

La yuca conocida de forma científica como *Manihot Esculenta* Crantz, constituye una fuente de sustento para una población mundial que supera los 600 millones de personas. Este cultivo se caracteriza por su alta accesibilidad y su capacidad para prosperar en condiciones de sequía, adaptándose inclusive a terrenos de calidad inferior. Su aprovechamiento suele ser variado, siendo consumida en estado fresco, es decir, natural o también procesada en forma de harina o almidón. Además, se destaca por tener un alto contenido de almidón en su composición de peso seco en comparación con otros alimentos agrícolas.^{54,55}

1.8.1 Almidón de Yuca. El almidón extraído de la yuca es una sustancia orgánica polimérica compuesta de un 20 – 30% de amilosa, un polisacárido de cadena lineal, y de un 70 – 80% de amilopectina, un polisacárido con estructura ramificada. Dicha combinación específica, junto con las características propias de sus componentes, confiere al almidón de yuca propiedades reológicas únicas, de estas destacan la viscosidad y la capacidad de formar geles, lo que lo hacen una sustancia ideal para emplearse como un agente gelificante para diversos fines.⁵⁴ De igual forma, la yuca resalta por sus altas concentraciones de almidón

en peso seco, siendo el tercer tipo más empleado en la industria, después de los almidones de maíz y batata.⁵⁶

1.8.2 Propiedades fisicoquímicas, funcionales y morfológicas del almidón de yuca. En la tabla a continuación se destacan propiedades fisicoquímicas, funcionales y morfológicas del almidón de yuca.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas, funcionales y morfológicas

Propiedad	Parámetros
Contenido de humedad (g/cc)	9.52
Densidad aparente (g/cc)	0.421
Densidad reducida (g/cc)	0.710
Morfología	Gránulos de almidón de forma poliédrica, ovalada y regular
Cristalinidad (%)	31 – 37
Contenido de Amilosa (%)	13.6 – 18.1
Diámetro (µm)	1.17 – 22.22
Poder de hinchamiento (g/g)	2.22 – 15.63
Índice de solubilidad (%)	1.62 – 71.15
Temperatura de Gelatinización (°C)	69.10 – 77.12
Temperatura de Gelificación (°C)	64.54 – 70.54
Viscosidad Máxima (cP)	782.3 – 983.5
Viscosidad de descomposición (cP)	383.8 – 506.8
Viscosidad Final (cP)	462.0 – 569.7
Fuente: Adaptado de ⁵⁷⁻⁵⁹	

1.8.3 Propiedades mecánicas del almidón de yuca. La flexibilidad y resistencia del almidón de yuca son propiedades mecánicas estrechamente vinculadas con su región cristalina, la cual está directamente influenciada por la proporción de amilosa y amilopectina presente en el polisacárido. Las biopelículas derivadas del almidón de yuca presentan determinada disminución en sus propiedades mecánicas y esto se debe a su acelerada retrogradación y semicristalinidad, cabe destacar que, el almidón al permanecer en condiciones desfavorables de humedad (en suspensión con agua) le conduce a una reducción en sus

propiedades mecánicas exhibiendo en muchos casos fragilidad y aparición de grietas en el material.⁶⁰

1.9 Alcohol polivinílico (PVA)

El alcohol polivinílico (PVA) se caracteriza como un polímero hidrosoluble con una estructura de cadena principal basada en carbono y una notable presencia de grupos hidroxilo en la cadena lateral. Su producción a gran escala se realiza mediante métodos no derivados del petróleo, lo que resulta en un coste reducido y destacadas propiedades para la formación de películas. La película de PVA exhibe transparencia, seguridad ambiental, flexibilidad, no toxicidad y biocompatibilidad. Además, presenta propiedades mecánicas sobresalientes, barrera eficaz a los gases, resistencia química y, por último, es completamente biodegradable, alineándose con las exigencias del desarrollo sostenible y la protección ambiental.⁶¹

1.10 Glicerol

El glicerol, conocido también como glicerina o propanotriol ($C_3H_8O_3$), se clasifica como un alcohol que presenta tres grupos hidroxilos (-OH), este compuesto exhibe propiedades higroscópicas, es soluble en agua y posee un punto de ebullición de 290°C. Debido a su alta disponibilidad y bajo costo, el glicerol se ha establecido como el plastificante más comúnmente empleado en la producción de películas biodegradables. Además, destaca por su compatibilidad con diversos materiales, otorgando elasticidad a las películas sin comprometer su resistencia a la tensión de manera significativa. No obstante, es importante señalar dos limitaciones: el glicerol con respecto al vapor de agua no la reduce su permeabilidad y su naturaleza higroscópica puede afectar el rango de aplicaciones de las biopelículas.⁶²

Además, los plastificantes tienen la capacidad de incrementar la flexibilidad a medida que reducen las fuerzas intermoleculares a lo largo de la cadena polimérica y generan alteraciones estructurales en la red del almidón a medida que la matriz adquiere una menor densidad.

1.11 Agua

En la elaboración de biopelículas, el agua cumple un papel fundamental, ya que facilita la mezcla de los componentes, las reacciones químicas y el medio necesario para su formación. Para usos de laboratorio se utiliza el agua destilada, ya que este tipo de agua es libre de minerales y sustancias residuales, permitiendo evitar cualquier tipo de impurezas y contaminantes que pudieran afectar la calidad de la película durante su formación.⁶³

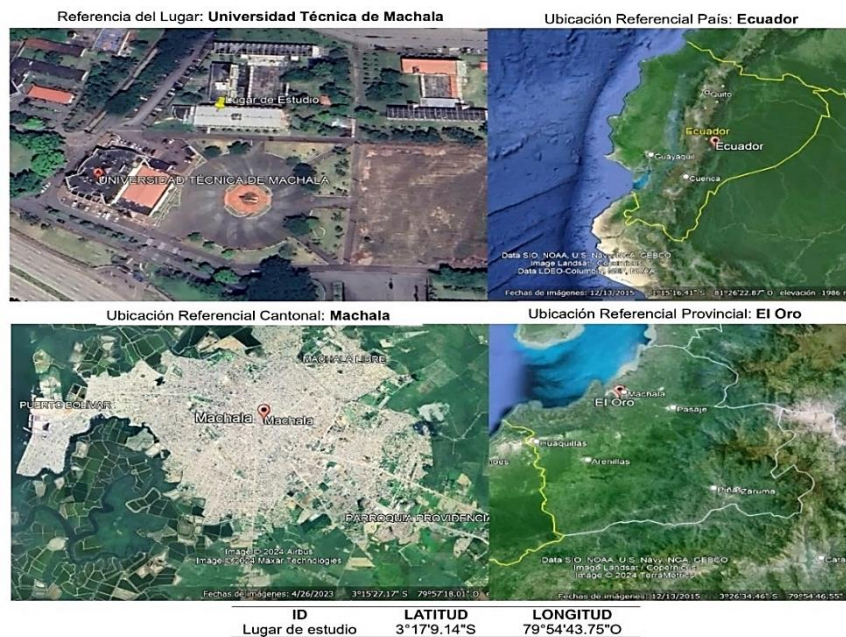
2. METODOLOGÍA

2.1 Sujetos de análisis

2.1.1 Tipo de Investigación. La investigación utiliza un enfoque experimental y cuantitativo, permitiendo elaborar biopelículas a través de la manipulación de variables como las proporciones de celulosa de fibra de coco y zeolita en condiciones controladas para luego medir y analizar cuantitativamente sus propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos se compararán con los estándares de calidad establecidos en normas nacionales del país para determinar su conformidad.

2.1.2 Lugar de la investigación. La investigación se realizó en el laboratorio del Área de Carbón Activo de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud en la Universidad Técnica de Machala.

Figura 7. Georreferenciación del lugar de estudio



Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Población de estudio. En esta investigación la población seleccionada es de celulosa de fibra de coco entregada a disposición por tesistas de la misma carrera, en la cual obtuvieron un rendimiento del 70.33% de celulosa de acuerdo a sus respectivos análisis, además, determinaron el índice de cristalinidad de 43.05%, un tamaño promedio de cristales de 142.64 Å⁶⁴ y ésta se encuentra pulverizada a un tamaño de partícula de malla 200. Por otro lado, la zeolita será obtenida de la ciudad de Guayaquil con ubicación Km. 20 vía a la Costa de la empresa Calmosacorp, de tipo zeolita natural especie Clinoptilolita marca Max Catcher, esta posee alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) mayor a 159 meq/100g, se presenta con un 84.09 (%) p/p, en estado sólido con un tamaño de partícula ASTM – 100 (150 um), con humedad máx. 8% y densidad (real) mínima de 2.10 g/cm³.

2.1.4 Tamaño de la muestra. Las muestras utilizadas según formulaciones previas realizadas en laboratorio son de 5 gramos de Zeolita Clinoptilolita y 15 gramos de Celulosa de Fibra de Coco aproximadamente.

2.1.5 Tipos de Variables. Las variables de estudio independientes y dependientes son esenciales para el desarrollo de esta investigación.

2.1.5.1 Variables Independientes.

Tabla 4. Variables independientes

Factores	Niveles
A: Proporción (%) de celulosa de fibra de coco	A1: 1.0%
	A2: 1.3%
	B1: 0.5%
B: Proporción (%) de zeolita	B2: 0.2%

Fuente: Elaboración propia

2.1.5.2 Variables Dependientes.

- La resistencia a la tracción (MPa).

- El porcentaje de alargamiento en la rotura (%).
- El módulo elástico (MPa).

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Materiales.

2.2.1.1 Equipos, materiales e insumos para la elaboración de biopelículas.

Tabla 5. Equipos, materiales e insumos

Equipos	Materiales	Insumos
Balanza analítica	Vasos de precipitado de 250 ml	Agua destilada
Estufa	Probetas de 100 ml	PVA
Desecador al vacío	Varilla de agitación	Glicerol
Calentador con agitación magnética	Espátula	Almidón de yuca
	Lunas de reloj	Celulosa de fibra de coco
	Brochas	Zeolita Clinoptilolita
	Envases rectangulares de plástico	
	Termómetro de mercurio	
Fuente: Elaboración propia		

2.2.1.2 Equipos para ensayos de tracción de biopelículas.

- Máquina universal de ensayos – WAW600B, Marca JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD serie 7136, certificado LNM-F-2016500064D.⁵
- Calibrador manual SOLVER.

- Módulo de lectura de carga marca OMEGA.
- Celda de carga marca PUSHTON.
- Cámara digital.

2.2.2 Métodos.

2.2.2.1 *Procedimiento de Elaboración de Biopelículas.* Se emplea el método casting en la elaboración de biopelículas manteniendo constante los niveles de glicerol (1% v/v), PVA (1 % p/p) y de almidón (1.5% p/p) valores estandarizados que representarán un 3.5% del total en cada uno de los tratamientos, sin embargo, para la elaboración del blanco se realiza una relación en peso almidón de yuca, celulosa y zeolita tomando un valor total a utilizar de 3 % p/p de almidón de yuca en la solución, adicionando además las cantidades constantes de glicerol y PVA.⁶³

Tabla 6. Tratamientos de las materias primas

Tratamientos	% Celulosa	% Zeolita	% Valores Constantes	% Agua
Blanco			5	95.0
T1	1.0	0.5	3.5	95.0
T2	1.3	0.5	3.5	94.7
T3	1.0	0.2	3.5	95.3
T4	1.3	0.2	3.5	95.0

Fuente: Elaboración propia

El método casting conlleva una serie de pasos, para lo cual, su procedimiento se describe a continuación.⁶³

1. Acondicionamiento inicial

- Medir la cantidad de agua destilada en una probeta de acuerdo al tratamiento a aplicar.
- Calentar el agua destilada a 50°C.

2. Adición del almidón

- Añadir la cantidad en gramos de almidón de yuca junto con la cantidad correspondiente de celulosa de fibra de coco y zeolita natural, según el tratamiento que se vaya a aplicar, para la preparación del blanco únicamente se pesará 3 gramos de almidón de yuca, esto se llevará a una agitación constante de 300 rpm.
- Incrementar la temperatura a 80°C por 30 minutos para lograr gelatinizar el almidón y la incorporación de los demás ingredientes.

3. Adición de glicerol y PVA

- Agregar 1 gramo de alcohol polivinilo (PVA) y después de que se haya incorporado por completo, adicionar 1 ml de glicerol.
- Mezclar y homogenizar la solución polimérica manteniendo constante la temperatura a 80°C por alrededor de 30 minutos asimismo a 300 rpm para asegurar una distribución uniforme de cada uno de los componentes y llegar a un volumen final de 65 ml de solución.

4. Enfriamiento

- Enfriar la solución a la intemperie hasta los 60°C mediante agitación constante.

5. Vaciado en placas

- Verter la solución en recipientes rectangulares de 26.5 cm x 10.5 cm.

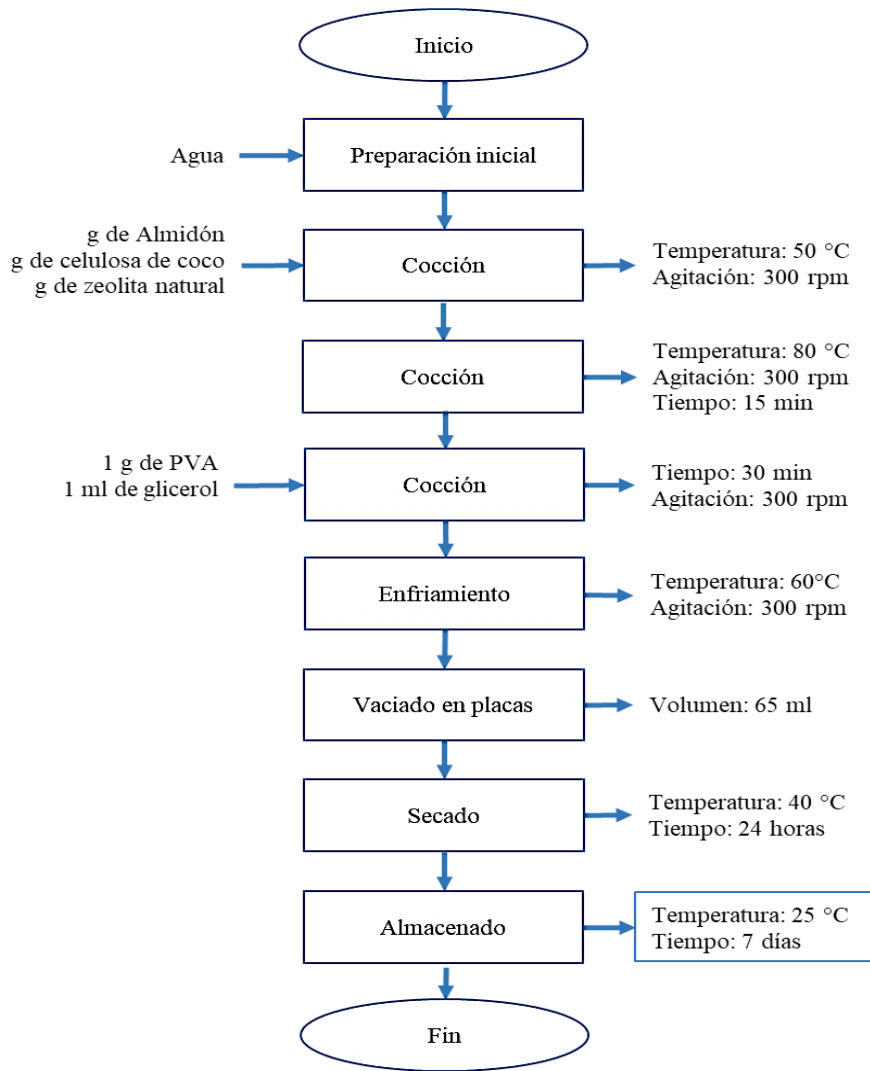
6. Secado de las muestras

- Mantener en la estufa los recipientes a una temperatura de 40°C durante un tiempo estimado de 24 horas para permitir la formación y solidificación de la biopelícula.

7. Almacenado

- Las muestras serán etiquetadas y almacenadas a una temperatura ambiente de 25 °C por alrededor de 7 días.

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de biopelículas.



Fuente: Elaboración propia

2.2.2.2 Método de ensayo de tracción de biopelículas. Las propiedades mecánicas de las biopelículas fueron analizadas en el laboratorio de ensayos de materiales localizado en la ciudad de Riobamba "LENMAV" a cargo del Ing. Aníbal Viñan. Las biopelículas se examinaron con base a la norma ASTM D3039M-17, asimismo la selección adecuada de la probeta para los ensayos fue conforme a la NTE INEN 2635:2012²¹ y NTE INEN 2043:1995.⁶⁵

2.3 Proceso de recolección y análisis de los datos

2.3.1 *Diseño Experimental.* La metodología de investigación a aplicarse será de tipo experimental, implicando la manipulación intencionada de variables para evaluar su interacción y establecer correlaciones. Se utilizará combinaciones de celulosa de fibra de coco y zeolita en condiciones controladas, con el fin de identificar la formulación más efectiva para desarrollar las biopelículas. El enfoque será un diseño factorial 2^K , es decir, 2^2 con tres repeticiones en el que 2 = cantidad de niveles para cada factor, K = número de factores, siendo el caso de celulosa de fibra de coco y zeolita, dando un resultado de 4 tratamientos con tres repeticiones con un total de 12 unidades de experimentación, contando además que para cada repetición se realizó una unidad experimental blanco.

Los datos se tabularán en el programa Excel versión 2401 y se procesarán en el paquete estadístico Minitab Statistical Software V.01.01.2024. con un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de diferencia honestamente significativa Tukey (Tukey's HSD test).

2.3.2 *Tratamientos.* Los tratamientos que se basan en la combinación de factores con los niveles se muestran a continuación.

Tabla 7. Tratamiento de las variables de estudio

Tratamientos	Combinaciones	Descripción
BLANCO	Solo almidón	
T1	A1B1	Celulosa de fibra de coco (1.0%) con zeolita (0.5%)
T2	A1B2	Celulosa de fibra de coco (1.3%) con zeolita (0.5%)
T3	A2B1	Celulosa de fibra de coco (1.0%) con zeolita (0.2%)
T4	A2B2	Celulosa de fibra de coco (1.3%) con zeolita (0.2%)

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Formulación de biopelículas

Para la formulación de biopelículas se utilizó celulosa comercial debido a la disponibilidad limitada de celulosa de fibra de coco, lo que permitía realizar múltiples pruebas experimentales y ajustes necesarios para encontrar la formulación adecuada sin agotar los recursos con los que se contaba. En esta etapa inicial se partió de una formulación con base a la revisión de la literatura, tras varias pruebas error, a simple vista se identificó la formulación óptima, ya que presentaba mejores características físicas y buena homogeneidad de los componentes.

Esta formulación preliminar, sirvió como base para la ejecución de la siguiente fase de estudio, en la cual se reemplazó la celulosa comercial por celulosa natural de fibra de coco, manteniendo la misma proporción de zeolita y permitiendo la elaboración de las biopelículas finales de los tratamientos correspondientes.

En la tabla 8 se presentan una serie de iteraciones experimentales que se consideró para encontrar la formulación adecuada.

Tabla 8. Pruebas experimentales para determinar la formulación apropiada de biopelículas.

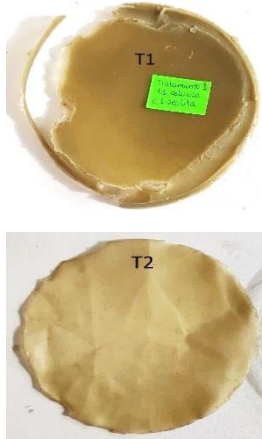
Formulación (Celulosa: Zeolita) y Descripción	Evidencia
1.5 – 2.5:0.5 – 1	
Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 0.5; 1 y 3.5 respectivamente.	
El vaciado se realizó en cajas Petri de plástico. El T1 presentó alta opacidad, rigidez, grosor irregular y baja adhesividad, el T2 presentó rugosidad superficial, homogeneidad entre los componentes y grosor regular, el T3 y T4 presentaron similares	

Tabla 8. (Continuación)







Formulación (Celulosa: Zeolita) y Descripción	Evidencia
<p>características de fragilidad con la diferencia de que el T4 presentó más opacidad, en el blanco se evidenció alta adhesividad y presencia de burbujas en la superficie. El grosor en algunos tratamientos fue irregular debido a la no fijación de un volumen establecido. Se decidió no hacer en cajas Petri las posteriores experimentaciones.</p>	
<p>0.9 – 1.5:0.3 – 0.6</p> <p>Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 0.3; 0.6 y 2.1 respectivamente.</p> <p>El vaciado se realizó en envases rectangulares de policarbonato, se fijó un volumen de 45 ml para cada envase.</p> <p>El T1 presentó mediana fragilidad y baja adhesividad, el T2 baja heterogeneidad entre los componentes, el T3 alta fragilidad y mediana adhesividad, el T4 alta opacidad debido a las proporciones altas de celulosa y zeolita, además presentó porosidad en la superficie y mediana adhesividad. El blanco presentó baja adhesividad y uniformidad en su estructura.</p>	
<p>Fuente: Elaboración Propia</p>	

Tabla 8. (Continuación)

Formulación (Celulosa: Zeolita) y Descripción	Evidencia
0.5 – 1.0: 0.5 – 1.0	
<p>Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 1; 1 y 2 respectivamente.</p>	
<p>El vaciado se realizó en envases rectangulares de policarbonato de 26.5 x 10.5, se fijó un volumen de 65 ml para cada envase. El T1, T2 presentaron mediana adhesividad y fragilidad mientras que en el T3 existieron grietas que provocaron la ruptura de la biopelícula, presentaba además alta adhesividad, por otro lado, el T4 presentó alta opacidad con respecto a la demás biopelículas y buenas características físicas como alta homogeneidad de los componentes, baja adhesividad y mediana elasticidad. El blanco resaltó también presentando buenas características físicas.</p>	
	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 8. (Continuación)

Formulación (Celulosa: Zeolita) y Descripción	Evidencia
<p data-bbox="467 310 716 352">1.0 – 1.5: 0.5 – 1.0</p> <p data-bbox="261 401 911 485">Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 1; 1 y 1.5 respectivamente.</p> <p data-bbox="261 537 911 1031">Las biopelículas de los tratamientos T1 y T4 presentaron baja adhesividad en su estructura, el T1 presentó en el extremo superior heterogeneidad de los componentes presentándose como manchas semitransparentes, el T4 y T2 presentaron buenas propiedades físicas como alta homogeneidad y mediana elasticidad, por otro lado, el T3, presentó manchas blancas en la superficie y alrededor de esta presencia de agrietamiento. El T1 y T3 presentaron alta adhesividad.</p>	
<p data-bbox="451 1041 732 1083">1.29 – 1.2: 0.21 – 0.3</p> <p data-bbox="261 1125 911 1272">Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 1; 1 y 1.5 respectivamente. El blanco se elaboró con 3 de almidón.</p> <p data-bbox="261 1314 911 1766">El T1 fue la biopelícula que presentó óptimas propiedades estructurales y físicas a simple vista, baja adhesividad, elasticidad y distribución homogénea, por otro lado, el T2 presentó mediana adhesividad, porosidad y fragilidad en su superficie, el blanco presentó alta adhesividad, provocando que al despejarse del envase de adhiriera entre sí, además presenta alta cantidad de burbujas, esto pudo darse por un mal secado.</p>	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. (Continuación)

Formulación (Celulosa: Zeolita) y Descripción	Evidencia
<p>Formulación Final</p> <p>1.0 – 1.3: 0.2 – 0.5</p>	
<p>Las biopelículas se elaboraron con valores de PVA, glicerol y almidón de 1; 1 y 1.5 respectivamente. El blanco se elaboró con 3 de almidón.</p>	
<p>Las biopelículas con esta formulación presentaron características resaltables como baja adhesividad, flexibilidad, homogeneidad en toda la superficie, mediana transparencia entre todos los tratamientos, además de presentar baja porosidad, en cuanto a, el tratamiento blanco presentó baja cantidad de burbujas internas debido al control requerido en su elaboración, baja adhesividad y uniformidad en toda su superficie.</p>	

Fuente: Elaboración propia

La formulación de varias proporciones de celulosa comercial y zeolita permitió además establecer las cantidades de PVA, glicerol y almidón adecuadas para obtener de esta forma biopelículas evaluadas visualmente con buenas características. Tras varios ajustes en las proporciones de los componentes, se identificó una formulación óptima que comprende proporciones de celulosa de 1 – 1.3 y zeolita de 0.2 – 0.5. Esta decisión asegura la aplicación de una formulación validada, garantizando la calidad en los análisis de las propiedades mecánicas.

3.2 Análisis de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas en películas biodegradables se consideran como uno de los atributos más relevantes en este tipo de materiales, por un lado, la resistencia a la tracción mide la máxima capacidad que puede llegar a soportar la película cuando se le aplica una fuerza determinada, el módulo de elongación o conocido también como porcentaje de alargamiento en la rotura es aquella propiedad que ofrece información de la deformación que puede atravesar un material antes de su rotura, el módulo de elasticidad cuantifica la rigidez que presenta la película mediante la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación elástica resultante.⁶⁶

El análisis de las propiedades mecánicas es crucial para entender su potencial aplicación en el mercado de consumo. Una de las limitaciones de las biopelículas actuales es su baja resistencia mecánica, lo que las hace poco adecuadas para diversas aplicaciones, ya que no pueden soportar cargas sin desgarrarse o estirarse. La incorporación de celulosa incrementó tanto a resistencia a la tracción como el módulo de elasticidad, por otro lado, esta disminuyó el porcentaje de elongación.^{67,68}

Cabe destacar que, el espesor también se considera como una propiedad mecánica y para conseguir una película con un espesor deseable se debe realizar un vertido de solución polimérico específico que se consigue a través de una serie de repeticiones experimentales hasta obtener el indicado.

En la tabla 9 se presentan los resultados de las pruebas de tracción elaboradas a cada una de las probetas, cabe señalar que los valores atípicos estadísticos no se eliminaron⁶⁹ en ninguno de los tratamientos.

Tabla 9. Resultados de pruebas de tracción.

Tratamiento	Muestra	Espesor (mm)	Módulo Elástico (MPa)	Resistencia a la Tracción Nominal (MPa)	Porcentaje de alargamiento en la rotura (%)
1	A1B1R1	0.15	98.96	5.37	0.80
1	A1B1R2	0.18	80.89	5.21	3.20
1	A1B1R3	0.16	96.98	6.06	2.76
Promedio		0.163	92.277	5.547	2.25
Desviación Estándar		0.015	9.911	0.452	1.28
2	A1B2R1	0.22	110.4	5.58	0.20
2	A1B2R2	0.20	250.0	6.65	3.16
2	A1B2R3	0.19	157.4	5.59	1.24
Promedio		0.203	172.600	5.940	1.53
Desviación Estándar		0.015	71.030	0.615	1.50
3	A2B1R1	0.23	45.15	4.65	3.64
3	A2B1R2	0.21	99.82	5.79	2.12
3	A2B1R3	0.21	77.95	5.16	3.88
Promedio		0.217	74.307	5.200	3.21
Desviación Estándar		0.012	27.516	0.571	0.95
Fuente: Elaboración propia					

Tabla 9. (Continuación)

Tratamiento	Muestra	Espesor (mm)	Módulo Elástico (MPa)	Resistencia a la Tracción Nominal (MPa)	Porcentaje de alargamiento en la rotura (%)
4	A2B2R1	0.17	98.12	8.17	1.88
4	A2B2R2	0.22	93.27	4.93	1.08
4	A2B2R3	0.24	42.26	4.51	2.16
Promedio		0.210	77.883	5.870	1.71
Desviación Estándar		0.036	30.946	2.003	0.56
Blanco	BR1	0.10	128.0	8.33	30.76
Blanco	BR2	0.16	98.30	6.30	24.00
Blanco	BR3	0.11	86.41	7.36	3.32
Promedio		0.123	104.237	7.330	19.36
Desviación Estándar		0.032	21.421	1.015	14.30
Fuente: Elaboración propia					

3.2.1 Análisis de varianza por tratamientos. De acuerdo a los datos anteriores, se realizó el análisis de varianza por cada propiedad analizada respecto a los tratamientos, lo cual se puede evidenciar en las siguientes tablas.

Tabla 10. Datos del análisis de varianza espesor (mm) vs tratamientos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.005167	0.001722	3.63	0.064
Error	8	0.003800	0.000475		
Total	11	0.008967			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Datos del análisis de varianza módulo de la elasticidad (Mpa) vs tratamientos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	19199	6400	3.73	0.061
Error	8	13729	1716		
Total	11	32929			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Datos del análisis de varianza resistencia a la tracción (MPa) vs tratamientos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	1.036	0.3452	0.28	0.838
Error	8	9.840	1.2300		
Total	11	10.875			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Datos del análisis de varianza porcentaje de elongación (%) vs tratamientos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	5.146	1.715	1.34	0.328
Error	8	10.225	1.278		
Total	11	15.371			

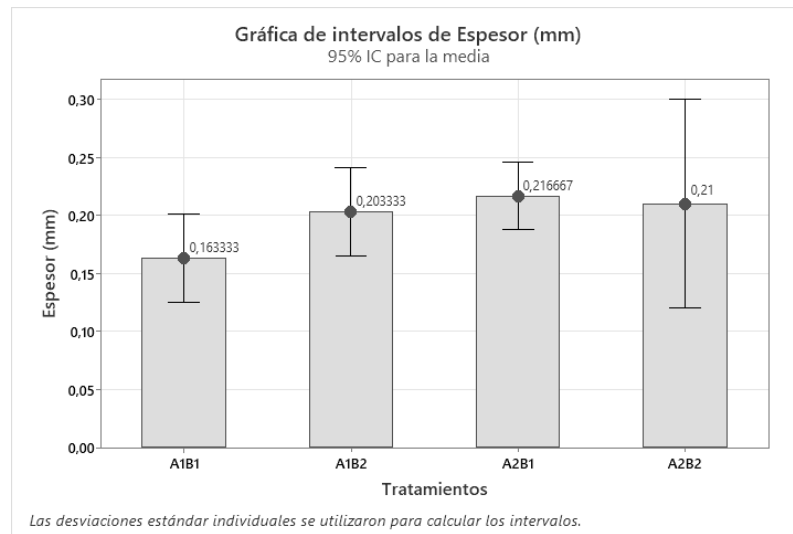
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en las tablas anteriores, los datos de los valores p son mayores que 0.05, lo cual indica que se acepta la hipótesis nula, pues esto sugiere que no existe una diferencia

significativa en los tratamientos realizados, por lo cual se consideró realizar un análisis por gráfica de intervalos para cada una de las propiedades.

3.2.1.1 Espesor vs tratamientos.

Figura 9. Gráfica de intervalos de Espesor (mm)

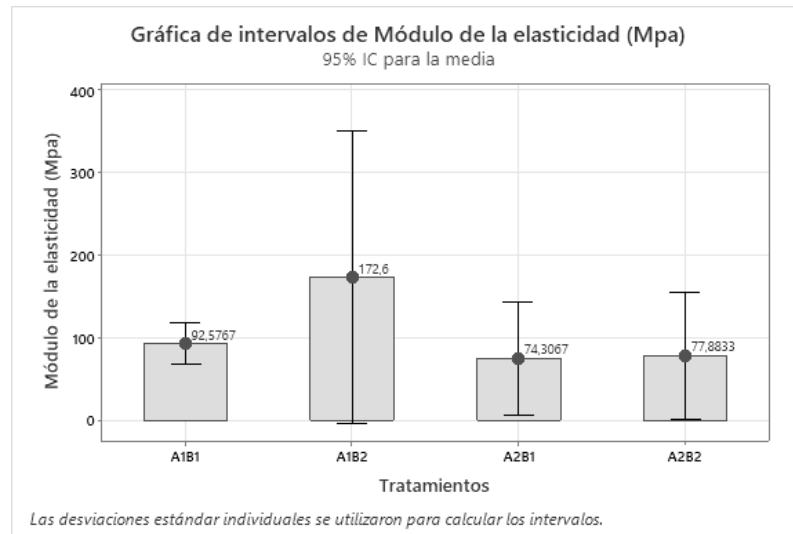


Fuente: Elaboración propia

En la figura se observa que la formulación del tratamiento 3 (A2B1), es la que presentó la media más alta con respecto al espesor entre todos los tratamientos, sin embargo, de acuerdo a la normativa INEN 2635:2012 establece que, una película debe poseer un espesor nominal no superior a 0.25 mm, por lo cual se instituye que cada uno de los tratamientos realizados se encuentran dentro de la normativa.²¹

3.2.1.2 Módulo de elasticidad vs tratamientos. El módulo de elasticidad se emplea para evaluar la rigidez intrínseca de la película biodegradable mediante la comparación de la resistencia a la tracción y el alargamiento en el punto de rotura, por lo que, esta propiedad mecánica es directamente proporcional a la resistencia a la tracción e inversamente proporcional al alargamiento, esto indica que, a mayor módulo de elasticidad, mayor será la rigidez del plástico biodegradable,⁷⁰ existiendo un aumento intermolecular en la película, por el contrario, cuando se exceda la interacción intra e intermolecular esta propiedad disminuirá.⁷¹

Figura 10. Gráfica de intervalos de Módulo de la elasticidad (Mpa)

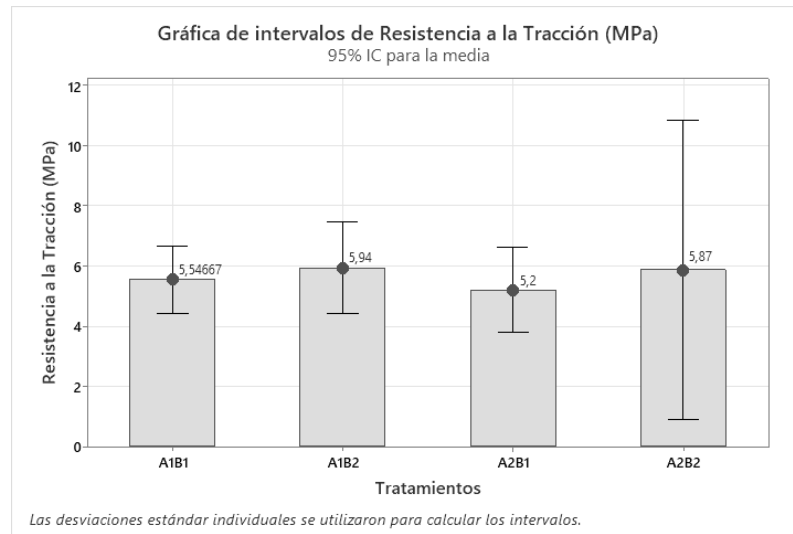


Fuente: Elaboración propia

En la figura 10, se evidencia que el tratamiento 2 (A1B2) es el que posee un módulo de elasticidad mayor en comparación con los demás tratamientos, sin embargo, al hacer una relación entre el tratamiento 1 (A1B1) con el tratamiento 2, estos poseen las mismas proporciones en todos sus componentes sólidos a excepción de la celulosa, pues el tratamiento 2 posee un mayor porcentaje de esta de acuerdo a la tabla 6, lo cual indica que a mayor proporción de celulosa, esta hace que aumente el módulo de elasticidad en la biopelícula y lo mismo sucede al relacionar el tratamiento 3 (A2B1) con el 4 (A2B2), por otro lado, la zeolita aporta mayor módulo de elasticidad a los tratamientos 1 y 2, pues este componente aumenta la resistencia a la tracción a las películas⁷², por ende al ser directamente proporcional estos dos tratamientos poseen un mayor módulo de elasticidad.⁷⁰

3.2.1.3 Resistencia a la tracción vs tratamientos. El ensayo de resistencia a la tracción se emplea para medir la magnitud de la fuerza alcanzada al llegar a la tensión máxima que la película se rompe, este ensayo se realiza para determinar la resistencia de la biopelícula. En el ensayo de resistencia a la tracción se utiliza una máquina universal de ensayos, obteniéndose el valor de la resistencia a la tracción a partir de la fuerza máxima registrada en el momento de la ruptura.⁷⁰

Figura 11. Gráfica de intervalos de Resistencia a la Tracción (MPa).

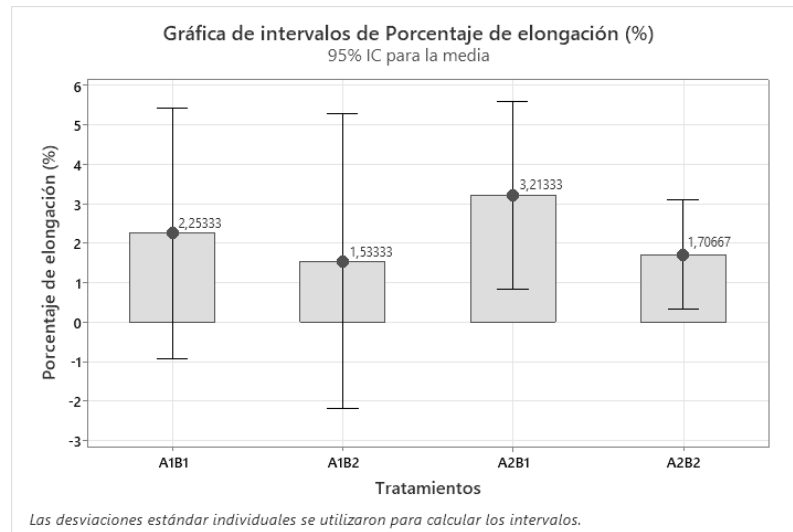


Fuente: Elaboración propia

La figura anterior muestra que la resistencia a la tracción en el tratamiento 2 y el tratamiento 4 son los que poseen una resistencia a la tracción superior, debido a que estos dos tratamientos contienen un porcentaje mayor de celulosa, pues este componente es el causante de aumentar esta propiedad, sin embargo, de acuerdo con⁷² menciona que la resistencia a la tracción aumenta de acuerdo al contenido de zeolita, lo cual se puede evidenciar al comparar el tratamiento 1 con el tratamiento 3, pues el primero posee un porcentaje mayor de zeolita de acuerdo con la tabla 6, lo cual le confiere una mayor resistencia a la tracción de la misma forma, esto se puede observar al comparar el tratamiento 2 con el tratamiento 4.

3.2.1.4 Porcentaje de elongación vs tratamientos. El porcentaje de elongación es una propiedad que se determina comparando la longitud del material en el punto de rotura con su longitud original antes de ser sometido a la tensión en la máquina universal de ensayos.⁷⁰

Figura 12. Gráfica de intervalos de Porcentaje de elongación (%)



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 12, el porcentaje de elongación en los tratamientos 2 y el tratamiento 4 son los que poseen mayor proporción de celulosa, por lo tanto, de acuerdo con⁶⁷ indica que el aumento de este componente hace que disminuya el porcentaje de elongación, por otro lado, la zeolita también le aporta valores inversamente proporcionales con respecto al porcentaje de elongación, debido a que, al comparar los porcentajes de zeolita aplicados en el tratamiento 1 y 3 de acuerdo con la tabla 6, el tratamiento 1 presenta menor porcentaje de elongación con respecto al 3, esto se debe a que en el tratamiento 1 presenta una mayor proporción de zeolita en relación al 3 considerando que los demás componentes sólidos son los mismos, esto sucede de igual manera al relacionar los tratamientos 2 y 4.

3.2.2 Análisis de varianza por factores. Para el análisis de varianza y grafica por intervalos, se definió una nueva terminología para cada una de las concentraciones de celulosa y zeolita, con el fin de evidenciar los porcentajes correspondientes con los que estos componentes se encuentran en cada uno de los tratamientos, los cuales se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 14. Terminología para las concentraciones de celulosa y zeolita

Terminología		
Tratamiento	%Celulosa	%Zeolita
A1B1	A-1	B-0.5
A1B1	A-1	B-0.5
A1B1	A-1	B-0.5
A1B2	A-1.3	B-0.5
A1B2	A-1.3	B-0.5
A1B2	A-1.3	B-0.5
A2B1	A-1	B-0.2
A2B1	A-1	B-0.2
A2B1	A-1	B-0.2
A2B2	A-1.3	B-0.2
A2B2	A-1.3	B-0.2
A2B2	A-1.3	B-0.2

Fuente: Elaboración propia

La tabla 14, hace referencia a las proporciones de celulosa y zeolita que se encuentra en cada uno de los tratamientos, es decir, que A-1 y A-1.3 significa que posee 1% y 1.3% de celulosa respectivamente, por otro lado, los términos B-0.5 y B-0.2 hace referencia a que ese tratamiento posee 0.5% y 0.2% de zeolita en el mismo orden.

A continuación, se realiza el análisis de resultados que existe en cada una de las propiedades mecánicas de acuerdo a sus factores: %Celulosa y %Zeolita; de igual manera la interacción que existe entre ellos.

3.2.2.1 Espesor vs factores

Tabla 15. Datos del análisis de varianza Espesor vs. %Celulosa; %Zeolita

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	0.000833	0.000833	1.75	0.222
%Zeolita	1	0.002700	0.002700	5.68	0.044
%Celulosa*%Zeolita	1	0.001633	0.001633	3.44	0.101
Error	8	0.003800	0.000475		
Total	11	0.008967			

Fuente: Elaboración propia

Como se demuestra en la tabla anterior, los valores p son mayores a 0.05 en %celulosa y la interacción que existe con la zeolita, lo que sugiere que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa. Sin embargo, el valor p en %zeolita es menor a 0.05, lo cual apunta que, si existe una diferencia significativa para este factor, por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey para %zeolita. Los resultados obtenidos de esta prueba se muestran en la siguiente tabla.

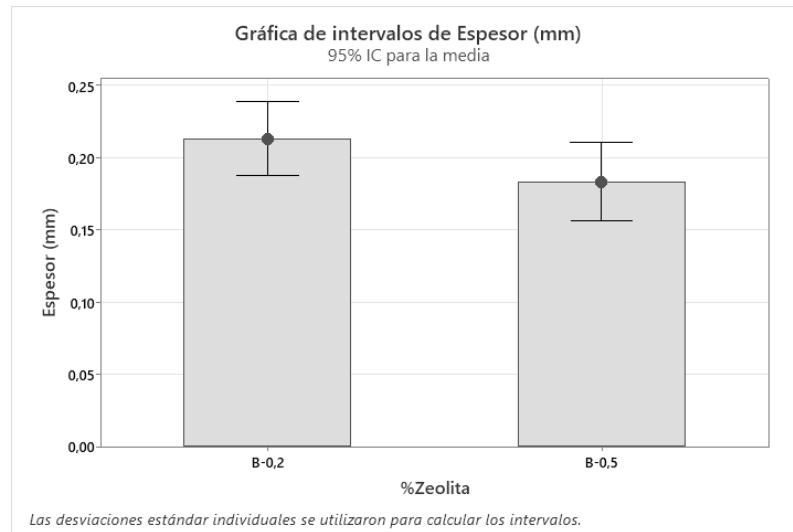
Tabla 16. Comparaciones por parejas de Tukey: %Zeolita

%Zeolita	N	Media	Agrupación
B-0.2	6	0.213333	A
B-0.5	6	0.183333	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se muestra que las proporciones de zeolita exhiben una diferencia significativa en el Espesor, pues se observó que el componente B-0.2 tiene una media más alta, alcanzando un valor de 0.213, lo cual sugiere que a menor concentración de zeolita, mayor espesor tendrá la biopelícula, pues la media que presenta el porcentaje de zeolita B-0.5 es más baja, lo cual se presenta esta información gráficamente en la figura 13, por otra parte lo anterior mencionado se puede corroborar en el tratamiento 3 y 4 en la figura 9, los cuales son los que poseen un mayor espesor, pues estos dos tratamientos tienen un menor %zeolita.

Figura 13. Comparación de espesor en Tukey



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, se muestra las medias del factor %Zeolita, donde se observa que la menor proporción de zeolita resulta con un mayor espesor, mientras que la proporción mayor de zeolita es la que posee un espesor menor.

3.2.2.2 Módulo de elasticidad. En la siguiente tabla se evidencia que los valores p asociados al %celulosa y a la interacción %celulosa*%zeolita son superiores a 0.05, lo que implica la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa. No obstante, el valor p correspondiente al %zeolita es inferior a 0.05, indicando la existencia de una diferencia significativa para este factor. En consecuencia, se llevó a cabo una prueba Tukey para el %zeolita, cuyos resultados se presentan en la tabla 18.

Tabla 17. Datos del análisis de varianza módulo de la elasticidad (Mpa) vs. %Celulosa; %Zeolita

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	5242	5242	3.05	0.119
%Zeolita	1	9574	9574	5.58	0.046
%Celulosa*%Zeolita	1	4383	4383	2.55	0.149
Error	8	13729	1716		
Total	11	32929			

Fuente: Elaboración propia

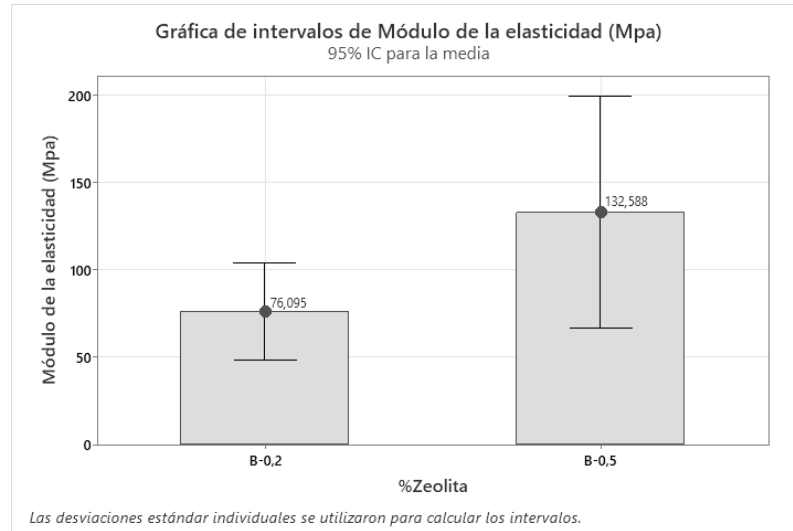
Tabla 18. Comparaciones por parejas de Tukey: %Zeolita

%Zeolita	N	Media	Agrupación
B-0.5	6	132.588	A
B-0.2	6	76.095	B

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se evidencia que las proporciones de zeolita presentan una diferencia significativa en el módulo de elasticidad. En particular, se observa que el componente B-0.5 tiene una media superior, alcanzando un valor de 132.588 MPa, lo que sugiere que, a mayor concentración de zeolita, el módulo de elasticidad de la biopelícula incrementa. Por otra parte, la media del porcentaje de zeolita B-0.2 es menor, con un valor de 76.095, lo que le confiere un módulo de elasticidad menor. Esta información se presenta gráficamente en la figura 14. Además, lo mencionado se puede comprobar en los tratamientos 1 y 2 de la figura 10, los cuales poseen un mayor módulo de elasticidad, ya que estos tratamientos tienen un mayor porcentaje de zeolita en comparación con los tratamientos 3 y 4.

Figura 14. Comparación de módulo de elasticidad en Tukey



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, se presentan las medias correspondientes al factor %zeolita, evidenciando que una menor proporción de zeolita conduce a un módulo de elasticidad reducido, mientras que una mayor proporción de zeolita se asocia con un incremento en el módulo de elasticidad.

3.2.2.3 Resistencia a la tracción vs factores. Al efectuar un análisis de varianza para la resistencia a la tracción considerando ambos factores, todos los valores p obtenidos son superiores a 0.05. Esto implica que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la alternativa, indicando que no hay una diferencia significativa entre los factores analizados ni en su interacción. Los resultados detallados se muestran en la tabla adjunta.

Tabla 19. Datos del análisis de varianza resistencia a la Tracción (MPa) vs. %Celulosa; %Zeolita

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	0.8480	0.84801	0.69	0.430
%Zeolita	1	0.1302	0.13021	0.11	0.753
%Celulosa*%Zeolita	1	0.0574	0.05741	0.05	0.834
Error	8	9.8397	1.22996		
Total	11	10.8753			

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 *Porcentaje de elongación vs factores.* Al realizar un análisis de varianza para el porcentaje de elongación, los valores p obtenidos son mayores a 0.05 en sus factores y la interacción entre ellos. Esto indica la aceptación de la hipótesis nula, sugiriendo que no existe diferencia significativa para esta propiedad. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 20. Datos del análisis de varianza porcentaje de elongación (%) vs. %Celulosa; %Zeolita

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	3.7185	3.7185	2.91	0.126
%Zeolita	1	0.9633	0.9633	0.75	0.411
%Celulosa*%Zeolita	1	0.4641	0.4641	0.36	0.563
Error	8	10.2251	1.2781		
Total	11	15.3711			

Fuente: Elaboración propia

3.3 Comparación de calidad de las biopelículas

Los resultados obtenidos de las pruebas mecánicas realizadas a las biopelículas de celulosa de fibra de coco y zeolita se comparan con los límites establecidos en la ASTM D882 – 18 y NTE INEN 2635:2012²¹ con extensión en la ASTM D638 – 22⁷³ para el triacetato de celulosa (CAT) y butirato de acetato de celulosa (CAB). Esta decisión se ha tomado

debido a la ausencia de normas nacionales e internacionales específicas que hayan estandarizado valores de pruebas de tracción para compuestos con celulosa nativa. Sin embargo, se reconoce que existen diferencias significativas entre los materiales elaborados en este estudio y los materiales presentados en las normativas, a pesar de esta situación la comparación proporcionará una referencia del desempeño mecánico que presentaron las biopelículas durante sus análisis.

En la tabla 21, se evidencia los valores de las pruebas mecánicas realizadas a los materiales de CAT, CAB expuestos en las normativas anteriormente descritas, además los resultados de las biopelículas de celulosa *zeolita y la muestra blanco elaborada de almidón nativo.

Tabla 21. Pruebas de tracción de materiales.

Código	Material	Espesor (mm)	Módulo Elástico (MPa)	Resistencia a la Tracción Nominal (MPa)	Porcentaje de alargamiento en la rotura (%)
M1	CAT	0.135	ND	100.663 ± 9.446 ^σ	26.40 ± 4.30 ^σ
M2	CAB	<0.25	1696.110	33.232 ± 1.241 ^σ	14.10 ± 6.62 ^σ
T1		0.163	92.277	5.547	2.25
T2		0.163	172.600	5.940	1.53
T3	C*Z	0.217	74.307	5.200	3.21
T4		0.210	77.883	5.870	1.71
B	Blanco	0.123	104.237	7.330	19.36

ND = No determinado
 σ = Desviación estándar del promedio entre laboratorios
Fuente: Elaboración propia

Los datos revelan una marcada diferencia que existe en cada una de las pruebas de tracción frente a los resultados obtenidos en las biopelículas elaboradas a base celulosa de fibra de coco y zeolita natural, destacando que la propiedad de espesor en todos los

tratamientos está bajo la norma, de acuerdo con la NTE INEN 2635:2012²¹ y ASTM D6988 – 21⁷⁴ menciona que, películas se definen como término opcional para aquellas láminas plásticas que tienen un espesor no mayor a 0.25 mm o bien 0.010 in.

El análisis con el blanco que fue elaborado en las mismas proporciones de PVA, glicerol que los demás tratamientos y en proporción de 3.0 %p/p de almidón nativo deja en claro que el adicionar celulosa de fibra de coco y zeolita no mejoró notablemente las propiedades mecánicas de las biopelículas, ya que para la propiedad de resistencia a la tracción el blanco tiene un valor de 7.33 MPa con respecto al T2 que presenta 5.94 MPa siendo el tratamiento con mayor esfuerzo máximo en relación a los demás.

Por otro lado, la muestra experimental blanco presenta un mayor porcentaje de alargamiento en la rotura con un valor de 19.36% comparado al T3 que obtuvo el mayor porcentaje de elongación dentro de los tratamientos con un valor de 3.21%. A pesar de estos resultados el T2 tiene el mayor módulo elástico 172.6 MPa con respecto al blanco 104.24 MPa.

La elección del tratamiento óptimo va depender de las propiedades deseadas en futuras aplicabilidades, de las cuales.

El T2 presentó módulo elástico (171.60 MPa) y resistencia a la tracción nominal (5.94 MPa) altos, aunque con una elongación baja (1.53%), indicando un material rígido y resistente.

El T3 presentó módulo elástico más bajo (74.31 MPa) y mayor porcentaje de alargamiento en la rotura (3.21%), sin embargo, presenta una mediana resistencia a la tracción nominal (5.2 MPa), indicando un material resistente y flexible.

El T1 y T4, ambos tratamientos tienen propiedades moderadas en cuanto a módulo elástico y porcentaje de alargamiento en la rotura. Por un lado, el T1 es ligeramente flexible, mientras que el T4 es ligeramente más resistente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Durante este estudio se buscó la formulación de las biopelículas a través de varias pruebas experimentales, donde se utilizó el método casting, de tal forma que la óptima formulación se escogió de acuerdo a las mejores características visuales que presentó, determinando la formulación de 1% - 1.3% de celulosa de fibra de coco y 0.2% - 0.5% de zeolita, de tal forma que se obtuvieron 4 tratamientos combinando estas proporciones, las cuales se les realizaron ensayos de tracción para determinar sus propiedades mecánicas.
- La evaluación de las propiedades mecánicas de las biopelículas no presentó diferencias significativas, sin embargo, se realizó gráficas de intervalos de cada prueba mecánica con respecto a los tratamientos y se determinó un análisis de acuerdo a sus medias, donde se comprobó que, a mayor porcentaje de celulosa y zeolita, aumentaron las propiedades del módulo de elasticidad y resistencia a la tracción, pero disminuyó el porcentaje de elongación.

Por otro lado, de acuerdo al análisis por factores, se llegó a evidenciar que el porcentaje de zeolita influyó significativamente en las propiedades de espesor y módulo de elasticidad de las biopelículas, pues a menor porcentaje de zeolita se determinó que el espesor aumentaba y a mayor porcentaje de la misma el módulo de elasticidad tendía a incrementar.

Sin embargo, de acuerdo a los resultados de los análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas en los tratamientos y la interacción de los factores con respecto a las propiedades mecánicas, pues se obtuvieron valores p mayores a 0.05, lo que llevó a la aceptación de la hipótesis nula, la cual indica que las propiedades mecánicas de las biopelículas no varían de acuerdo a las diferentes proporciones de celulosa de fibra de coco y zeolita.

- Por último, los resultados de las pruebas mecánicas se compararon de acuerdo a los estándares de calidad existentes de normativas nacionales e internacionales, debido a que no se encontró una norma que indique valores de ensayos de tracción

para películas de celulosa nativa, sin embargo, se logró comparar de acuerdo a la normativa ASTM D882 – 18 y NTE INEN 2635:2012 con extensión en la ASTM D638 – 22, donde se tomaron como referencia a compuestos celulósicos, como el triacetato de celulosa (CAT) y butirato de acetato de celulosa (CAB), determinando que existe una gran diferencia entre los valores obtenidos en este trabajo con respecto a los compuestos de referencia en las normativas, por lo que se concluyó que la elección del tratamiento óptimo va depender de las propiedades deseadas en futuras aplicabilidades que se le pueda dar a esta biopelícula.

4.2 Recomendaciones

- La muestra de zeolita debe estar previamente pulverizada a un tamaño de malla - 200 para permitir su correcta homogenización en la solución.
- Es importante el uso de mascarilla durante el proceso de vaciado en placa y minimizar el tiempo de exposición de la solución al aire para prevenir contaminación microbiana.
- Tener control en la nivelación de las parrillas de la estufa para evitar el desnivel en el espesor de las biopelículas.
- Hacer un molde de probeta con las medidas exactas de acuerdo a la normativa con la que se guíe el laboratorio para facilitar el corte preciso de las biopelículas.
- Es necesario realizar investigaciones de componentes modificados que se adicionen a la solución para mejorar sus propiedades mecánicas.
- Analizar otras características de las biopelículas distintas a las que se estudiaron en este trabajo, para completar la caracterización y así poder encontrar futuras aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Pluas, R.; Martínez, C.; Zambrano, Y. Los Bioplásticos: Para Una Alternativa Ecológica. *Polo del Conocimiento* **2020**, 5 (10), 274–282. <https://doi.org/10.23857/pc.v5i10.1805>.
- (2) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. Residuos Agroindustriales Generados En Ecuador Para La Elaboración de Bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* **2019**, 17 (3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>.
- (3) Riera, M. A.; Maldonado, S.; Palma, R. Residuos Agroindustriales Generados En Ecuador Para La Elaboración de Bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* **2019**, 17 (3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>.
- (4) Aguiar, S.; Enríquez Estrella, M.; Uvidia Cabadiana, H. Residuos Agroindustriales: Su Impacto, Manejo y Aprovechamiento. *AXIOMA* **2022**, 1 (27), 5–11. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>.
- (5) Maza-Martínez, J. E.; Sánchez-Moreno, H. J.; Flores-Fiallos, L. M.; Bonilla-Lucero, M. L. Obtención de Una Biopelícula a Partir de Almidón de Maíz Chulpi (*Zea Mays Amylosaccharata*) Para Embalaje de Alimentos. *Polo del Conocimiento* **2022**, 7 (2), 1270–1297. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/pc.v7i2.3646>.
- (6) Intriago Franco, T. N.; Jiménez Muñiz, B. E. Evaluación Financiera de La Elaboración de Compost Con El Residuo Del Coco, En La Ciudad de Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 2021. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53538> (accessed 2024-02-10).
- (7) San Andrés, G.; Aguilar-Sierra, S.; Bernardo Graziella. Morphological, Physical, and Chemical Characterization of Coconut Residues in Ecuador. *Heliyon* **2023**, 9 (9), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19267>.
- (8) Soriano Soto, M. D.; García, F.; García-España, L. Residuos de Coco. Arte y Vermicompostado Para Su Reutilización. In *Actas III Congreso Internacional sobre*

Patrimonio Alimentario y Museos; Editorial Universitat Politècnica de València: Valencia, 2021; pp 281–290. <https://doi.org/10.4995/EGEM2021.2021.14899>.

(9) Vilela Estrada, J. J. Sensibilización Sobre La Importancia Del Manejo de Desechos de Estopa de Cocotero Frente al Cambio Climático. Caso de Estudio Manglar de La REMACAM, En Las Comunidades Pampanal de Bolívar y Tambillo. Periodo 2015-2019, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Quito, 2020. <http://hdl.handle.net/10469/16794> (accessed 2024-02-10).

(10) Barahona Alvear, N. S.; Tixi Toapanta, H. P.; Hugo Calderón, S.; Barahona Alvear, L. Biopolímeros Capaces de Reemplazar a Los Plásticos Tradicionales. *Ciencia Digital* **2019**, 3 (4), 138–155. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i4.954>.

(11) Souza, I.; García-Villén, F.; Viseras, C.; Pergher, S. Zeolites as Ingredients of Medicinal Products. *Pharmaceutics* **2023**, 15 (5), 1352. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051352>.

(12) Palacios Anzules, Í. del C.; Moreno Castro, D. W. Contaminación Ambiental. *RECIMUNDO* **2022**, 6 (2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103).

(13) Saremi, P. Environmental Pollution and Ways to Reduce Contamination with Use of Environmental Engineering Techniques in Metropolises of Developing Countries. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* **2020**, 5 (3), 566–581. <https://doi.org/10.22161/ijeab.53.9>.

(14) Mercado Mamani, S. L.; Collazos Cabrera, J. A. Contexto Del Impacto Ambiental Generado Por La Agroindustria En El Perú. *Innova Biology Sciences* **2022**, 2 (3), 13–22. <https://doi.org/10.58720/ibs.v2i3.50>.

(15) Romero Delgado, V. M.; Rosado Zambrano, G. V.; Sablón Cossío, N.; Burbano Mera, L. Análisis de La Cadena Agroalimentaria Del Coco (Cocos Nucifera) En La Provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica. Revista De Las Agrociencias* **2020**, 10 (2), 43–72. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i24.2345.

- (16) Gomez Méndez, T. S.; Zuluaga Palacio, S.; Salazar Marín, M. C.; Peñuela, A. F.; Fernández Morales, P. Comportamiento Mecánico de Fibras y No Tejidos de Coco. Comparación Entre Parámetros de Punzonado y Adhesión Química. *Avances Investigación en Ingeniería* **2020**, *17* (1), 1–10. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5255>.
- (17) Oviedo Chávez, A.; Vinuesa Galárraga, J. Residuos Lignocelulósicos y Sus Usos: Una Revisión. *infoANALÍTICA* **2020**, 134–147. <https://doi.org/10.26807/ia.vi.174>.
- (18) Flores Nieves, M. M.; Soto Zarazúa, G. M. Integración de Biopolímeros En La Industria Textil. *Inventio* **2020**, *16* (39), 1–5. <https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/5>.
- (19) Guaña Escobar, F.; Vaca Tenorio, M.; Aguilar Morales, J. Biopelículas y Envases Activos, Nuevas Tecnologías En La Industria Alimentaria. *FACSALUD-UNEMI* **2022**, *6* (10), 18–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.29076/issn.2602-8360vol6iss10.2022pp18-32p>.
- (20) Villar Calero, K. A.; Ruiz Pacco, G. A.; Fuertes Ruitón, C. M. Biopelículas a Base de Quitosano y Aceite Esencial de *Minthostachys Mollis* (Muña) Con Propiedades Antioxidante y Antimicrobiana. *Revista de la Sociedad Química del Perú* **2021**, *87* (4), 309–320. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.357>.
- (21) Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). *Método de Ensayo Para Las Propiedades de Tracción de Láminas Plásticas Delgadas*; Quito, 2012. <https://archive.org/details/ec.nte.2635.2012/page/n1/mode/1up> (accessed 2024-02-17).
- (22) Uquillas, S. Efecto de Los Aceites Esenciales En Biopelículas Elaboradas a Partir de Matrices Poliméricas Naturales Obtenidas Mediante Técnica de Casting. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, 2021. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7845/3/Tesis%20%281%29.pdf> (accessed 2024-06-25).
- (23) Córdova, L. Obtención y Caracterización de Una Biopelícula a Partir de Residuos de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) y Aceite Esencial de Limón (*Citrus Limon*) Para El Uso En Alimentos. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2021. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16730/1/96T00657.pdf> (accessed 2024-06-25).

- (24) Flores, M. Obtención de Una Lámina Biodegradable a Partir de La Lenteja (*Lens Culinaris*) Para El Embalaje de Alimentos. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba, 2021. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14987/1/96T00637.pdf> (accessed 2024-06-25).
- (25) Narváez, M. Optimización de Las Propiedades Mecánicas de Bioplásticos Sintetizados a Partir de Almidón. Proyecto de Investigación, Universidad San Francisco de Quito (USFQ), Quito, 2016. https://usfq.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma990001292780206366&context=L&vid=593USFQ_INST:USFQ&lang=es&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=Everything&query=any,contains,Optimizaci%C3%B3n%20de%20las%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20 (accessed 2024-07-20).
- (26) Wang, H.; Qian, J.; Ding, F. Emerging Chitosan-Based Films for Food Packaging Applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. American Chemical Society January 17, 2018, pp 395–413. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04528>.
- (27) Escobar Guadarrama, J. A. Elaboración y Caracterización de Biopelículas Elaboradas Con Quitosano y Adicionadas Con Partículas de Almidón. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Toluca de Lerdo, 2020. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109321> (accessed 2024-01-22).
- (28) Rengifo Reyes, D. A.; Téllez Espinosa, E. P. Elaboración de Biopelícula a Partir de La Semilla de Aguacate Variedad Lorena, Fundación Universidad de América, Bogotá, 2023. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/9145> (accessed 2024-02-11).
- (29) Avendaño Rojas, L. N. Evaluación de La Síntesis de Una Película Bioplástica a Escala Laboratorio a Partir de Residuos de Mango (*Mangífera Índica*), Fundación Universidad de América, Bogotá, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8828> (accessed 2024-02-11).
- (30) Holguin Cardona, J. S. Obtención de Un Bioplástico a Partir de Almidón de Papa, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C., 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7388> (accessed 2024-02-11).

- (31) Mena, M.; Hernández, A.; León, E.; Cruz, R.; Rayas, A.; Díaz, M.; Jiménez, J.; Miranda de la Lama, G.; García, M.; López, C. Biopolímeros de Celulosa En Empaques Alimenticios: Retos y Aplicaciones. *Agro Productividad* **2019**, *12* (11), 83–88. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1499>.
- (32) Kalla, A. M.; Eljeeva, M.; Franklin, E.; Pushpadassa, H. A.; Kumar, S.; Nath Battula, S. Isolation and Characterization of Cellulose from Coconut Shell Powder and Its Reinforcement in Casein Films. *The pharma Innovation Journal* **2022**, *11* (10), 1043–1053.
- (33) Muryeti; Ningtyas, R.; Sabatina, R. R.; Yuniastuti, R. T. The Characterization of the Mechanical Properties of Biofilm from Avocado Seeds and Coconut Coir Fiber. *AIP Conf Proc* **2022**, 040014. <https://doi.org/10.1063/5.0110820>.
- (34) Butnariu, M.; Ionut-Flavius, A. General Information about Cellulose. *J Biotechnology and Bioprocessing* **2022**, *3* (3), 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.31579/2766-2314/077>.
- (35) Fatema, N.; Ceballos, R. M.; Fan, C. Modifications of Cellulose-Based Biomaterials for Biomedical Applications. *Front Bioeng Biotechnol* **2022**, *10*, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.993711>.
- (36) Sabbaghi, H. Perspective Chapter: Cellulose in Food Production – Principles and Innovations. In *Cellulose - Fundamentals and Conversion Into Biofuel and Useful Chemicals*; IntechOpen, 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109204>.
- (37) Espinoza Montero, J. A.; Amador Vargas, G. M.; Navarro Navarro, J. D.; Rodríguez Mora, K. M. Elaboración de Placas de Aislamiento Térmico a Partir de Fibra de Coco Empleando Ácido Poliláctico (PLA) Como Aglutinante. *InterSedes* **2022**, *23* (48), 290–307. <https://doi.org/10.15517/isucr.v23i48.49852>.
- (38) Guambo, M. P. R.; Spencer, L.; Vispo, N. S.; Vizuete, K.; Debut, A.; Whitehead, D. C.; Santos-Oliveira, R.; Alexis, F. Natural Cellulose Fibers for Surgical Suture Applications. *Polymers (Basel)* **2020**, *12* (12), 3042. <https://doi.org/10.3390/polym12123042>.
- (39) Abdullah, N. A.; Sainorudin, M. H.; Rani, M. S. A.; Mohammad, M.; Kadir, N. H. A.; Asim, N. Structure and Thermal Properties of Microcrystalline Cellulose Extracted from

Coconut Husk Fiber. *Polimery* **2021**, 66 (3), 187–192.
<https://doi.org/10.14314/polimery.2021.3.4>.

(40) Tušek, D.; Cetina, I.; Pehar, V. Suvremena Sredstva Za Dekontaminaciju Bojnih Otrova. *Kemija u industriji* **2019**, 68 (11–12), 599–608.
<https://doi.org/10.15255/kui.2019.021a>.

(41) Yu, J.; Zhao, D. Preface to Special Topic on New Era of Zeolite Science. *Natl Sci Rev* **2022**, 9 (9). <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac157>.

(42) Rainer, D. N.; Morris, R. E. New Avenues for Mechanochemistry in Zeolite Science. *Dalton Transactions* **2021**, 50 (26), 8995–9009. <https://doi.org/10.1039/D1DT01440D>.

(43) Kim, N.; Min, K. Optimal Machine Learning Feature Selection for Assessing the Mechanical Properties of a Zeolite Framework. *Physical Chemistry Chemical Physics* **2022**, 24 (44), 27031–27037. <https://doi.org/10.1039/D2CP02949A>.

(44) Buzimov, A. Y.; Kulkov, S. N.; Gömze, L. A.; Géber, R.; Kocserha, I. Effect of Mechanical Treatment on the Structure and Properties of Natural Zeolite. *Inorganic Materials: Applied Research* **2018**, 9 (5), 910–915.
<https://doi.org/10.1134/S2075113318050040>.

(45) Argumanis Sancho-Dávila, G. E. Efecto de Zeolita Clinoptilolita En La Calidad Del Agua Con Fines de Uso En Acuicultura Ornamental, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5493> (accessed 2024-02-17).

(46) Yanchaguano Toapanta, D. V. Análisis de Aluminosilicatos Como Material de Sustitución Parcial Del Cemento Tipo GU En La Construcción, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2021. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/32167> (accessed 2024-02-17).

(47) Pavlović, J.; Rajić, N. Clinoptilolite—An Efficient Carrier for Catalytically Active Nano Oxide Particles. *Minerals* **2023**, 13 (7), 877. <https://doi.org/10.3390/min13070877>.

- (48) Riera, M. A. OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ (Zea Mays L.). *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios* **2020**, 7 (1), 1–11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>.
- (49) Cenobio-Galindo, A. de J.; Vargas-Cázares, K. P.; Rodríguez-Peláez, I.; Hernández-Soto, I.; Campos-Montiel, R. G. Almidón Como Recubrimiento Para Alargar La Vida de Alimentos Origen Vegetal: Una Revisión. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP* **2024**, 10 (19), 27–31. <https://doi.org/10.29057/icap.v10i19.11039>.
- (50) 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. *Zenodo* **2020**. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>.
- (51) Angueta Giraldo, M. E.; Giraldo Tigua, L. J. Elaboración de Envases Bioplásticos Mediante El Aprovechamiento de Materias Primas Vegetales Con Fines Industriales, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, 2019. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d74ae87b-e8d3-44bd-a4ca-b5269ea55ff0/content> (accessed 2024-02-10).
- (52) Chakraborty, I.; N, P.; Mal, S. S.; Paul, U. C.; Rahman, Md. H.; Mazumder, N. An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A Review. *Food Bioproc Tech* **2022**, 15 (6), 1195–1223. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z>.
- (53) Valdivieso Molina, F.; Mollinedo, P. Formación de Almidón Retrogradado Relacionado a Niveles de Amilosa En El Almidón de Papa (Solanum Tuberosum) y Chuño Retrograded Starch Formation Dependent on Amylose Level of Potatoe Starch (Solanum Tuberosum) and Chuño. *Revista CON-CIENCIA* **2021**, 9, 84–102. <https://doi.org/10.53287/mjns8913yn27w>.
- (54) Rodríguez Salazar, A. J. Design and Optimization by Response Surface of a FAO Grade-Handicraft Prototype for Yucca Starch Extraction. *agriRxiv* **2022**, 1–26. <https://doi.org/10.31220/agriRxiv.2022.00119>.

- (55) Egbadzor, K. F. Cassava [*Manihot Esculenta* (Crantz)] Germplasm for Effective Conservation. *Journal of Agriculture and Food Sciences* **2022**, 20 (1), 201–207. <https://doi.org/10.4314/jafs.v20i1.16>.
- (56) Weligama Thuppahige, V. T.; Moghaddam, L.; Welsh, Z. G.; Wang, T.; Xiao, H.-W.; Karim, A. Extraction and Characterisation of Starch from Cassava (*Manihot Esculenta*) Agro-Industrial Wastes. *LWT* **2023**, 182, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114787>.
- (57) Verma, R.; Chauhan, N.; Chandra, S. Physicochemical, Functional and Morphological Properties of Gamma-Irradiated Cassava Starch. *Res Sq* **2023**, 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3086591/v1>.
- (58) Akonor, P. T.; Osei Tutu, C.; Arthur, W.; Adjebeng-Danquah, J.; Afrifah, N. S.; Budu, A. S.; Saalia, F. K. Granular Structure, Physicochemical and Rheological Characteristics of Starch from Yellow Cassava (*Manihot Esculenta*) Genotypes. *Int J Food Prop* **2023**, 26 (1), 259–273. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2161572>.
- (59) Chisenga, S. M.; Workneh, T. S.; Bultosa, G.; Laing, M. Characterization of Physicochemical Properties of Starches from Improved Cassava Varieties Grown in Zambia. *AIMS Agriculture and Food* **2019**, 4 (4), 939–966. <https://doi.org/https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.939>.
- (60) Vélez Martínez, C. V.; Zambrano Murillo, X. S.; Delgado Demera, M. H.; Burgos Briones, G. A.; Cedeño Palacios, C. A. Almidones de Cáscara de Yuca (*Manihot Esculenta*) y Papa (*Solanum Tuberosum*) Para Producción de Bioplásticos: Propiedades Mecánicas y Efecto Gelatinizante. *Revista Bases de la Ciencia* **2021**, 6 (2), 137–152. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.3293.
- (61) Liu, B.; Zhang, J.; Guo, H. Research Progress of Polyvinyl Alcohol Water-Resistant Film Materials. *Membranes (Basel)* **2022**, 12 (3), 347. <https://doi.org/10.3390/membranes12030347>.
- (62) Alata Mayhure, E.; Cuadros Huamaní, Y.; Miranda Zanard, L.; Medina de Miranda, E. Biopelículas Producidas Con Cáscara de Naranja y Reforzadas Con Celulosa

Bacteriana. *Revista de la Sociedad Química del Perú* **2018**, 85 (2), 231–241. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.80>.

(63) Granda Morocho, O. A. Desarrollo de Películas Biodegradables Usando Zeolitas Impregnadas Con Plata, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, 2020. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/26464> (accessed 2024-02-17).

(64) Delgado, S.; Flores, K. Obtención y Caracterización de Celulosa Obtenida a Partir de Fibra de Coco (Coco Nucifera) Utilizando El Método Alcalino. Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala, Machala, 2023.

(65) Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). *Plásticos. Determinación de La Resistencia a La Rotura Por Tracción*; Quito, 1995. <https://archive.org/details/ec.nte.2043.1996/page/n1/mode/2up> (accessed 2024-02-17).

(66) Yoplac, I.; Córdova, P.; Vargas, L. Propiedades Ópticas y Mecánicas de Biopelículas Activas Elaboradas Con Micr Opartículas de Citral. *Revista Tecnica De La Facultad De Ingenieria Universidad Del Zulia* **2021**, 44 (1), 12–20. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n1a02>.

(67) Wahab, D. N. A.; Siddique, Md. B. M.; Chew, J. J.; Su, H. T.; Khairuddin, N.; Khaerudini, D. S.; Hossain, Md. S.; Sunarso, J. Characterization of Starch Biofilm Reinforced with Cellulose Microfibers Isolated from Musa Saba' Midrib Residue and Its Application as an Active Packaging Film. *J Appl Polym Sci* **2023**, 140 (48). <https://doi.org/10.1002/app.54720>.

(68) Müller, C. M. O.; Laurindo, J. B.; Yamashita, F. Effect of Cellulose Fibers Addition on the Mechanical Properties and Water Vapor Barrier of Starch-Based Films. *Food Hydrocoll* **2009**, 23 (5), 1328–1333. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.002>.

(69) American Society for Testing and Materials. *ASTM D882: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*; United States, 2018. <https://www.astm.org/d0882-18.html> (accessed 2024-07-27).

(70) Lindriati, T.; Rusdianto, A. S.; Bustani Pakartiko; Firda Ainia Adha. Physical Mechanical Properties of Biodegradable Plastics from Cassava Starch with Variation of

Bagasse and Glycerol. *Journal La Lifesci* **2021**, 2 (1), 9–19.
<https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v2i1.287>.

(71) Espinoza-Herrera, N.; Pedroza-Islas, R.; San Martín-Martínez, E.; Cruz-Orea, A.; Tomás, S. A. Thermal, Mechanical and Microstructures Properties of Cellulose Derivatives Films: A Comparative Study. *Food Biophys* **2011**, 6 (1), 106–114.
<https://doi.org/10.1007/s11483-010-9181-0>.

(72) Hosseinnia, M.; Alaei, 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>.

(73) American Society for Testing and Materials. *ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*; United States, 2022. <https://doi.org/10.1520/D0638-22>.

(74) American Society for Testing and Materials. *ASTM D6988: Standard Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens*; United States, 2021. <https://www.astm.org/d6988-21.html> (accessed 2024-07-27).

ANEXOS

Anexo A. Proceso de elaboración de biopelículas.



Adición de reactivos en la solución polimérica.



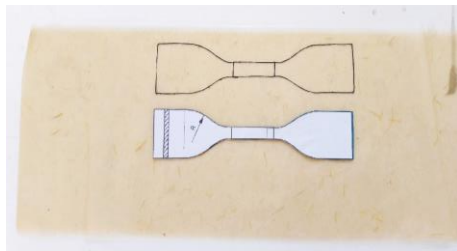
Vaciado de la solución en placa.



Colocación de las placas en la estufa a 40°C y 24 horas.



Desmoldado de la biopelícula.




Calcado de la probeta en la biopelícula.



Cortado de la probeta de biopelícula.

Informes de resultados de ensayos de tracción.

Anexo B. Probetas del Tratamiento 1.



LenMay
LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES


Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 2			
SOLICITADO POR:	Ana Lucia Curillo Chamba - Jorge Luis Orellana Velez		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	17-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	4	5	6
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T1R1-01	T1R2-02	T1R3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,15	0,18	0,16
ANCHURA [mm]	6,68	6,68	6,25
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,00	1,20	1,00
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9,896,E+01	8,089,E+01	9,698,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3,41	4,69	3,00
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	3,40	3,90	3,00
CARGA MAXIMA [N]	5,39	6,27	6,06
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	5,37	5,21	6,06
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0,80	3,20	2,76


OBSERVACIONES:





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


Aprobado por:

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




Calle Roma N° 7 y Padua, Cda. Politécnica

 (03) 2 924420 -  0987260955

 jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador


1/1

Anexo C. Probetas del Tratamiento 2.




Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 3			
SOLICITADO POR:	Ana Lucia Curillo Chamba - Jorge Luis Orellana Velez		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	17-jul-24		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B		
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD		
SERIE:	CERTIFICADO:	CÓD IDENT:	
7136	LNM-F-2016500064D	M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	7	8	9
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2R1-01	T2R2-02	T2R3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPEJOR [mm]	0,22	0,20	0,19
ANCHURA [mm]	6,30	6,24	6,58
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,39	1,25	1,25
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1,104,E+02	2,500,E+02	1,574,E+02
CARGA DE FLUENCIA [N]	4,44	4,37	4,00
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	3,20	3,50	3,20
CARGA MÁXIMA [N]	7,74	8,30	6,99
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	5,58	6,65	5,59
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0,20	3,16	1,24
OBSERVACIONES:			







Aprobado por:



Ing. Anibal Viñan B. MsC.
SERENTE 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 éste documento.

 Calle Roma N° 7 y Padua, Cdl. Politécnica
  (03) 2 924420 -
  0987260955

 jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador


1/1

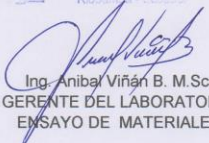
Anexo D. Probetas del Tratamiento 3.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.




INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN	Denominación: RG 18 - 1		
	Nº 4		
SOLICITADO POR:	Ana Lucia Curillo Chamba - Jorge Luis Orellana Velez		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	17-jul-24		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B		
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD		
SERIE:	CERTIFICADO:	CÓD IDENT:	
7136	LNM-F-2016500064D	M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	10	11	12
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T3R1-01	T3R2-02	T3R3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,23	0,21	0,21
ANCHURA [mm]	6,64	6,52	6,15
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,53	1,37	1,29
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	4,515,E+01	9,982,E+01	7,795,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3,74	2,88	2,32
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2,45	2,10	1,80
CARGA MÁXIMA [N]	7,10	7,93	6,66
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	4,65	5,79	5,16
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3,64	2,12	3,88
OBSERVACIONES:			





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

Aprobado por:


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

 Calle Roma N° 7 y Padua, Cda. Politécnica
  (03) 2 924420 -  0987260955

 jvinan54@yahoo.es - Riobamba - Ecuador

1/1

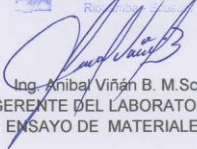
Anexo E. Probetas del Tratamiento 4.



Ing. J. Anibal Viñan B. MsC.





INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 5			
SOLICITADO POR:	Ana Lucia Curillo Chamba - Jorge Luis Orellana Velez		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	17-jul-24		
EQUIPO UTILIZADO:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B		
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD		
SERIE:	CERTIFICADO:	CÓD IDENT:	
7136	LNM-F-2016500064D	M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T4R1-01	T4R2-02	T4R3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,17	0,22	0,24
ANCHURA [mm]	6,16	6,4	6,35
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,05	1,41	1,52
MÓDULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9,812,E+01	9,327,E+01	4,226,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	4,19	3,24	3,20
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	4,00	2,30	2,10
CARGA MÁXIMA [N]	8,55	6,95	6,87
ESFUERZO MÁXIMO [MPa]	8,17	4,93	4,51
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	1,88	1,08	2,16
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:



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

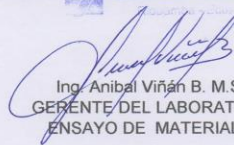
Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento. 1/1

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

Anexo F. Probetas del Tratamiento Blanco.

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 1			
SOLICITADO POR:	Ana Lucia Curillo Chamba - Jorge Luis Orellana Velez		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE BIOPELÍCULAS DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	BIOPELÍCULA DE CELULOSA DE FIBRA DE COCO Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	17-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
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	BR1-01	BR2-02	BR3-03
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,1	0,16	0,11
ANCHURA [mm]	6,42	6,17	6,66
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0,64	0,99	0,73
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	1,280,E+02	9,830,E+01	8,641,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3,15	3,55	3,66
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	4,90	3,60	5,00
CARGA MAXIMA [N]	5,35	6,22	5,40
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	8,33	6,30	7,36
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	30,76	24,00	3,32
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

Anexo G. Equipo de ensayo de materiales.



Anexo H. Proceso de ensayo de materiales.



Biopelícula sostenida entre las mordazas.



Esfuerzo axial producido en la biopelícula.



Momento de ruptura de la biopelícula.



Biopelículas después de la realización de pruebas mecánicas