



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULAS DE
CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y ZEOLITA A PARTIR DE
DIFERENTES FORMULACIONES**

**ELIZALDE HUANCA VIVIANA ANDREA
INGENIERA QUIMICA**

**MALLA DIAZ KIANA JULISSA
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PELÍCULAS DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y ZEOLITA
A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES**

**ELIZALDE HUANCA VIVIANA ANDREA
INGENIERA QUIMICA**

**MALLA DIAZ KIANA JULISSA
INGENIERA QUIMICA**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
PELÍCULAS DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y
ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES**

**ELIZALDE HUANCA VIVIANA ANDREA
INGENIERA QUIMICA**

**MALLA DIAZ KIANA JULISSA
INGENIERA QUIMICA**

GRANDA MOROCHO OFELIA ALEXANDRA

**MACHALA
2024**

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULAS DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

por Viviana Andrea Elizalde Huanca

Fecha de entrega: 12-ago-2024 10:27a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2431092637

Nombre del archivo: DE_CA_A_Y_ZEOLITA_A_PARTIR_DE_DIFERENTES_FORMULACIONES.pdf_1.pdf
(1,003.06K)

Total de palabras: 14355

Total de caracteres: 74500

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULAS DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	9%	6%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
3	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	revistas.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1%
5	acvenisproh.com Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1%
8	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1%

9

www.tdx.cat

Fuente de Internet

<1 %

10

Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD
AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA

Trabajo del estudiante

<1 %

11

M. Flores Nicolás, M.M. Chávez Cano, M.
Vlasova, T. Pi Puig. "Low-temperature
sintering of ceramic bricks from clay, waste
glass and sand", Boletín de la Sociedad
Española de Cerámica y Vidrio, 2024

Publicación

<1 %

12

repository.uamerica.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

13

Submitted to Universidad Tecnica De Ambato-
Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE

Trabajo del estudiante

<1 %

14

repositorio.unajma.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

revista-agroproductividad.org

Fuente de Internet

<1 %

16

Submitted to Universidad Privada Boliviana

Trabajo del estudiante

<1 %

17

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

20

Alex P. Jones. "Essentials of Plastic Surgery - Q&A Companion", CRC Press, 2019

Publicación

<1 %

21

ediciones.inca.edu.cu

Fuente de Internet

<1 %

22

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

revistas.unicauca.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

24

Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y quinoa fermentadas con *Pleurotus ostreatus*", Universitat Politecnica de Valencia, 2023

Publicación

<1 %

25

repositorio.unan.edu.ni

Fuente de Internet

<1 %

26

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

Fuente de Internet

<1 %

29

Submitted to ECCI

Trabajo del estudiante

<1 %

30

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

31

repositorio.ujcm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

www.foristom.org

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to Universidad Politecnica
Salesiana del Ecuador

Trabajo del estudiante

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

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

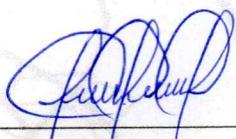
Las que suscriben, ELIZALDE HUANCA VIVIANA ANDREA y MALLA DIAZ KIANA JULISSA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULAS DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA Y ZEOLITA A PARTIR DE DIFERENTES FORMULACIONES, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

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

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

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

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



ELIZALDE HUANCA VIVIANA ANDREA

1105560989



MALLA DIAZ KIANA JULISSA

0750342958

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada primeramente a Dios, quien me ha acompañado en todo momento, guiándome y dándome fortaleza durante este trayecto.

Asimismo, dedico este trabajo a mis amados padres Pedro y Crisanta, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome su apoyo incondicional, su amor y sus sabios consejos a lo largo de esta trayectoria académica. Gracias a ellos, he podido alcanzar esta meta y estoy segura de que continuarán apoyándome en mis futuros desafíos. A mi hijo Aedan, quien es mi motor, tu presencia en mi vida me ha brindado las fuerzas necesarias para no desistir, incluso en los momentos más desafiantes.

Elizalde Huanca Viviana Andrea

El presente trabajo se lo dedico principalmente a mi madre Mayra Díaz, por su apoyo incondicional, por motivarme a siempre alcanzar mis metas y nunca darme por vencida. A mis hermanos, Andrés, Doménica y Ana por brindarme su compañía y hacer este proceso académico más ameno. A mis abuelos Freya y Marcial, por creer en mí, y motivar mi desarrollo personal, y a mi padre, por darme su apoyo económico que me permitió llevar a cabo el desarrollo de este trabajo.

Malla Díaz Kiana Julissa

AGRADECIMIENTOS

Agradecida a mis hermanos, especialmente a Mery, Hilda y Jenny, su apoyo incondicional ha sido de gran importancia para alcanzar este logro. Gracias a ustedes, hermanas, alcanzar esta meta fue mucho más sencillo. También a mi cuñado Ubaldo por su apoyo constante durante mi trayectoria universitaria. De igual manera, extendo mi gratitud a mi tutora Ofelia por su paciencia, dedicación y sobre todo su orientación durante esta etapa de mi formación profesional.

Elizalde Huanca Viviana Andrea

Quiero expresar mis agradecimientos a mi tutora, la Ingeniera Ofelia Granda por guiarnos durante este proceso y brindarnos su conocimiento y asesoramiento.

A la Dra. Susana Blacio, por igualmente brindarnos su ayuda, durante la realización de este trabajo.

Al Doctor Freddy Pereira, por concedernos el acceso a su laboratorio para el desarrollo de la parte experimental del trabajo de titulación.

Así mismo deseo agradecer a la Universidad Técnica de Machala, por permitirme llevar a cabo mi formación académica a lo largo de estos cinco años.

Malla Díaz Kiana Julissa

RESUMEN

Las películas son capas delgadas, que se pueden elaborar extrayendo la celulosa de los residuos de plantas agrícolas, para que sus propiedades mecánicas sean más resistentes, se le agregan otros aditivos como el alcohol polivinílico (PVA) el cual se descompone fácilmente, el almidón que es un polímero natural que tiene la capacidad de gelatinización y endurecimiento, la glicerina que actúa como plastificante y la zeolita que puede ayudar el comportamiento mecánico.

La celulosa de bagazo de caña de azúcar utilizada fue caracterizada mediante análisis de difracción de Rayos X y fluorescencia de Rayos X. El índice de cristalinidad la celulosa fue de 50.67%, mientras que el tamaño de cristal promedio fue de 34 Å. El análisis de XRF reveló que la celulosa está compuesta por 2.5% de Al_2O_3 , 5.66% de SiO_2 , 0.14% de CaO , 0.03% de MnO , y 0.035% de Fe_2O_3 .

Para la elaboración de las películas se aplicó el método de Casting, que consistió en verter una solución homogénea en moldes rectangulares de 10.0 x 30.0 cm y dejarlas secar en una estufa a 40°C por 24 horas, esta solución estuvo compuesta de glicerol (1.0%), almidón de yuca (1.5%), alcohol polivinílico (1.0%) y diferentes concentraciones de celulosa y zeolita. Se utilizó 1.0% y 1.3% de celulosa de bagazo de caña de azúcar y 0.2% y 0.5% de zeolita clinoptilolita para la formulación de cuatro tratamientos con tres repeticiones para obtener 12 unidades experimentales que posteriormente se enviaron a analizar para determinar las propiedades mecánicas.

Las pruebas de las propiedades mecánicas se realizaron considerando la Norma ASTM D3039/D3039M-17, aplicando la máquina universal de ensayos WAW600B. Los resultados arrojaron que el tratamiento elaborado con 1.0% de celulosa y 0.2% de zeolita contó con una mayor resistencia a la tracción (1.97 MPa \pm 0,234) y módulo de elasticidad (54.0 MPa \pm 16,045) en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, el tratamiento realizado con 1.3% de celulosa y 0.2% de zeolita tuvo un mejor porcentaje de elongación (4.947% \pm 1.535). Adicionalmente, se realizó una comparación de las propiedades mecánicas con los parámetros de la Normativa Nacional vigente, (Norma INEN 2290), donde se observa que no cumplen con los valores establecidos.

Palabras Clave: Bagazo, Caña, Celulosa, Películas, Zeolita.

ABSTRACT

The films are thin layers, which can be made by extracting cellulose from agricultural plant residues, to make their mechanical properties more resistant, other additives are added such as polyvinyl alcohol (PVA) which decomposes easily, starch which is a natural polymer that has the ability to gelatinize and harden, glycerin which acts as a plasticizer and zeolite which can help the mechanical behavior.

The sugarcane bagasse cellulose used was characterized by X-ray diffraction and X-ray fluorescence analysis. The crystallinity index of the cellulose was 50.67%, while the average crystal size was 34 Å. XRF analysis revealed that the cellulose is composed of 2.5% Al₂O₃, 5.66% SiO₂, 0.14% CaO, 0.03% MnO, and 0.035% Fe₂O₃.

For the elaboration of the films, the Casting method was applied, which consisted of pouring a homogeneous solution in rectangular molds of 10.0 x 30.0 cm and leaving them to dry in an oven at 40 °C for 24 hours, this solution was composed of glycerol (1.0%), cassava starch (1.5%), polyvinyl alcohol (1.0%) and different concentrations of cellulose and zeolite. The 1.0% and 1.3% sugarcane bagasse cellulose and 0.2% and 0.5% clinoptilolite zeolite were used for the formulation of four treatments with three replicates to obtain 12 experimental units that were subsequently sent for analysis to determine the mechanical properties.

The mechanical properties tests were carried out in accordance with ASTM D3039/D3039M-17, using the WAW600B universal testing machine. The results showed that the treatment prepared with 1.0% cellulose and 0.2% zeolite had a higher tensile strength (1.97 MPa ±0.234) and modulus of elasticity (54.0 MPa ±16.045) compared to the other treatments. On the other hand, the treatment performed with 1.3% cellulose and 0.2% zeolite had a better elongation percentage (4.947% ±1.535). Additionally, a comparison of the mechanical properties with the parameters of the National Standard in force (INEN 2290) was carried out, where it was observed that they do not comply with the established values.

Keywords: Bagasse, Cane, Cellulose, Films, Zeolite.

CONTENIDO

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	14
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
HIPÓTESIS.....	18
Hipótesis Alternativa.....	18
Hipótesis Nula.....	18
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 Antecedentes.....	19
1.2 Películas poliméricas.....	20
1.3 Constituyentes de las películas.....	21
1.3.1 <i>Biopolímeros</i>	21
1.3.1.1 <i>Polímeros biodegradables sintéticos</i>	22
1.3.2 <i>Plastificantes</i>	22
1.3.2.1 <i>Glicerol</i>	22
1.3.2.2 <i>Alcohol polivinílico</i>	23

1.3.3 Solventes.....	24
1.3.4 Otros aditivos.....	24
1.3.4.1 Almidón.....	24
1.4 Métodos de elaboración de películas.....	25
1.4.1 Eliminación del Disolvente.....	26
1.4.2 Gelación Térmica.....	26
1.4.3 Solidificación.....	26
1.4.4 Micro fluidización.....	26
1.4.5 Método de Casting.....	26
1.4.5.1 Coater.....	27
1.5 Propiedades mecánicas de las películas.....	27
1.5.1 Módulo de elasticidad o módulo de Young.....	28
1.5.2 Resistencia a tracción en la rotura.....	28
1.5.3 Elongación.....	28
1.6 Caña de azúcar.....	28
1.6.1 Producción de la caña de azúcar en Ecuador.....	29
1.7 Bagazo de caña de azúcar.....	29
1.7.1 Partes del bagazo de caña.....	30
1.7.1.1 Fibra.....	30
1.7.1.2 Meollo.....	30
1.8 Celulosa.....	30
1.8.1 Características fisicoquímicas de la celulosa.....	32

1.8.2	<i>Aplicaciones de la celulosa.</i>	32
1.8.3	<i>Métodos de obtención de la celulosa</i>	33
1.8.3.1	<i>Método Mecánico.</i>	33
1.8.3.2	<i>Método Alcalino.</i>	33
1.8.3.3	<i>Método Kraft.</i>	33
1.9	<i>Zeolita</i>	34
1.9.1	<i>Propiedades de la zeolita.</i>	34
1.9.2	<i>Tipos de zeolita.</i>	35
1.9.2.1	<i>Zeolita sintética.</i>	35
1.9.2.2	<i>Zeolita Natural.</i>	35
2.	DISEÑO METODOLÓGICO	38
2.1	Sujetos o unidades de análisis.	38
2.1.1	<i>Población de estudio.</i>	38
2.1.2	<i>Tamaño de Muestra.</i>	38
2.1.3	<i>Ubicación de la investigación.</i>	38
2.2	Materiales y métodos	39
2.2.1	<i>Insumos, materiales, equipos y reactivos.</i>	39
2.2.2	<i>Elaboración de las películas.</i>	39
2.2.2.1	<i>Diagrama de flujo.</i>	40
2.2.2.2	<i>Procedimiento.</i>	41
2.3.	Proceso de recolección y análisis de datos.	41
2.3.1	<i>Tipo de investigación.</i>	42

2.3.1.1 <i>Factores y niveles de estudio</i>	42
2.3.2 <i>Variables</i>	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 Caracterización de la celulosa de bagazo de caña de azúcar.....	44
3.2 Formulación de las películas.....	46
3.3 Propiedades mecánicas.....	51
3.3.1 <i>Porcentaje de elongación</i>	52
3.3.2 <i>Módulo de elasticidad (MPa)</i>	54
3.3.3 <i>Resistencia a la Tracción (MPa)</i>	56
3.4 Comparación los parámetros calidad de las películas con las Normas vigentes...58	
4. CONCLUSIONES	59
5. RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXOS.....	74

ÍNDICE DE FÍGURAS

Figura 1. Forma estructural de Glicerol	23
Figura 2. Estructura química abreviada del PVA.....	24
Figura 3. Estructura Química de la Amilosa	25
Figura 4. Estructura Química de la Amilopectina	25
Figura 5. Representación gráfica del método de Casting.....	27
Figura 6. Estructura de la celulosa	31
Figura 7. Zeolita	34
Figura 8. Estructura de la Clinoptilolita.....	36
Figura 9. Localización de la Universidad Técnica de Machala.	38
Figura 10. Difractograma de la celulosa de Bagazo de caña de caña de azúcar	44
Figura 11. Gráfica de intervalos de medias para el porcentaje de elongación	54
Figura 12. Gráfica de intervalos de medias para el Módulo de elasticidad.....	55
Figura 13. Gráfica de intervalos de medias para la Resistencia a la Tracción	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar.....	30
Tabla 2. Materiales y Equipos	39
Tabla 3. Aditivos y sus proporciones para la elaboración de las películas	40
Tabla 4. Tratamientos para la elaboración de la película.....	42
Tabla 5. Factores y niveles de estudio	43
Tabla 6. Variables de Investigación	43
Tabla 7. Índice de cristalinidad de la celulosa de bagazo de caña de azúcar.....	45
Tabla 8. Composición química de la celulosa de bagazo de caña de azúcar	45
Tabla 9. Datos de los resultados de las propiedades mecánicas.	51
Tabla 10. Análisis de varianza del Porcentaje de elongación	53
Tabla 11. Comparación del porcentaje de elongación utilizando el método de Tukey.	53
Tabla 12. Análisis de varianza del Módulo de elasticidad.....	54
Tabla 13. Comparación del módulo de elasticidad utilizando el método de Tukey	55
Tabla 14. Análisis de varianza de la Resistencia a la Tracción	56
Tabla 15. Comparación de la Resistencia a la Tracción utilizando el método de Tukey	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Formulaciones para la elaboración de las películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar con zeolita	47
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Maquina universal de ensayos – WAW600B	74
Anexo 2. Proceso de análisis de las Propiedades mecánicas.....	74
Anexo 4. Proceso de elaboración de las películas	74
Anexo 3. Películas elaboradas.....	74
Anexo 6. Películas elaboradas.....	74
Anexo 7. Análisis de A1B1 (T1)	75
Anexo 8. Análisis de A2B1 (T2)	76
Anexo 9. Análisis de A1B2 (T3)	77
Anexo 10. Análisis de A2B2 (T4)	78
Anexo 11. Requisitos físicos de la película plástica en bases a las Normas INEN 2290	79

INTRODUCCIÓN

Hoy en día se ha visto un notable interés por encontrar alternativas sostenibles y eco amigables que sustituya a los productos que convencionalmente se fabrican con polímeros sintéticos tradicionales, es por eso que, a raíz de esto, nace el interés por indagar y crear películas aprovechando residuos agroindustriales con fin de ayudar al medio ambiente.

Las películas se elaboran generalmente con plásticos derivados del petróleo, el cual es un recurso fósil no renovable, sin embargo, dada la preocupación por la contaminación ambiental y el acumulamiento de desechos, se están investigando nuevas materias primas, como es el caso materiales lignocelulósicos procedentes de residuos agroindustriales, que son una gran fuente de compuestos poliméricos de suma importancia para su aplicación industrial dada su naturaleza biodegradable y renovable.¹

Una película se refiere a una fina capa de material, creada de manera independiente y que se coloca sobre una superficie plana para ser utilizada más adelante, estas pueden ser elaboradas de diferentes materias primas ya sean sintéticas o de fuentes naturales, en el caso de aquellas de origen natural, pueden ser extraídas de residuos agroindustriales.²

El bagazo de caña de azúcar es un residuo de la producción azucarera, que queda luego de extraer el zumo del tallo de la planta, y que usualmente se lo emplea como combustible para la generación de energía que alimenta a las calderas del procesamiento, transporte y almacenamiento, hace de este material una buena opción para ser aprovechada para la obtención de biomasa lignocelulosa en comparación a otras fuentes.³

Las fibras vegetales, derivadas de desechos agrícolas, son materiales naturales, estas contienen celulosa, hemicelulosa y lignina que forman parte de las paredes celulares de las plantas, la celulosa constituye aproximadamente un tercio de la composición de las plantas y se biosintetiza durante la fotosíntesis del vegetal, anualmente se genera una gran cantidad de celulosa a nivel mundial.⁴

Las zeolitas son estructuras cristalinas microporosas de aluminosilicatos con poros y canales ordenados en una red tridimensional, caracterizados por tener un tamaño de poro inferior a 2 nm³.⁵ Las zeolitas naturales son comúnmente halladas en cierto tipo de rocas sedimentarias conocidas como tobas, presentándose en cristales pequeños junto a arcillas y otras fases de densidad semejante.⁶ Dentro de las zeolitas naturales, destaca la clinoptilolita debido a su abundancia, costo reducido y amplia disponibilidad.

La adición de zeolita a películas puede producir cambios en las propiedades mecánicas de las mismas, dada la interacción de la zeolita con los otros componentes de la película.⁶

Después de realizar varias formulaciones con diferentes concentraciones de celulosa y zeolita, se selecciona las mejores para proceder a la obtención de la película bajo las condiciones, reactivos y plastificantes previamente fijadas al final se procedió a realizar los análisis pertinentes para analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, también conocido como módulo de young, porcentaje de elongación y la resistencia a la tracción en la rotura en los diferentes tratamientos realizados para conocer su comportamiento frente a la adición de zeolita.

La presente tesis tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de películas a partir de diferentes formulaciones de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita natural clinoptilolita comparándolo con los parámetros de calidad establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2290 2015-12 y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635:2012

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de películas a partir de diferentes formulaciones de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita natural clinoptilolita comparándolo con los parámetros de calidad establecido en normativas vigentes.

Objetivos Específicos

- Formular películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita natural clinoptilolita.
- Evaluar las propiedades mecánicas de películas con las diferentes formulaciones de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita natural clinoptilolita.
- Comparar los parámetros calidad de las películas con la Normativa vigente.

HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa.

Las películas elaboradas a diferentes concentraciones de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita presentan cambios significativos en sus propiedades mecánicas.

Hipótesis Nula.

Las películas elaboradas a diferentes concentraciones de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita no presentan cambios significativos en sus propiedades mecánicas

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

En la búsqueda de materiales amigables con el medio ambiente, se han estudiado diversas materias primas que permitan ser aprovechadas para la elaboración de películas, dentro de los cuales están: almidón, alginato, quitosano, agar, ceras, ácidos grasos, celulosa y sus derivados, entre otros.⁷

La biomasa lignocelulósica, de la cual se extraen fibras naturales con la ayuda de solventes determinados, posee variados polímeros naturales y sustancias bioactivas que son útiles para el desarrollo de biomateriales.⁸

La celulosa se emplea con frecuencia para fabricar películas puesto que este biopolímero y sus derivados son idóneos para producir redes continuas en disoluciones acuosas, lo que los convierte en excelentes compuestos para producir películas, que por lo general son sólidas, de aspecto claro y resistentes a aceites y a muchos disolventes orgánicos apolares.⁹

Una ventaja que tiene la celulosa es que puede ser obtenida de diversas fuentes vegetales, como la caña de azúcar, aprovechando el bagazo que queda como residuo agroindustrial de la producción azucarera. Por esta razón, se han realizado varias investigaciones usando esta materia prima para desarrollar películas.

En un estudio realizado en el 2013, en el que se elaboró compuestos biodegradables utilizando almidón de yuca como componente fijo y diferentes residuos agroindustriales, se pudo observar que los envases producidos con bagazo de caña de azúcar resultaron tener menos resistencia a la tracción, así como una menor capacidad de elongación que los que habían sido elaborado con fibra de coco.¹⁰

La zeolita también ha sido un compuesto de interés para ser adicionada a películas, sobre todo en aquellas que están destinadas a usarse como recubrimiento de alimentos, debido a que no es tóxica y es estable térmica y químicamente.¹¹

En un trabajo previo, se caracterizó las propiedades mecánicas de películas, con tres tratamientos distintos: uno sin zeolita y dos con 1.5 y 2 % de zeolita, y resultó que la zeolita disminuyó la capacidad de elongación, el tratamiento sin zeolita obtuvo un porcentaje de elongación más alto que los otros dos, sin embargo, los tratamientos con zeolita no presentan diferencias significativas entre sí.¹²

En otro estudio se analizó el comportamiento mecánico de películas conformadas con zeolita NaY y polidimetilsiloxano (PDMS), con diferentes concentraciones de zeolita de

0 a 15 % en peso: la resistencia mecánica de la película creció a medida que se aumentó la cantidad de zeolita, esto puede ser ocasionado por las interacciones entre el PDMS y la zeolita, y la eliminación o disminución del movimiento de la cadena polimérica producto de una mayor densidad de empaquetamiento, de igual manera, una mayor concentración de zeolita generó un aumento en la resistencia a la tracción, pero una disminución en la elongación.¹³

En cuanto a la coloración, las películas de zeolita mezclada con CMC y PVA son blancas, además que posee una menor resistencia de tracción y en general propiedades mecánicas más bajas que aquellas a las que se le incorporaciones a la estructura de la zeolita.¹¹

No se encontró una investigación específica en la que se elaboren películas con celulosa proveniente del residuo de la caña de azúcar y zeolita que permita conocer como ambos materiales interactúan e influyen en las propiedades mecánicas de una película.

1.2 Películas poliméricas.

Las películas se pueden definir como finas capas sólidas, cuyo espesor no sobrepasa los 0.3 mm, y se elaboran empleando biopolímeros; este tipo de películas pueden contener sustancias bioactivas que influyen en función protectora.¹⁴ Las películas hechas con materiales poliméricos deben contar buenas propiedades mecánicas y reológicas, funcionar como barrera para el vapor de agua y otros gases, ser lipó e hidrosolubles, etc.¹⁵

En general, las propiedades de las películas dependen de una serie de condiciones como: la formulación (la naturaleza y cantidad de los constituyentes, el pH, y las propiedades de desnaturalización), parámetros de formación (la temperatura y rapidez del secado, las características de la superficie donde se extiende la solución de la película) y en qué condiciones la película es empleada.¹⁶

Las películas son empleadas con frecuencia en la industria alimentaria, sobre todo para el recubrimiento de alimentos, debido a sus propiedades beneficiosas:

- Ofrece protección contra deterioros o lesiones mecánicas, biológicas y químicas de productos envasados,
- Disminuye los efectos que la luz UV pueda ocasionar en el producto,

- Actúa como barrera controlando la absorción de gases como el etileno, oxígeno, CO₂ o vapor de agua,
- Previene la pérdida de nutrientes como compuestos antimicrobianos y antioxidantes,
- Disminuye la oxidación de lípidos, conserva las propiedades organolépticas por más tiempo y extiende la vida útil del producto.¹⁴

Además de su uso en la industria alimentaria, las películas tienen un enorme potencial de aplicación en otras áreas:

- Agricultura: Se utilizan para el acolchado del suelo para evitar el crecimiento de maleza, mantener la humedad y conservar la estructura original del lecho.¹⁷
- Industria Farmacéutica: como recubrimiento de algunos medicamentos aprovechando sus propiedades de barrera.¹⁸
- Envases activos: para la incorporación de sustancias que incrementen las propiedades organolépticas o nutricionales y aseguren la inocuidad, como agentes antimicrobianos, antioxidantes entre otros.⁷

1.3 Constituyentes de las películas

Las películas elaboradas con materias primas naturales están constituidas por tres componentes básicos: un polímero, plastificantes y un solvente.⁷

1.3.1 *Biopolímeros*. Un polímero es una molécula de gran tamaño, conformada por varias unidades más pequeñas denominadas monómeros, particularmente los biopolímeros tienen la capacidad de biodegradarse completamente por factores medioambientales.¹⁹

Los biopolímeros pueden proceder de fuentes naturales renovables y ser biodegradables, no obstante, se debe aclarar que no necesariamente cumplen los dos criterios, debido a que aunque los polímeros provenientes de materias primas naturales pueden en su mayoría ser biodegradables, no siempre lo son, y para que un biopolímero tenga la capacidad de biodegradarse no tiene que estar elaborado precisamente con materiales renovables, dado que la biodegradabilidad depende de más de la estructura química del polímero.²⁰

Los biopolímeros elaborados con materias primas naturales presentan ventajas frente a los plásticos tradicionales, dentro de las cuales destacan:

- Disminuye el uso de fuentes no renovables y contaminantes como el petróleo¹⁹,
- Se degradan en un tiempo relativamente corto: entre 1 a 6 meses, por la acción de microorganismos, dando producto agua y oxígeno, por lo que no producen desechos tóxicos,
- Algunos tienen propiedades termoplásticas, lo que le confiere características similares al plástico tradicional.²¹

No obstante, es importante mencionar que también poseen desventajas:

- Posee altos costes de producción en comparación con los polímeros de petróleo¹⁹, siendo un 20 % mayor.²¹
- Muchas veces, las propiedades mecánicas no se equiparán a las de los biopolímeros tradicionales.¹⁹

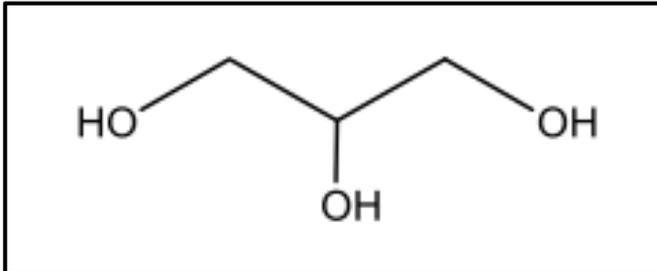
1.3.1.1 *Polímeros biodegradables sintéticos*. Los polímeros sintéticos que más destacan son: PLA (ácido poliláctico), PGA (ácido poliglicólico), PCL (policaprolactona), o PEO (óxido de polietileno).¹⁹ *Polímeros biodegradables naturales*. Son aquellos que son extraídos directamente de la naturaleza (celulosa, almidón, quitina quitosano, algunas proteínas, etc.), o han sido modificados para generar derivados (ejemplo: el acetato de celulosa).²¹

1.3.2 *Plastificantes*. Son sustancias líquidas y más viscosas que el agua, que se añaden a un material plástico, para que adquiera una mayor flexibilidad mediante el debilitamiento de las fuerzas intramoleculares.²² Estos aditivos son compuestos no volátiles, y de bajo peso molecular que actúan influyendo en la temperatura de transición vítrea, que es aquella en la cual se producen cambios en las estructuras internas los polímeros, modificando sus propiedades mecánicas.²³ Los plastificantes disminuyen el punto de fusión y alteran la reología del material²², con su adición se consiguen películas con una mayor resistencia flexibilidad y facilidad para manejarlas.²³

1.3.2.1 *Glicerol*. El glicerol o glicerina, de fórmula química $C_3H_8O_3$, es un polialcohol que contiene tres grupos hidroxilos en su estructura química; la molécula de glicerol

tiene una gran flexibilidad y una buena facilidad para formar enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares.²⁴ Esta sustancia es líquida, viscosa, inodora e incolora.⁷

Figura 1. Forma estructural de Glicerol

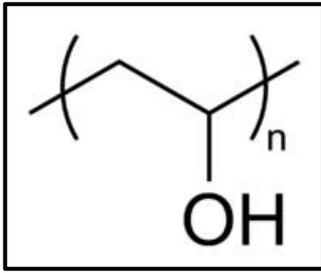


Fuente:²⁴.

Se usa como plastificante debido a que tiene la propiedad de poder disminuir la fuerza de interacción, provocando un aumento en el movimiento de las cadenas poliméricas²⁵, lo que le otorga una gran elasticidad, sin influir en su resistencia a la tracción⁷. Dada su afinidad con el agua, las películas a las que se le añade este alcohol tienen una mayor permeabilidad al vapor, puesto que se forman puentes de hidrógeno que se enlazan con las moléculas de agua.²⁶

1.3.2.2 *Alcohol polivinílico*. Es un polímero con una fórmula química abreviada $(C_2H_4O)_n$, obtenido de la alcoholólisis parcial o total del acetato de vinilo, con una estructura semicristalina, que contiene grupos hidroxilo, se caracteriza por no ser tóxico, ser biocompatible e hidrosoluble; es utilizado en múltiples áreas como en la construcción o en la industria alimentaria para el envasado de alimentos, puesto que cuenta con buenas propiedades como el rendimiento mecánico, la resistencia a solventes y biocompatibilidad, además de ser un buen absorbente de humedad.¹¹

Figura 2. Estructura química abreviada del PVA



Fuente:²⁷.

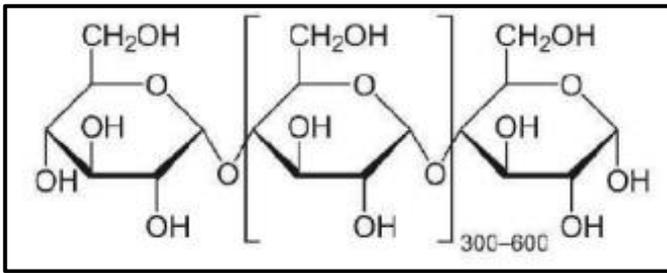
1.3.3 *Solventes.* La elección del solvente es muy importante y debe ser acorde a la compatibilidad de las biomoléculas de los demás componentes, puesto que de esto depende la formación y las propiedades de la película resultante; el agua y el alcohol etílico son los solventes más populares para la elaboración de películas, y se pueden adicionar por separado o combinándolos.²⁸

1.3.4 *Otros aditivos.* El almidón es un aditivo muy usado en las películas debido a su capacidad de actuar como agente formador.

1.3.4.1 *Almidón.* Es polisacárido que está compuesto por dos polímeros, la amilosa, de cadena lineal y la amilopectina, de cadena ramificada; este compuesto es muy utilizado debido a que cuenta con características muy interesantes como su bajo costo, su fácil accesibilidad, su gran capacidad de degradación y su facilidad para modificar su estructura de acuerdo con las aplicaciones en las que se lo quiera emplear.¹²

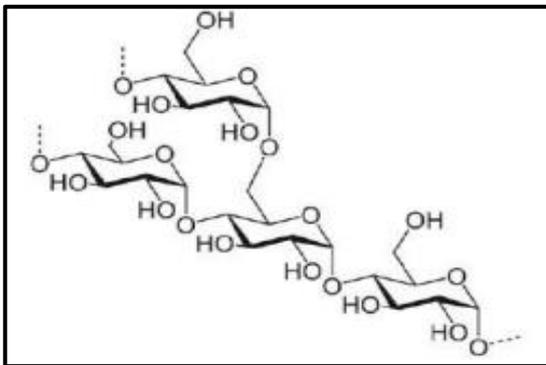
Se puede usar para elaborar películas, incoloras e inodoras y transparentes, y que además no son muy permeables al oxígeno²⁹, en general presentan una mayor resistencia mecánica, particularmente aquellas en las que la amilosa está en mayor proporción, lo que no solo les confiere mejores propiedades mecánicas, sino que también, ayuda a restringir el paso de gases como el O₂ y el CO₂.⁷

Figura 3. Estructura Química de la Amilosa



Fuente:³⁰.

Figura 4. Estructura Química de la Amilopectina



Fuente:³⁰.

- **Amilosa:** Polímero con estructura helicoidal, conformado por unidades de glucosa, conectadas en su mayoría por enlaces $\alpha(1-4)$, además de presentar unas ligeras ramificaciones debido a los enlaces $\alpha(1-6)$.³⁰
- **Amilopectina:** Polímero ramificado compuesto de cortas cadenas lineales unida por enlaces $\alpha(1-6)$, y posee un peso molecular que es mil veces mayor que la amilosa.³⁰

1.4 Métodos de elaboración de películas

Para elaborar las películas, se puede emplear los siguientes métodos:

1.4.1 *Eliminación del Disolvente.* Este método se realiza formando y estabilizando la estructura molecular fisicoquímica con la ayuda de un disolvente se logra formar un hidrocoloide, para luego poder incorporar el plastificante con el soluto para obtener la biopelícula.⁷

1.4.2 *Gelación Térmica.* Es un método que permite crear un gel en estado estable, que por lo general está constituido por proteínas, desnaturalizando y desestabilizando dicho componente.⁷

1.4.3 *Solidificación.* Consiste en homogenizar con la ayuda de un plastificante a las moléculas que son utilizadas.⁷

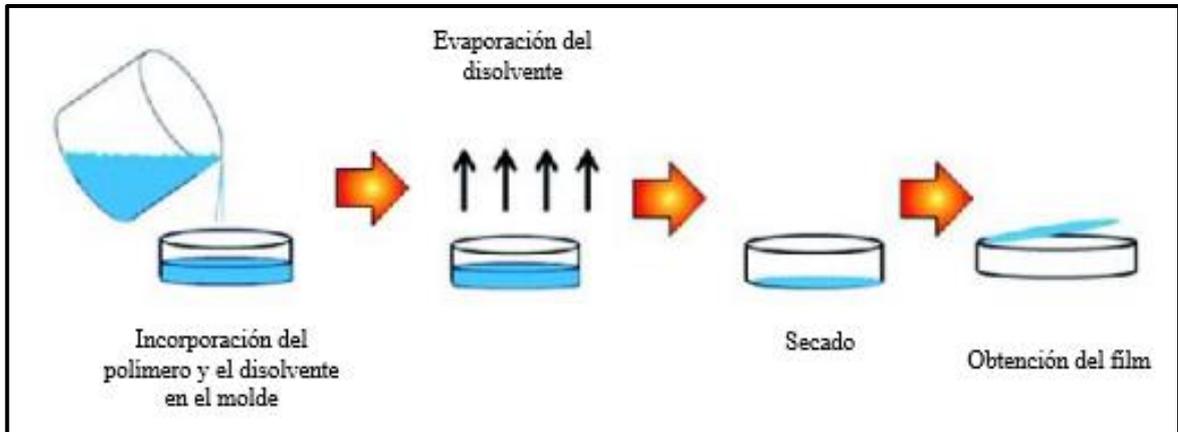
1.4.4 *Micro fluidización.* Según Guaña F y sus colaboradores⁷, mencionan que: “las dispersiones pasan por micro canales obteniéndose nanopartículas que con la aplicación de casting forma partículas para su uso en películas”.

1.4.5 *Método de Casting.* Es un procedimiento en el que se vierte un líquido dentro de un molde y luego se somete a condiciones ambientales específicas. Esto hace que el líquido experimente una reacción química y se transforme en un sólido rígido. El objetivo es que ese sólido obtenido tenga la forma de la cavidad del molde, es decir que el sólido reproduzca la forma del molde.³¹

Este método tiene varias ventajas para hacer películas:

- El espesor de la película queda igual en todas partes, no hay zonas más gruesas ni más delgadas.
 - La película es muy transparente y pura, que se puede ver a través de ella.
 - La superficie de la película es muy plana y lisa, sin imperfecciones.
- *La película mantiene la estabilidad dimensional, es decir que son capaces de mantener su tamaño.³²

Figura 5. Representación gráfica del método de Casting



Fuente:³³.

1.4.5.1 *Coater*. Esta técnica hace posible propagar una suspensión para formar películas sobre superficies grandes y en bandas transportadoras que se mueven de forma continua. Permite también controlar el grosor de la película con una hoja ajustable que se encuentra en la parte inferior del instrumento que se utiliza para expandir la suspensión, a esta hoja ajustable se le llama cuchilla.³²

- Secado por conducción: el calor se transmite de una superficie caliente al film.
- Secado por convección: se aplica aire caliente sobre la película.
- Secado por radiación infrarroja: se usan lámparas de luz infrarroja que aportan calor a la película.

Se puede combinar más de uno de estos métodos de calentamiento, cabe mencionar que al aplicar calor a la película hace que se evapore parte del líquido de la película y esta a su vez la torna más delgada es decir que se reduce su espesor.³²

1.5 Propiedades mecánicas de las películas

Las propiedades mecánicas son aquellas que se ven afectadas cuando se le aplica una fuerza a un material³⁴, y muestran como ese material reacciona a una carga y las deformaciones que ocasiona.³⁵ Muchas propiedades mecánicas de los materiales poliméricos se ven afectadas por aspectos como la temperatura, la velocidad a la que ocurre la deformación, y las características químicas del entorno como la presencia de agua, oxígeno, solventes orgánicos, entre otros.³⁶

1.5.1 *Módulo de elasticidad o módulo de Young.* Se fundamenta en la relación entre la deformación elástica y la fuerza aplicada que la causó.³⁷ El módulo de Young se determina a partir de la relación entre la tensión unitaria aplicada y la deformación unitaria resultante en la región elástica y lineal del material, durante un cambio en el estado tensional..³⁸

Mediante este parámetro se puede conocer cuál es la capacidad elástica de un material, cuan más alto sea el valor del módulo de Young, más rígido y deformable será el material, sin embargo, es importante señalar que este parámetro es una constante, por lo que no variará, aunque se aumente el esfuerzo.³⁹

1.5.2 *Resistencia a tracción en la rotura.* Máxima fuerza que puede soportar un material sin romperse.³⁷ Se puede saber la capacidad de resistencia a la rotura, mediante el módulo de ruptura, el cual se obtiene mediante ensayos de flexión o torsión.³⁹

1.5.3 *Elongación.* Cuantifica la deformación de la estructura plástica o termoplástica, mientras que el rasgado está asociado con la posible ruptura que puede experimentar la matriz.⁴⁰

1.6 Caña de azúcar

Se caracteriza por ser una planta perenne herbácea, familia de las gramíneas tropicales, posee similitud con el maíz, el sorgo, el bambú, el arroz y la avena. Es una planta grande que por lo general tiene un tallo duro de aproximadamente 2 a 5 m de altura y un diámetro referencial de 5 a 6.⁴¹

La caña de azúcar (*Saccharum spp.*) es una planta de gran relevancia económica en diversas regiones del mundo, gracias a su adaptabilidad y versatilidad en diferentes entornos. Los países que cultivan caña de azúcar se encuentran entre los 36.7°N y 31.0°S, abarcando desde áreas tropicales hasta subtropicales y templadas, con mayor concentración de producción en el continente americano y asiático.⁴²

La caña de azúcar se destaca por tener una gran capacidad de adaptarse a los diferentes tipos de climas, fertilidad, sistemas de reproducción, suelos y topografías, y

también por la capacidad de producir materia seca y materia verde por unidad de área, conserva gran cantidad de humedad del suelo, usa con eficiencia el agua, debido a que es una planta C4. Capta eficazmente la energía proveniente del sol para luego poder convertirla en biomasa, gracias a su gran habilidad para capturar y transformar la energía solar a través de la fotosíntesis y a sus características fenotípicas, en este caso la superficie foliar.⁴²

La caña de azúcar en su cultivo produce residuos agrícolas como lo son las hojas verdes y cogollo en un 8 %, hojas secas y vainas en un 20 %, además de los desechos provenientes de las industriales provenientes de la manufactura, y no se centra solamente en los producidas en la elaboración de la panela sino también en la de la elaboración del azúcar como lo es el bagacillo, el bagazo, la vinaza, la melaza y el melote.⁴²

1.6.1 *Producción de la caña de azúcar en Ecuador.* La productividad de caña de azúcar en el Ecuador es de 74 mil hectáreas, las cuales el 50 % es procedente de los ingenios y el 50 % restante tienen los 3000 entre medianos y pequeños productores.⁴³

1.7 Bagazo de caña de azúcar

Es un residuo de forma fibroso procedente de la trituración, maceración o presión que se obtienen de la caña de azúcar al momento de la extracción de su jugo.⁴⁴

Es considerado el residuo más significativo procedente de la caña de azúcar, constituye del 20 – 30 % de totalidad de la caña después del proceso de molienda, se ve influenciada por diversas variables como la edad del cultivo, el tipo de cosecha, el tipo de variedad, etc., cabe destacar que bagazo de caña es un sólido orgánico incapaz de diluirse en líquidos.⁴⁵ De una tonelada métrica de caña de azúcar, queda como subproducto 617.294 libras de residuo (bagazo).⁴⁶

El bagazo está constituido por lignina de 14 a 30 %, hemicelulosa de 22 a 36 % y celulosa de 35-50 %.⁴⁵ También este compuesto por fibra en un 45 %, de sustancias disueltas de 2 a 3% y de agua en un 50%.⁴⁵

Este residuo se utiliza como materia prima para producir varios artículos mediante una serie de procesos de transformación. Se emplea principalmente en ingenios

azucareros como combustible para las calderas, en la elaboración de papel y pulpa, así también en la fermentación para obtener bioetanol, ácidos orgánicos, alcaloides, enzimas, antibióticos y, además, se utiliza como alimento para el ganado rico en proteínas. También puede ser utilizado en la elaboración de biopolímeros y sus derivados.²⁵

Su transporte, almacenamiento y manipulación tienden a disminuir los diversos riesgos de la inversión, lo cual lo hace un material interesante a comparación con otras materias primas lignocelulósicas, siendo un residuo aprovechable de gran importancia en la industria azucarera, recalcando que por cada una de las toneladas de azúcar producida se obtienen dos toneladas de bagazo.⁴

1.7.1 *Partes del bagazo de caña.* Consta de dos partes importantes que se detallan a continuación:

1.7.1.1 *Fibra.* Son fibras alargadas, que provienen de la envoltura de la caña y otras de la parte interna de la misma, tiene una longitud de 1-4 mm por un ancho de 0.01 y 0.04 mm.⁴⁴

1.7.1.2 *Meollo.* Este proviene de una parte de la caña denominada parénquima que contiene el jugo azucarado.⁴⁴

Tabla 1. Propiedades químicas del bagazo de caña de azúcar

Propiedades	%
Humedad	4.00
Carbono	48.58
Hidrógeno	5.97
Oxígeno	38.94
Nitrógeno	0.20

Fuente:⁴⁵ .

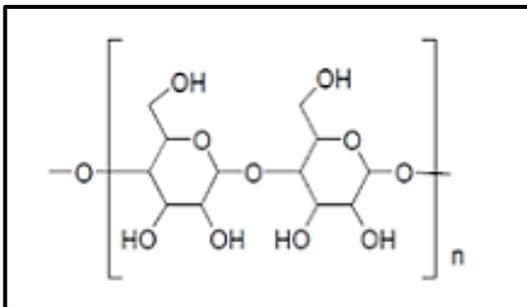
1.8 Celulosa

La celulosa es un compuesto orgánico natural más prevalente, y constituye el componente principal de las paredes celulares en las plantas, y se encuentra comúnmente combinada con compuestos como las hemicelulosas, la lignina, ácidos grasos y pectinas.⁴⁷ Es un polímero natural que está conformada por cadenas de polisáridos, con una estructura, constituida por unidades de β -glucosa unidas mediante enlaces β -1,4-glucósido.⁷

La estructura de la celulosa es semicristalina, aunque esto puede diferir según la materia prima de donde haya sido extraída, así mismo, puede llevar a que se obtengan morfologías muy diversas, lo que da como resultado que su apariencia y sus propiedades físicas y mecánicas sean considerablemente distintas.⁴⁸

La celulosa tiene propiedades que la hacen muy interesante como su cristalinidad y su insolubilidad en agua y en solventes orgánicos, esta última propiedad se debe a que los grupos hidroxilos están unidos por puentes de hidrógeno que los enlazan entre múltiples cadenas yuxtapuestas, lo que genera que el agua no sea capaz fácilmente de penetrar la estructura.²¹

Figura 6. Estructura de la celulosa



Fuente:⁴⁹

La solubilidad y las propiedades termoplásticas de este biopolímero se puede mejorar a través de reacciones de eterificación, esterificación o acetilación.²¹ Cada unidad de β -glucosa de la celulosa posee tres grupos hidroxilos, lo que hace posible que pueda reaccionar con un alcohol, un éster o un éter dando como productos formas derivadas de la celulosa.⁴⁸

Las fibras celulósicas tienen muy buena resistencia a la tracción y a la deformación plástica, son flexibles y químicamente inalterables, además de tener una gran capacidad de enlace y retener los aditivos adecuadamente.⁵⁰

1.8.1 *Características fisicoquímicas de la celulosa.* La celulosa tiene las siguientes características fisicoquímicas:

- Su fórmula química es $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo n, la cantidad de moléculas estructurales que se repiten
- Las fibras de celulosa son incoloras,
- La celulosa influye en el comportamiento de la fibra,
- Conformada por dos subunidades de glucosa,
- Su estructura es recta y rígida producto de enlaces covalentes que se establecen en el interior de las moléculas de glucosa y entre ellas, dotando a la celulosa de una gran resistencia a la tensión,
- Cada unidad de glucosa que posee la celulosa posee tres grupos OH libres unidos a los carbonos en las posiciones 2,3 y 6,
- No es soluble a casi todos los solventes orgánicos,
- Estructuralmente posee dos regiones diferenciadas: una región organizada y cristalina y otra región desordenada y amorfa,
- Las regiones cristalinas corresponden a la mayor parte de la fibra de celulosa (55-75 %), estas regiones tienen mayor estabilidad y no interactúan fácilmente con disolventes o sustancias reactivas, lo que les confiere una alta resistencia a la tracción y a la elongación,
- Las regiones desordenadas son las responsables del hinchamiento, alargamiento, flexibilidad de la celulosa.⁵⁰

1.8.2 *Aplicaciones de la celulosa.* La celulosa tiene otras aplicaciones que se detallan a continuación:

- Como agente formador de películas
- Se emplea en la industria textil y en la elaboración de distintas clases de seda sintética, o en fibras parecidas al algodón o a la lana,
- Se puede emplear para producir nitrocelulosa, la cual se usa como materia prima para fabricar equipo armamentístico,
- Para la producción de etanol,
- En la industria papelera para la fabricación de papel, catón, empaques, papel higiénico entre otros,

- En la industria farmacéutica para el recubrimiento de medicamentos.⁵¹

1.8.3 *Métodos de obtención de la celulosa.* Los principales métodos para la obtención de celulosa son el método alcalino y el método de Kraft, otro método también es la hidrólisis ácida con la que se consigue un rendimiento del 48%.⁵²

1.8.3.1 *Método Mecánico.* La celulosa se obtiene mediante la aplicación de enormes fuerzas de cizallamiento y presiones elevadas que causan que además de la celulosa también se separe la hemicelulosa a través de la solubilización de estos dos compuestos, quedando como residuo la lignina que no se puede solubilizar.⁵³ Luego la pasta obtenida se clasifica, lava y blanquea, siendo un método muy eficiente alcanzado una obtención del 85 al 90 %.⁴⁹ Este tratamiento tiene la ventaja de que se necesitan menos reactivos, no obstante, el consumo energético es elevado, especialmente si es aplicado a grandes escalas.⁵⁴

1.8.3.2 *Método Alcalino.* La lignina se separa aplicando antraquinona, la misma que actúa como catalizador y estabilizante de hidratos de carbono, además de otros reactivos como el hidróxido de sodio, el amoníaco, la cal o el hidróxido de calcio, los cuales son compuestos alcalinos que modifican la conformación estructural de la lignina, producto de la degradación del éter y de las cadenas periféricas, con esto se consigue que se pierda la cristalinidad de la celulosa y que la hemicelulosa sufre una solvatación parcial.⁵³

1.8.3.3 *Método Kraft.* En este método se utiliza hidróxido de sodio que se encarga de degradar la lignina y sulfuro de sodio que aumenta la rapidez de las reacciones de cocción y a su vez contrarresta la degradación de la celulosa provocada por el NaOH, para esto se utilizan equipos digestores que trabajan a presión.⁵⁵

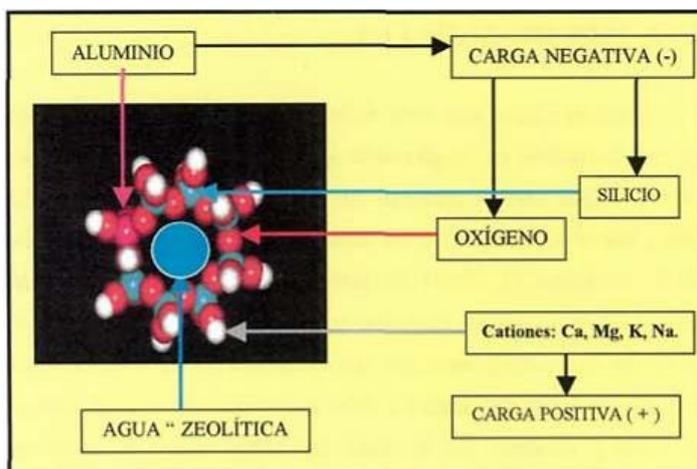
1.9 Zeolita

Las zeolitas tienen propiedades físicas y químicas excepcionales y singulares. Estas características las convierten en materiales muy valiosos y versátiles, con aplicaciones en diversos campos como la agronomía, la ecología, ciertas manufacturas, procesos industriales, la medicina y los cosméticos⁵⁶

Las zeolitas forman parte del grupo de los aluminosilicatos hidratados que poseen una estructura cristalina⁵⁷, son microporosos, sus átomos centrales de silicio y aluminio y se encuentran unidos a través de átomo de oxígeno, tomando una estructura tetraédrica con enlaces de oxígeno no lineales. Los tetraedros $(\text{SiO}_4)^{4-}$ Y $(\text{AlO}_4)^{5-}$ son los responsables de esta estructura característica.⁵⁸

La zeolita tiene múltiples usos como por ejemplo para criar animales domésticos, en la protección del medio ambiente y en el ámbito industrial, sin dejar de lado el uso en la agricultura moderna que tiene problemas de disponibilidad con respecto a los nutrientes para los cultivos.⁵⁹

Figura 7. Zeolita



Fuente:⁶⁰

1.9.1 *Propiedades de la zeolita.* Según Król M.⁶¹, las propiedades únicas son conferidas gracias a la estructura específica de la zeolita, a continuación, las mencionan:

- Densidad baja y un volumen grande con espacios libres.
- Canales y cámaras estrictamente definidas.
- Gran nivel de hidratación y agua de zeolita,

- Elevado grado de cristalinidad,
- Poseen la posibilidad de sorción de iones y moléculas,
- Capaces del intercambio iónico,
- Poseen propiedades catalíticas.

1.9.2 *Tipos de zeolita.* Existe una variedad de zeolita en el mundo, por lo que se clasifican según su origen:

1.9.2.1 *Zeolita sintética.* Se la obtiene usando unas especies químicas totalmente pura o también con precursores de origen natural como lo es el caolín, perlita, bentonita, arcillas y de cenizas volantes que provienen de las centrales termoeléctricas. Se los puede usar dependiendo de las propiedades químicas y estructurales como por ejemplo para remover amonio, de elementos radioactivos como el cesio, estroncio, también cationes de origen metálico como el plomo, zinc, cobre, plata, entre otros más.⁶²

La zeolita sintética tiene múltiples aplicaciones, dentro de las cuales tenemos: para tratar gases, acuicultura, agricultura, como alimento para animales, en la industria de cemento hasta en la industria farmacéutica, para generar energía solar, en petroquímica, producción de combustibles, detergentes, remover contaminantes gaseosos, catálisis, ablandamiento de aguas duras, etc.⁶²

1.9.2.2 *Zeolita Natural.* Mineral de aluminosilicatos, microporosa y cristalinis neutros, proceden de origen de rocas volcánicas. A diferencia de las zeolitas artificiales, las zeolitas naturales se generan por procesos geológicos dentro de la corteza terrestre, a partir de diferentes tipos de rocas como las volcánicas o en rocas plutónicas que generalmente se encuentran en grandes profundidades, esto se produce en diferentes condiciones de presión y temperatura.⁶³

Propiedades relevantes de la zeolita natural.

- *Porosidad.* Posee una estructura microporosa la cual hace que tenga superficie interna muy grande referente a la externa. IUPAC (The International Union of Pure and

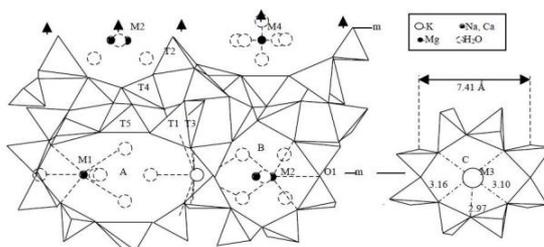
Applied Chemistry), da a conocer tres diferentes tipos de poros, los cuales van a depender del tamaño de diámetro para su clasificación; si tiene un diámetro mayor a 50 nanómetros se lo denomina macroporos, un diámetro de 2 a 50 nanómetros es mesoporos y finalmente si tiene diámetro menor a 2 nanómetros son microporos (es el caso de la zeolita).⁶⁴

- *Adsorción.* La zeolita posee una alta eficiencia de adsorción la cual tiene relación con su gran superficie interna. Se da un aumento significativo de adsorción debido a que el tamaño del poro disminuye, esto se da debido al solapamiento de los potenciales de la pared del poro.⁶⁴
- *Intercambio iónico.* Se relaciona con el aluminio de la red de la zeolita, que depende de su composición química. Cabe mencionar que cuando existe una elevada capacidad de intercambio iónico (CII) hace referencia a zeolitas que poseen una baja relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.⁶⁴

Hay más de 45 tipos de zeolitas naturales, la más efectiva, poco costosa y la más pura es la clinoptilolita.⁵⁹

Clinoptilolita. La clinoptilolita es de origen natural, pertenece a la familia de la heulandita. Está compuesta por los aluminosilicatos cristalinos, cuya estructura está conformada por una red tridimensional de tetraedros de AlO_4 y de SiO_4 , donde los átomos de oxígenos están en los vértices, mientras que los átomos de silicio y aluminio ocupan una posición central.⁶⁵ Esta zeolita cuenta con un orden de largo alcance que se distribuye por toda la cadena estructural en forma de panal, la cual es estable, además de contener una carga positiva debido a la alúmina y una carga neutra debido al sílice, que se ordenan de modo que conforman una estructura tetraédrica.⁶⁶

Figura 8. Estructura de la Clinoptilolita



Fuente:⁶⁵

La clinoptilolita tiene cationes que se pueden intercambiar como el sodio y el calcio, también puede tener otros como lo es el Mg, K, Sr y el Ba donde el contenido y variación van a depender de la cantidad de Al que se encuentre presente respecto a su capacidad de intercambio catiónico y química.⁶⁷

La clinoptilolita tiene una estructura porosa la cual consta de tres canales que son huecos, el primero este forado por anillos seguidos formado por ocho miembros los cuales tienen libre acceso de 0.47nm x 0.26nm y los otros dos canales restantes se encuentran paralelamente, uno de estos tiene ocho miembros los cuales constan de ventanas con un acceso de 0.46nm x 0.33nm y el otro canal en cambio consta de diez miembros con un acceso de 0.76nm x 0.3 nm.⁶⁸

La clinoptilolita cuenta con variadas aplicaciones, de las cuales se puede mencionar el tratamiento de agua, eliminación de iones metálicos pesados, agricultura, la reducción de emisiones de gases perjudiciales para el medio ambiente, producción de materiales catalizadores, como compuesto bioactivo, entre otros muchos usos.⁶⁹

2. DISEÑO METODOLÓGICO

2.1 Sujetos o unidades de análisis.

2.1.1 *Población de estudio.* La población de estudio seleccionada consistió en celulosa derivada del bagazo de caña de azúcar, obtenida del Área de Carbón Activo de los Laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud de la Universidad Técnica de Machala, a partir de un trabajo previo de titulación. La zeolita Clinoptilolita fue adquirida a la empresa CALMOSACORP CIA. LTDA., ubicada en la ciudad de Guayaquil.

2.1.2 *Tamaño de Muestra.* Se emplearon 13.8 gramos de celulosa de bagazo de caña de azúcar y 4.2 gramos de zeolita Clinoptilolita como muestra.

2.1.3 *Ubicación de la investigación.* La investigación se llevó a cabo en Ecuador, en la provincia El Oro, Cantón Machala, lugar donde se encuentra localiza la Universidad Técnica de Machala (UTMACH). La formulación y elaboración de las películas se realizó en el Área de Carbón Activo de Laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud.

Figura 9. Localización de la Universidad Técnica de Machala.



Fuente: Google Maps

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 *Insumos, materiales, equipos y reactivos.* A continuación, se detallan los materiales, insumos, reactivos y equipos que se utilizaron en la experimentación del presente trabajo.

Tabla 2. Materiales y Equipos

Insumos	Materiales	Equipos	Reactivos
Celulosa de bagazo de caña de azúcar	Probeta Espátula Vasos de precipitación	Balanza analítica Estufa Plancha de calentamiento con	Glicerol Alcohol Polivinílico (PVA) Agua Destilada
Zeolita Clinoptilolita	Pipetas graduadas	Agitador Magnético	
Almidón de Yuca	Pipetas Volumétricas Moldes plásticos rectangulares Lunas de reloj Termómetro	Desecador al vacío	

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 *Elaboración de las películas.* En este estudio, las películas se elaboraron mediante el método de Casting, donde se adicionó % peso la celulosa de bagazo de caña de azúcar y la zeolita natural clinoptilolita.

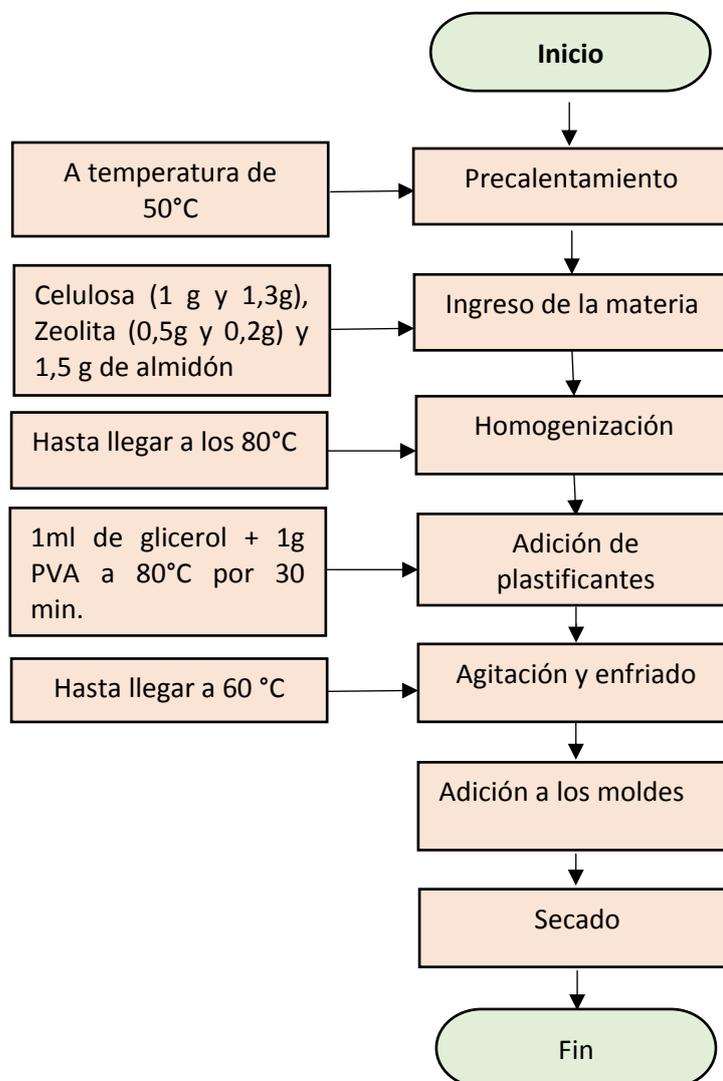
Los análisis de las propiedades mecánicas de las películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita se realizaron mediante la norma ASTM D3039/D3039M-17, que establece los procedimientos para la evaluación de materiales compuestos. Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizó la máquina universal de ensayos WAW600B, fabricada por Jinan Liangong Testing Technology Co., LTD. Las pruebas se realizaron a cabo en el laboratorio de ensayos de materiales LenMav. ubicado en la ciudad de Riobamba.

Tabla 3. Aditivos y sus proporciones para la elaboración de las películas

Aditivos	Cantidad	(%)
Glicerol	1.0 ml	1.0
Almidón	3.0 g	3.0
Alcohol Polivinílico (PVA)	1.0 ml	1.0
Agua	95.0 ml	95.0

Fuente: Elaboración Propia

2.2.2.1 Diagrama de flujo.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2.2 *Procedimiento*. Las películas se elaboraron mediante método de Casting descrito en Granda y Guaya.⁵

- Se midió y se realizó un precalentamiento del agua destilada hasta llegar a una temperatura de 50°C.
- Se incorporó la materia prima de acuerdo con las formulaciones establecidas: 1.0 g y 1.3 g de celulosa de bagazo de caña de azúcar, 0.2 g y 0.5 g de zeolita y 1.5 de almidón.
- Se dejó homogenizar hasta llegar a los 80 °C y luego se añadió 1.0 ml de glicerol y 1.0 g de alcohol polivinílico y se procedió a homogenizar con el resto de los componentes durante 30 minutos con un agitador magnético a 300 rpm para obtener la solución
- A continuación, se dejó que la solución se enfriara hasta llegar a una temperatura de 60 °C, con agitación constante.
- Con la ayuda de una probeta se midió un volumen total de 65 ml de la mezcla.
- Se procedió a verter la mezcla resultante en moldes antiadherentes rectangulares de 10 x 30 cm.
- Se realizó el secado de la mezcla en una estufa a 40°C por 24h para obtener las películas resultantes.

2.3. Proceso de recolección y análisis de datos

En este estudio se empleó un diseño factorial (A x B) junto con un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey al 95 % de confianza, realizando tres repeticiones obteniendo 12 unidades experimentales. Los datos fueron analizados utilizando el software Minitab 19.

El porcentaje de celulosa y zeolita para las formulaciones de la tabla 4 se seleccionaron según la información de los artículos Benítez¹² y Farah et al⁷⁰.

El diseño experimental esta detallado en la tabla presentada a continuación.

Tabla 4. Tratamientos para la elaboración de la película

Número de tratamientos	Celulosa del bagazo de caña de azúcar (%)	Zeolita natural clinoptilolita (%).
1	1.0	0.5
2	1.3	0.5
3	1.0	0.2
4	1.3	0.2
5	1.0	0.5
6	1.3	0.5
7	1.0	0.2
8	1.3	0.2
9	1.0	0.5
10	1.3	0.5
11	1.0	0.2
12	1.3	0.2

Fuente: Minitab 19

2.3.1 *Tipo de investigación.* La presente investigación fue de carácter cuantitativo porque se usarán datos numéricos y experimental porque se elaboró las películas variando los porcentajes de celulosa del bagazo de caña de azúcar y de zeolita natural clinoptilolita y luego se realizó las respectivas pruebas en un laboratorio particular para evaluar sus propiedades mecánicas.

2.3.1.1 *Factores y niveles de estudio.* En la siguiente tabla se presentan los factores y niveles de estudio empleados en la investigación:

Tabla 5. Factores y niveles de estudio

Factores	Niveles de factores
A: Porcentaje de celulosa de bagazo de caña de azúcar	A₀: 0.0 %
	A₁: 1.0 %
	A₂: 1.3 %
B: Porcentaje de zeolita clinoptilolita	B₀: 0.0 %
	B₁: 0.2 %
	B₂: 0.5 %
Fuente: Elaboración Propia	

2.3.2 *Variables.* Las variables dependientes e independientes están detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 6. Variables de Investigación

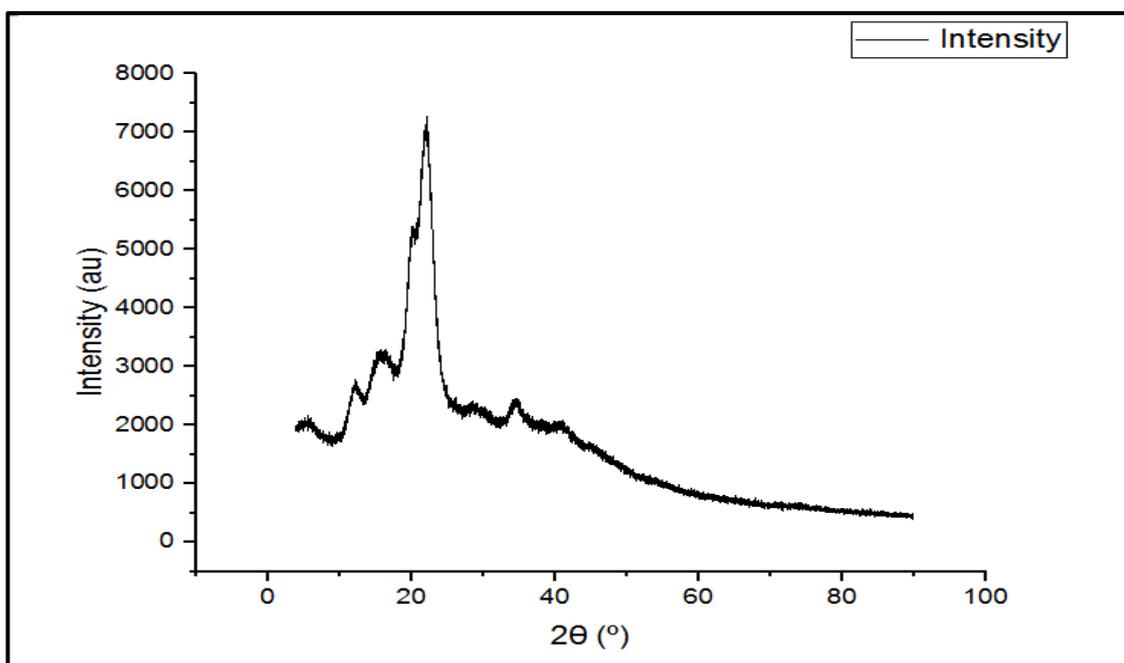
Variables Independientes	Variables Dependientes
Proporción (%) de celulosa del bagazo de caña de azúcar.	Propiedades mecánicas: Módulo de Young o módulo de elasticidad
Proporción (%) de zeolita clinoptilolita	Resistencia a la tracción en la rotura Elongación
Fuente: Elaboración Propia	

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Caracterización de la celulosa de bagazo de caña de azúcar.

Se realizó la caracterización de la celulosa mediante análisis de difracción de rayos X (XRD) y la técnica de fluorescencia de rayos X.

Figura 10. Difractograma de la celulosa de Bagazo de caña de caña de azúcar



Fuente: Origin Pro 2023

Para determinar la cristalinidad de la celulosa de bagazo de caña de azúcar se analizó los picos que corresponden a las zonas cristalinas de la celulosa. En la figura 10 se observa que hay picos pronunciados para $2\theta = 22.18^\circ$; 11.78° y 34.86° , que concuerda con lo descrito por López et al. (2016), donde los picos cercanos a $2\theta = 22^\circ$; 12.6° y 34.6° corresponden a valores típicos para la celulosa I.⁴

Como se observa en la Tabla 7, el índice de cristalinidad de la celulosa de bagazo de caña de azúcar fue de 50.67%, este índice se obtuvo mediante el método de Segal et al.⁷¹ La cristalinidad de la celulosa depende directamente con la cantidad de celulosa que posea el material de donde es extraída⁷², por esta razón los valores pueden diferir significativamente.

La celulosa de bagazo de caña de azúcar fue obtenida por método alcalino, el hidróxido de sodio actuó infiltrándose en la red de la celulosa, deteriorando los hidratos de carbono presentes en las zonas amorfas formando una hilera de complejos cristalinos que tienen integrados iones de Na⁺ y agua en el interior de la estructura, provocando que el índice de cristalinidad aumente.⁷³

El tamaño de cristal de la celulosa varió desde 4 a 54 Å, con un promedio de 34 Å, similar a lo descrito en trabajo de Bolio et al.⁷⁴, donde el tamaño de cristal de la fibra celulosa de residuos de caña de azúcar tenía un tamaño de cristal promedio de 23 Å.

Tabla 7. Índice de cristalinidad de la celulosa de bagazo de caña de azúcar

Picos	Área de picos	Área Total	Índice de cristalinidad
1	2.334		
2	22.882	58878.322	50.67%
3	4.619		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Composición química de la celulosa de bagazo de caña de azúcar

Compuesto	Porcentaje (%)
Al ₂ O ₃	2.4500
SiO ₂	5.6600
P ₂ O ₅	0.0000
CaO	0.1434
MnO	0.0294
Fe ₂ O ₃	0.0353
ZnO	0.0000

Fuente: Elaboración propia

La composición química de la celulosa puede ser analizada de manera efectiva utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X (FRX). Este método permite la identificación y cuantificación de los elementos presentes en una muestra, brindando información detallada sobre su composición elemental.

En el análisis de la celulosa, se ha encontrado que los compuestos más abundantes son el óxido de aluminio (Al_2O_3) y el óxido de silicio (SiO_2). Estos hallazgos son consistentes con los componentes detectados en el bagazo de caña de azúcar, que también contiene estos óxidos, así como óxido de hierro (Fe_2O_3) y otros compuestos en menor proporción, como el óxido de calcio (CaO), óxido de manganeso (MnO) y óxido de zinc (ZnO).⁷⁵

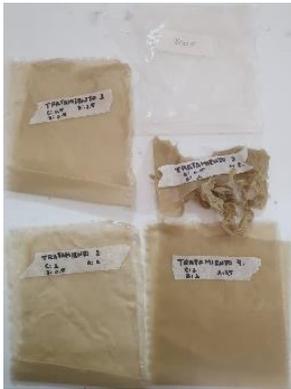
3.2 Formulación de las películas

En el siguiente cuadro se detallan las formulaciones que se realizaron durante en la experimentación, hasta llegar a la formulación final.

Cuadro 1. Formulaciones para la elaboración de las películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar con zeolita

Formulaciones	Descripción	Películas resultantes	Observaciones
Formulación Inicial (07/05/24)	<p>Blanco: 0.0 % C y 0.0% Z T1: 1.5% C y 0.5% Z T2: 1,5% C y 1,0% Z T3: 2.5% C y 0.5% Z T4: 2.5% C y 1.0% Z</p> <p>En todos los tratamientos y el blanco se utilizó las mismas cantidades de almidón (3.5%), PVA (0.5%) y glicerol (1.0%). Las películas resultantes salieron rígidas y quebradizas a excepción del blanco que presentó una mejor flexibilidad.</p>	 <p>A: T1, B: T3, C: T4, D: T2, E: Blanco</p>	<p>Se trabajó con un volumen inicial de 100 ml y se vertió 15 ml de la mezcla resultante a cajas Petri de 10 cm de diámetro.</p>
Formulación Inicial (14/05/24)	<p>Blanco: 0.0 % C y 0.0% Z T1: 1.5% C y 0.5% Z T2: 1.5% C y 1.0% Z T3: 2.5% C y 0.5% Z T4: 2.5% C y 1.0% Z</p> <p>En todos los tratamientos y el blanco se utilizó las mismas cantidades de almidón (3.5%), PVA (0.5%) y glicerol (1.0%). Las películas con esta formulación salieron rígidas y con un espesor grueso a excepción del tratamiento 3, que fue el de menor grosor. La cantidad de zeolita influyó en la coloración de las películas, siendo aquellos tratamientos que tenían más cantidad (T2 y T4), presentaron una tonalidad más oscura y opaca.</p>	 <p>A: T1, B: T2 a, C: T2 b, D: T3, E: T4, F: Blanco</p>	<p>La solución se elaboró según un volumen de 60 ml y se vertieron en un recipiente rectangular plástico de 10 x 15 cm.</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Formulaciones	Descripción	Películas resultantes	Observaciones
Formulación Inicial (15/05/24)	<p> T1: 1.5% C y 0.5% Z T2: 1.5% C y 1.0% Z T3: 2.5% C y 0.5% Z </p> <p>En todos los tratamientos y el blanco se utilizó las mismas cantidades de almidón (3.5%), PVA (0.5%) y glicerol (1.0%).</p> <p>Las películas se secaron de manera uniforme, sin presencia de acumulación de componentes. El tratamiento 1 tuvo un menor grosor y además tener una superficie pegajosa. El tratamiento 2 y 3 tuvieron un grosor mayor al deseado.</p>	 <p>A: T1, B: T2 a, C: T3</p>	<p>La solución se elaboró de acuerdo con un volumen total de 100 ml y se vertió en un recipiente rectangular plástico de 10 x 30 cm.</p>
Segunda Formulación (17/05/24)	<p> Blanco: 0.0% C, 0.0% Z y 3.5% A T1: 0.5% C, 0.5% Z y 2.5% A T2: 1.0% C, 0.5% Z y 2.0% A T3: 0.5% C, 1.0% Z y 2.0% A T4: 1.0% C, 1.0% Z y 1.5% A </p> <p>En todos los tratamientos y el blanco se utilizó las mismas cantidades de PVA (1.0%) y glicerol (1.0%).</p> <p>Las películas resultaron tener un menor grosor y rigidez en comparación a las que se obtuvieron con la formulación anterior. El tratamiento 3 presentó una textura pegajosa, que provocó que no se despegara después de doblarla. El tratamiento 4 fue el que presentó mejores características.</p>	 <p>A: T1; B: T2; C: Blanco; D: T3; E: T4</p>	<p>Se aumentó la cantidad de PVA y el almidón varió de acuerdo con la proporción de celulosa y zeolita</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Formulaciones	Descripción	Películas resultantes	Observaciones
<p>Tercera Formulación (21/05/24)</p>	<p>T1: 1.5% C y 0.5% Z T2: 1,0% C y 1,0% Z</p> <p>En ambos tratamientos se usaron 1.5% de almidón, 1.0% de PVA y 1.0% de glicerol.</p> <p>Las películas que estuvieron en la estufa de tiro mecánico, T1-R1 y T3 presentaron una superficie pegajosa. Los tratamientos T1-R2 y T3-R3 presentaron manchas blancas en la superficie que se pudo deber a una acumulación de componentes debido a una mala homogenización de la mezcla.</p>	 <p>A: T1-R1; B: T1-R2; C: T1-R3; D: T2</p>	<p>El tratamiento 1, Repetición 1 y el tratamiento 2, estuvieron 14 y 12 horas respectivamente en una estufa de tiro mecánico, mientras que las repeticiones 2 y 3 del tratamiento 1, estuvieron 24 horas en la estufa que se ocupa habitualmente.</p>
<p>Cuarta formulación (22/05/24)</p>	<p>T2: 1.0% C y 0.5% Z T3: 1.5% C y 1.0% Z</p> <p>En ambos tratamientos se usaron 1.5% de almidón, 1.0% de PVA y 1.0% de glicerol.</p> <p>Ambos tratamientos tuvieron una buena resistencia al estirarlos, no eran quebradizos ni rígidos, no obstante, se escogió como mejor tratamiento, el número 2, debido a que poseía un grosor más fino</p>	 <p>A: T2; B: T3</p>	<p>El tratamiento 2 se trabajó con una proporción 2:1 de celulosa y zeolita respectivamente, mientras que el tratamiento 3 se trabajó con una proporción 3:2 celulosa y zeolita</p>
<p>Quinta formulación (22/05/24)</p>	<p>T3-NF: 1.75% C y 0.25% Z</p> <p>Se utilizó 1.5% de almidón, 1.0% de PVA y 1.0% de glicerol.</p> <p>El tratamiento 3 con la nueva formulación presentó una coloración más clara y una superficie más traslucida en comparación con formulaciones anteriores, tuvo una buena resistencia y elasticidad.</p>	 <p>A: T3 Nueva formulación</p>	<p>Se trabajó con una proporción de 7:1 de celulosa y zeolita respectivamente.</p>

Cuadro 1. (Continuación)

Formulaciones	Descripción	Películas resultantes	Observaciones
Sexta formulación (27/05/24)	<p>Blanco: 0.0% C, 0.0% Z y 3.0% A T2: 1.2% C y 0.3% Z T3: 1.3% C y 0.2% Z T4: 1.0% C y 0.5% Z</p> <p>Se utilizó 1.5% de almidón, 1.0% de PVA y 1.0% de glicerol en todos los tratamientos a excepción del blanco. El blanco se pegó al arrugarlo, mientras que los otros tratamientos tuvieron una superficie uniforme y una buena flexibilidad.</p>	 <p>A: T2; B: T4; C: Blanco; D: T3</p>	<p>El tratamiento 2 y 3 estaban en proporciones 4:1 y 6:1 de celulosa y zeolita respectivamente.</p>
Séptima formulación (29/05/24) Formulación final	<p>Blanco: 0.0% C y 0.0% Z y 3.0% A T1: 1.0% C y 0.5% Z T2: 1.3% C y 0.5% Z T3: 1.0% C y 0.2% Z T4: 1.3% C y 0.2% Z</p> <p>Se usó 1.5% de almidón, 1.0% de PVA y 1.0% de glicerol en todos los tratamientos, excepto el blanco. Las películas mostraron una buena flexibilidad, y un espesor constante, sin presencia de acumulación de los componentes.</p>		<p>Se escogió el tratamiento 3 y el tratamiento 4 de la anterior formulación para realizar la formulación de los cuatro tratamientos finales.</p>
<p>C: Celulosa de Bagazo de Caña de azúcar; Z: Zeolita Natural Clinoptilolita; A: Almidón T1: Tratamiento 1 T2: Tratamiento 2 T3: Tratamiento 3 T4: Tratamiento 4</p>			
<p>Fuente: Elaboración propia</p>			

Con base en la experimentación se seleccionaron las proporciones de celulosa y zeolita para la elaboración de las películas, y se eligió trabajar con 1.0% y 1.3% de celulosa de bagazo de caña de azúcar y 0.2% y 0.5% de zeolita natural clinoptilolita para obtener la formulación de los cuatro tratamientos:

- **Tratamiento 1:** **A1=** 1.0% de Celulosa y **B1=** 0.5% de zeolita
- **Tratamiento 2:** **A2=** 1.3% de Celulosa y **B1=** 0.5% de zeolita
- **Tratamiento 3:** **A1=** 1.0% de Celulosa y **B2=** 0.2% de zeolita
- **Tratamiento 4:** **A2=** 1.3% de Celulosa y **B2=** 0.2% de zeolita

3.3 Propiedades mecánicas

Se realizaron análisis para tres propiedades mecánicas: Elongación, Módulo de Elasticidad y Resistencia a la Tracción, cuyos resultados se puede ver a continuación:

Tabla 9. Datos de los resultados de las propiedades mecánicas.

	Porcentaje de Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)
B-R1	36.520	1.385E+01	2.490
B-R2	28.240	1.410E+01	2.400
B-R3	32.380	1.435E+01	2.300
Promedio	32.380	1.41E+01	2.400
Desviación estándar	± 4.140	±0.25000	±0.095
T1-R1	3.520	2.203E+01	1.300
T1-R2	2.360	3.911E+01	1.550
T1-R3	2.480	1.424E+01	1.450
Promedio	2.787	2.51E+01	1.430
Desviación estándar	± 0.638	± 12.7210	±0.126
T2-R1	3.160	4.234E+01	2.300
T2-R2	3.480	3.061E+01	1.220
T2-R3	2.760	2.573E+01	1.620
Promedio	3.133	3.29E+01	1.710
Desviación estándar	± 0.361	±8.53700	± 0.546

Tabla 9. (Continuación)

	Porcentaje de Elongación (%)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)
T3-R1	0.440	5.664E+01	1.840
T3-R2	1.320	6.848E+01	1.830
T3-R3	1.240	3.673E+01	2.240
Promedio	1.000	5.40E+01	1.970
Desviación estándar	± 0.487	±16.0450	±0.234
T4-R1	3.200	2.671E+01	1.010
T4-R2	6.080	2.236E+01	0.980
T4-R3	5.560	2.226E+01	1.120
Promedio	4.947	2.38E+01	1.040
Desviación estándar	±1.535	±2.54100	±0.074

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9 se observan los resultados de las pruebas que se realizaron para determinar las propiedades mecánicas, en base a estos datos se realizó el ANOVA y pruebas de Tukey para comprobar si existen diferencias significativas entre los tratamientos realizados y la influencia del porcentaje de celulosa de bagazo de caña de azúcar y el porcentaje de zeolita en el comportamiento de las propiedades mecánicas.

3.3.1 *Porcentaje de elongación.* En la tabla 10 se presentan los datos del análisis de varianza del porcentaje de elongación

Tabla 10. Análisis de varianza del Porcentaje de elongación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	13.8245	13.8245	17.67	0.003
%Zeolita	1	0.0005	0.0005	0.00	0.980
%Celulosa*%Zeolita	1	9.7200	9.7200	12.42	0.008
Error	8	6.2592	0.7824		
Total	11	29.8043			

Fuente: Minitab 19

En la Tabla 10 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de elongación. Los resultados revelan diferencias significativas en el primer factor, que corresponde al porcentaje de celulosa, así como en la interacción entre los dos factores estudiados. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

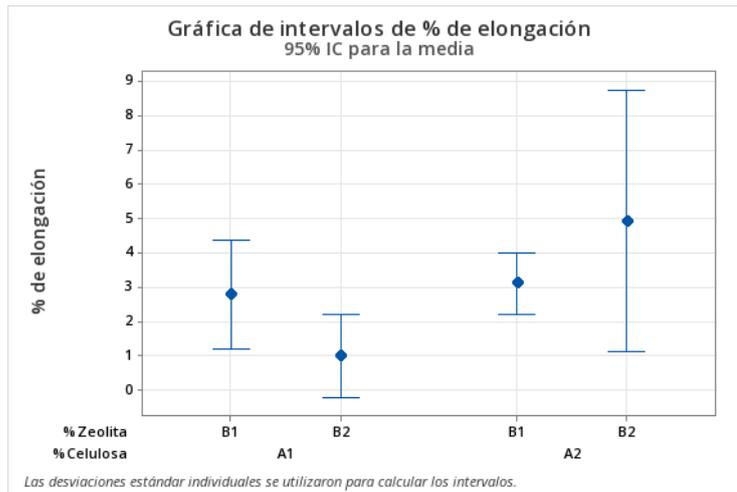
Tabla 11. Comparación del porcentaje de elongación utilizando el método de Tukey

%Celulosa*%Zeolita	N	Media	Agrupación
A2 B2	3	4.94667	A
A2 B1	3	3.13333	A B
A1 B1	3	2.78667	A B
A1 B2	3	1.00000	B

Fuente: Minitab 19

En la tabla anterior se observa la comparación de los valores de las medias del porcentaje de elongación para cada tratamiento. Los tratamientos A2B2 (T4) y A1B2 (T3) son significativamente diferentes, lo que se corrobora con la gráfica de intervalos de confianza para las medias. El tratamiento A2B2 (T4) obtuvo el porcentaje de elongación más alto, mientras que el tratamiento A1B2 (T3) obtuvo el valor más bajo como se ilustra en la figura 11.

Figura 11. Gráfica de intervalos de medias para el porcentaje de elongación



Fuente: Minitab 19

3.3.2 *Módulo de elasticidad o Módulo de Young (MPa).* Se identifican los resultados del análisis del módulo de elasticidad.

Tabla 12. Análisis de varianza del Módulo de elasticidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	376.5	376.5	3.02	0.120
%Zeolita	1	291.3	291.3	2.34	0.165
%Celulosa*%Zeolita	1	1079.6	1079.6	8.66	0.019
Error	8	997.2	124.7		
Total	11	2744.6			

Fuente: Minitab 19

En la tabla 12 se puede observar que el valor p para la interacción del porcentaje de celulosa y porcentaje de zeolita es menor a 0.05. Esto indica que existen diferencias significativas para la interacción de los dos factores, que lleva a rechazar la hipótesis nula.

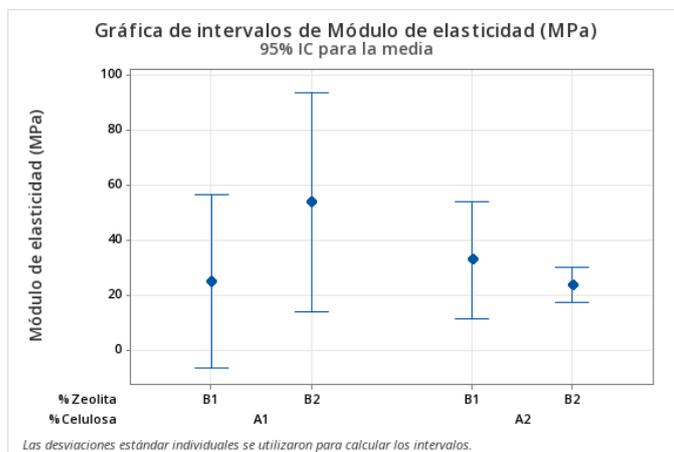
Tabla 13. Comparación del módulo de elasticidad utilizando el método de Tukey

%Celulosa*%Zeolita	N	Media	Agrupación
A1 B2	3	53.9500	A
A2 B1	3	32.8933	A
A1 B1	3	25.1267	B
A2 B2	3	23.7767	B

Fuente: Minitab 19

Se realizó una prueba de Tukey con una confianza del 95% para comparar los resultados del módulo de elasticidad de los cuatro tratamientos. Como se observa en la tabla 13, las medias del tratamiento A1B2 (T3) y el tratamiento A2B2 (T4) son significativamente diferentes, teniendo un mayor módulo de elasticidad el tratamiento A1B2 (T3), correspondiente al tratamiento de 1.0% de celulosa y 0.2% de zeolita.

Figura 12. Gráfica de intervalos de medias para el Módulo de elasticidad



Fuente: Minitab 19

En la gráfica anterior se muestran los intervalos de las medias para los valores del módulo de elasticidad, donde se puede observar que el valor más alto corresponde al (T3) para la interacción del nivel A1 con el nivel B2, y el valor más bajo se obtuvo de la interacción del nivel A2 con el nivel B2 (T4).

3.3.3 *Resistencia a la Tracción (MPa)*. Se realizó los análisis de la resistencia a la tracción en las películas, generando los siguientes resultados.

Tabla 14. Análisis de varianza de la Resistencia a la Tracción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
%Celulosa	1	0.32013	0.32013	3.42	0.101
%Zeolita	1	0.01470	0.01470	0.16	0.702
%Celulosa*%Zeolita	1	1.10413	1.10413	11.81	0.009
Error	8	0.74820	0.09352		
Total	11	2.18717			

Fuente: Minitab 19

La tabla 14 muestra que el porcentaje de celulosa (factor A) y el porcentaje de zeolita (factor B) tienen un valor $p > 0.05$, lo que indica que no hay diferencias significativas para estos factores, pero en la combinación de los dos factores (factor A + factor B) tiene un valor $p < 0.05$ demostrando que si existen diferencias significativas.

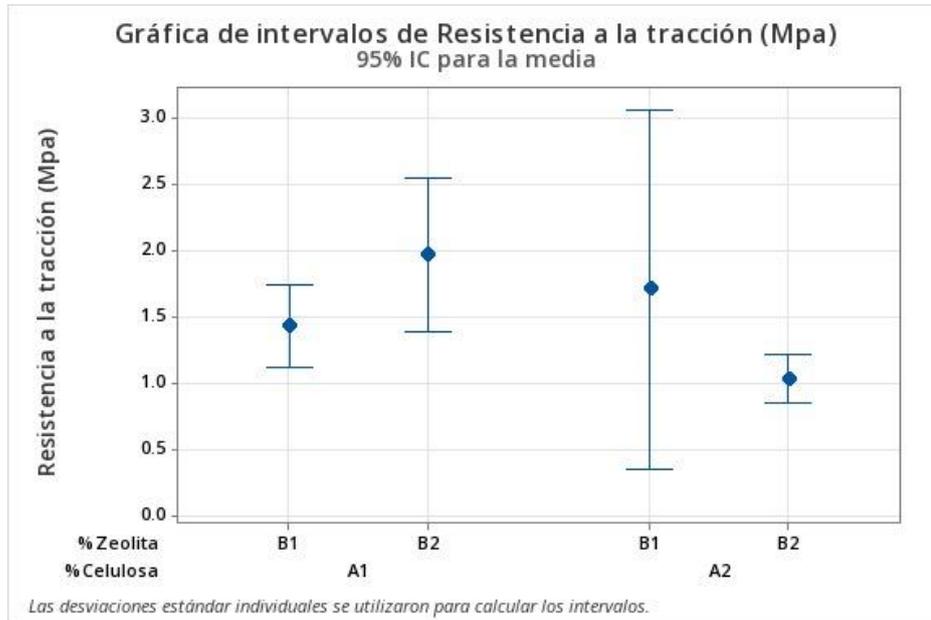
Tabla 15. Comparación de la Resistencia a la Tracción utilizando el método de Tukey

%Celulosa*%Zeolita	N	Media	Agrupación	
A1 B2	3	1.97000	A	
A2 B1	3	1.71333	A	B
A1 B1	3	1.43333	A	B
A2 B2	3	1.03667		B

Fuente: Minitab 19

Mediante el método de Tukey, presentado en la tabla 15, se puede observar que los promedios de los T3 (A1B2) y T4 (A2B2) tienen diferencias significativas.

Figura 13. Gráfica de intervalos de medias para la Resistencia a la Tracción



Fuente: Minitab 19

En la gráfica anterior se muestra la resistencia a la tracción de las medias de los tratamientos realizados, donde el valor más alto es A1B2 (T3), y el valor más bajo corresponde a A2B2 (T4)

El T3, que contenía 1.0% de celulosa y 0.2% de zeolita, registró los valores más altos para el módulo de elasticidad ($54.0 \text{ MPa} \pm 16.045$) y la resistencia a la tracción ($1.97 \text{ MPa} \pm 0.234$). Por otro lado, el T4, que contenía 1.3% de celulosa y 1.2% de zeolita, obtuvo el mayor porcentaje de elongación ($4.947\% \pm 1.5348$) en comparación con los demás tratamientos. Se observó que hay una relación indirecta entre la resistencia a la tracción y el porcentaje de elongación, dado que, al aumentar la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación disminuye, esto sucede porque el material adquiere rigidez.⁷⁶

La adición de zeolita a películas poliméricas tiene un efecto sobre el porcentaje de elongación, siendo que una mayor concentración de zeolita disminuye el porcentaje de elongación debido al agrupamiento de las partículas de zeolita.⁷⁷

Las fibras de celulosa tienen un efecto positivo en el módulo elástico debido a la inclusión de este polímero para el reforzamiento de diferentes materiales.⁷⁸ Esto se

pudo constatar con los resultados que se obtuvieron, puesto que los tratamientos que se realizaron con 1.3% de celulosa tuvieron un módulo más alto que aquellos que fueron elaborados con 1.0% de celulosa.

3.4 Comparación los parámetros calidad de las películas con las Normas vigentes.

Según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635, una película se define como una lámina cuyo espesor nominal no excede los 0.25 mm, por lo tanto, las películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita obtenidas en este estudio cumplen con dicha especificación.

Sin embargo, los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas (porcentaje de elongación, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción) de las películas de celulosa de bagazo de caña de azúcar y zeolita, al ser comparados con la norma INEN 2290, no cumplen con los valores de referencia establecidos para bolsas plásticas, tal como se indica en el Anexo 12.

4. CONCLUSIONES

- La celulosa extraída del bagazo de caña de azúcar, utilizada en la elaboración de películas, fue analizada mediante difracción de rayos X, revelando picos significativos a $2\theta = 22.18^\circ$, 11.78° y 34.86° , los cuales corresponden a las regiones cristalinas de la celulosa. Tras realizar los cálculos pertinentes, se determinó un índice de cristalinidad del 50.67% y un tamaño de cristal de 34 Å. Además, el análisis de fluorescencia de rayos X indicó la presencia de óxidos en su composición química, tales como Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MnO y Fe_2O_3 . Estos resultados confirman que el material obtenido posee características distintivas de la celulosa, según la literatura revisada, corroborando así que las películas están efectivamente elaboradas a partir de celulosa de bagazo de caña de azúcar.
- Las películas presentaron diferencias significativas en la interacción de los dos factores estudiados, con lo cual se evidencia que la adición de diferentes porcentajes de celulosa y zeolita afecta significativamente las propiedades mecánicas de las películas. La celulosa y zeolita poseen características que las hacen propicias para actuar como material de refuerzo influyendo a la resistencia a la tracción, la elongación y la elasticidad.
- Los mejores resultados para la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad lo presentó el T3 (1.0% de Celulosa y 0.2% zeolita), mientras que el T4 (1.3% de Celulosa y 0.2% zeolita), obtuvo el mayor porcentaje de elongación de todos los tratamientos realizados, por lo que la interacción de 1.0% de Celulosa y 0.2% zeolita tiene efectos positivos sobre resistencia a la tracción y módulo de elasticidad, sin embargo disminuye el % de elongación, caso contrario ocurrió con el T4 en base a la interacción de 1.3% de Celulosa y 0.2% zeolita, aumentado el % de elongación.
- Los cuatro tratamientos aplicados resultaron en un espesor final inferior a 0.25 mm, cumpliendo así con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2635:2012, que clasifica estos materiales como láminas plásticas delgadas. Sin embargo, no alcanzaron los parámetros establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2290:2015-12 en cuanto a resistencia a la tracción y porcentaje de elongación. Esto indica que las propiedades mecánicas de los tratamientos son inferiores a las requeridas para las fundas plásticas según la normativa vigente. Por lo tanto, la aplicabilidad de las películas obtenidas se limita a su uso como recubrimientos.

5. RECOMENDACIONES

- Es fundamental incluir al menos un 1% de alcohol polivinílico en la formulación de las películas, ya que cantidades inferiores pueden provocar que las películas resultantes se vuelvan frágiles y quebradizas, comprometiendo así su funcionalidad, durabilidad y aplicabilidad.
- Realizar análisis adicionales sería muy útil para comparar el comportamiento de la celulosa extraída del bagazo de caña de azúcar con la celulosa comercial en cuanto a las propiedades mecánicas de las películas poliméricas. Esta comparación podría ofrecer información valiosa sobre el rendimiento de ambos tipos de celulosa y destacar las ventajas que cada uno puede aportar en aplicaciones prácticas.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Arévalo, K.; Alemán, M.; Rojas, M.; Morales, L. Películas Biodegradables a Partir de Residuos de Cítricos: Propuesta de Empaques Activos. *Revista Latinoamericana de Biotecnología ambiental y algal* **2010**, 1 (2), 124–134. <http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/19>
- (2) Solano, L.; Alamilla, L.; Jiménez, C. Películas y Recubrimientos Comestibles Funcionalizados. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* **2018**, 21 (2), 30–42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- (3) Chacha, A.; Chiluisa, P. Aprovechamiento Del Bagazo de Caña de Azúcar (Saccharum Officinarum) Para La Obtención de Envases Biodegradables., Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, **2023**. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10564> (accessed 2024-05-04).
- (4) López, A.; Bolio, G. I.; Veleza, L.; Solórzano, M.; Acosta, G.; Hernández, M.; Salgado, S.; Córdova, S. Obtención de Celulosa a Partir de Bagazo de Caña de Azúcar (Saccharum Spp.). *Agroproductividad* **2016**, 9 (7), 41–45. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/784>
- (5) Granda, O. A.; Guaya, D. E. Desarrollo de Películas Biodegradables Usando Zeolitas Impregnadas Con Plata. *Avances Investigación en Ingeniería* **2021**, 18 (1), 1–14. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6751>
- (6) Pilataxi, J.; Hernández, J. Síntesis y Caracterización de Compuestos de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) Con Zeolita Ecuatoriana Natural; Guayaquil, **2023**. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25202> (accessed 2024-05-04).

- (7) Guaña, F.; Vaca, M.; Aguilar, J. Biopelículas y Envases Activos, Nuevas Tecnologías En La Industria Alimentaria. *FAC Salud* **2022**, 6 (10), 18–32. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1575> (7)
- (8) Garcia, A.; Morales, M.; Hozman, A.; Ramirez, A.; Cruz, L.; Maranon, A.; Muñoz, C.; Cruz, J.; Porras, A. Bioactive Poly(Lactic Acid)–Cocoa Bean Shell Composites for Biomaterial Formulation: Preparation and Preliminary in Vitro Characterization. *Polymers (Basel)* **2021**, 13 (21). <https://doi.org/10.3390/polym13213707>
- (9) Aguilar, M. Propiedades Físicas y Mecánicas de Películas Biodegradables y Su Empleo En El Recubrimiento de Frutos de Aguacate, Instituto Politécnico Nacional, México DF, **2005**. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/10573> (accessed 2024-02-24).
- (10) Marengo, V. A.; Elisa, A.; Vercelheze, S.; Mali, S. Compósitos Biodegradáveis de Amido de Mandioca e Resíduos Da Agroindústria. *Quim. Nova* **2013**, 36 (5), 680–685. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500012>
- (11) Youssef, H. F.; El-Naggar, M. E.; Fouda, F. K.; Youssef, A. M. Antimicrobial Packaging Film Based on Biodegradable CMC/PVA-Zeolite Doped with Noble Metal Cations. *Food Packag Shelf Life* **2019**, 22. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100378>
- (12) Benitez, A. M. Desarrollo de Un Empaque Activo Biodegradable Para Aguacate (Persea Americana), Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, **2018**. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/64f9a6fe-1510-4345-923e-59b0b76c3259/content> (accessed 2024-02-24).
- (13) Denktaş, C. Mechanical and Film Formation Behavior from PDMS/NaY Zeolite Composite Membranes. *Journal of Applied Polymeric Science* **2020**, 137 (15). <https://doi.org/10.1002/app.48549>

- (14) Díaz, E. Polysaccharide-Based Biodegradable Films: An Alternative in Food Packaging. *Polysaccharides* **2022**, 3 (4), 761–775. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3040044>
- (15) Silva, M.; Dos Santos, W.; Lima, A. Aproveitamento de Resíduos Vegetais Como Alternativa Na Fabricação de embalagens Biodegradáveis. *Brazilian Journal of Development* **2020**, 6 (11), 86238–86250. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-155>
- (16) Santiago, M. Elaboración y Caracterización de Películas Biodegradables Con Almidón Nanoestructurado, Universidad Veracruzana, **2015**. <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/46809> (accessed 2024-02-23).
- (17) Agriplastics Community. Filmes de agricultura biodegradables: ventajas, desventajas y sus diferentes aplicaciones **2020**. <https://agriplasticscommunity.com/es/filmes-de-agricultura-biodegradables-ventajas-desventajas-aplicaciones/> (accessed 2024-02-24).
- (18) López, F.; Jiménez, C. Películas Biopoliméricas: Aplicaciones Para Envases y Otros Productos. In *Tendencias de innovación en la ingeniería de alimentos*; Omnia Science, **2015**; pp 9–36. <https://doi.org/10.3926/oms.287>.
- (19) Labeaga, A. Polímeros Biodegradables. Importancia y Potenciales Aplicaciones U, Universidad Nacional de Educación a Distancia, **2018**. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Alabeaga/Labeaga_Viteri_Aitziber_TFM.pdf (accessed 2024-02-24).
- (20) Valero, M.; Ortegón, Y.; Uscategui, Y. Biopolímeros: Avances y Perspectivas. *Dyna (Medellin)* **2013**, 80 (181), 171–180. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49628728019>

- (21) Rodríguez, E.; Bernal, A.; Gaitán, H.; Kim, C.; Salguero, J.; Toledo, E.; Vásquez, C.; Martínez, A. La Ciencia de Los Polímeros Biodegradables. *Jovenes en la Ciencia* **2021**, 10, 1–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49628728019>
- (22) Colcha, M. Obtención de Plásticos Biodegradables de Chirivía (Pastinaca Sativa) y de Oca (Oxalis Tuberosa) Para El Uso En La Industria Alimentaria, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, **2022**. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17387> (accessed 2024-02-24).
- (23) León, A.; Aguirre; Jiménez, R.; Campos, R.; Reyes, A. Películas a Base de Gelatina Adicionadas Con Compuestos Bioactivos. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo **2017**. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icap/n5/r2.html> (accessed 2024-02-24).
- (24) Mederos, Y.; Bernabé, P.; Ramírez, M. Películas Basadas En Polisacáridos Como Recubrimientos Biodegradables y Su Empleo En La Postcosecha de Los Fruto. *Revista Cultivos Tropicales* **2020**, 41 (3), 1–21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000300009
- (25) León, G.; León, D.; Monroy, M.; De La Espriella, S.; Espriella, L.; Herrera, A. Modificación Química de Almidones Chemical Modification of Starches through Esterification Reactions and Their Potential Use in the Cosmetic Industry. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* **2020**, 39 (5), 620–626. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263410>.
- (26) Lafuente, G. “Glicerol: Síntesis y Aplicaciones,” Universidad Nacional de Educación a Distancia, **2017**. <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente> (accessed 2024-02-24).
- (27) Sophonputtanaphoca, S.; Prasongsuk, S.; Chutong, P.; Samathayanon, C.; Cha-Aim, K. Utilization of Sugarcane Bagasse for Synthesis of Carboxymethylcellulose

and Its Biodegradable Blend Films. *ScienceAsia* **2023**, 49 (4), 541–552.
<https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2023.045>.

(28) Sierra, K. Elaboración y Caracterización de Una Película Biodegradable Utilizando Cáscara de Naranja (*Citrus X Sinensis*), Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, **2021**. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7011> (accessed 2024-02-24).

(29) Tecnología de los Plásticos. Alcohol de polivinilo, **2012**.
<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/03/alcohol-de-polivinilo.html>
(accessed 2024-02-25).

(30) Morales, E. Caracterización de Películas, Elaboradas a Partir de Harina de Quinoa (*Chenopodium Quinoa*, Willd), Almidón Modificado de Yuca (*Manihot Esculenta*) y Montmorillonita., Escuela Politécnica Nacional, **2014**.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7281> (accessed 2024-02-23).

(31) Punina, N.; Ulcuango, R. “Aplicación de Una Película Comestible a Base de Mucílago de Nopal y Aceite Esencial de Orégano En La Conservación Poscosecha de La Fresa (*Fragaria x Ananassa*),” Universidad Técnica de Cotopaxi, **2022**.
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8741> (accessed 2024-02-24).

(32) Escobar, J. A. “Elaboración y Caracterización de Biopelículas Elaboradas Con Quitosano y Adicionadas Con Partículas de Almidón,” Universidad Autónoma del Estado de México, **2020**. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109321> (accessed 2024-02-24).

(33) Can, L. Modificación Superficial de Andamios Electrohilado de Policaprolactona Mediante Plasma de Aire Para Su Uso Potencial En Ingeniería de Tejidos, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., **2017**.

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/444/1/PCM_D_Tesis_2017_Can_Luis.pdf (accessed 2024-02-24).

(34) Cuniberti, A. Propiedades mecánicas y transformaciones de fase de materiales. UNICEN, **2015**. <https://www.unicen.edu.ar/content/propiedades-mec%C3%A1nicas-y-transformaciones-de-fase-de-materiales> (accessed 2024-02-24).

(35) INFINITIA. Clasificación de las propiedades de los materiales, **2021**. <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/clasificacion-propiedades-materiales/> (accessed 2024-02-24).

(36) Callister, W. D.; Rethwisch, D. G. Ciencia e Ingeniería de Los Materiales, Novena.; Editorial Reverté, **2016**. <https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf>

(37) García, A.; Monasterio, N. Introducción a la ciencia de los materiales y sus propiedades, **2018**. https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/51171/mod_resource/content/0/Tema%206-Comportamiento%20mec%C3%A1nico%20de%20los%20materiales.pdf (accessed 2024-02-24).

(38) Rosell, J. R.; Cantalapiedra, I. R. Método Simple Para Determinar El Módulo de Young Dinámico a Partir de Una Excitación Por Impacto Aplicado a Morteros de Cal y Cemento. *Materiales de Construcción* **2011**, 61 (301), 39–48. <https://doi.org/10.3989/mc.2010.53509>.

(39) Becerra, J. Propiedades Mecánicas de Los Materiales. In *Conceptos Básicos de Materiales de Ingeniería*; Fundación Universitaria Juan de Castellanos: Tunjá, **2019**; pp 35–54. <https://libros.jdc.edu.co/index.php/editorial/catalog/download/40/41/252?inline=1>

- (40) Castañeda, J.; Villalada, H.; Mosquera, S. Evaluación de Las Propiedades Mecánicas En Harinas de Amaranto Termoformadas (*Amaranthus Caudatus*) Con Polvillo de Fique. Facultad de Ciencias Agropecuarias **2008**, 6 (1), 61–65. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>.
- (41) Gobierno de México. Caña de azúcar, indispensable en el ponche mexicano, **2017**. <https://www.gob.mx/firco/articulos/cana-de-azucar-indispensable-en-el-ponche-mexicano?idiom=es#:~:text=La%20ca%C3%B1a%20de%20az%C3%BAcar%20es,a%20seis%20cent%C3%ADmetros%20de%20di%C3%A1metro>. (accessed 2024-02-24).
- (42) Lagos, E.; Castro, E. Sugar Cane and By-Products of the Sugar Agro-Industry in Ruminant Feeding: A Review. *Agronomia Mesoamericana* **2019**, 30 (3), 917–934. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.34668>.
- (43) Onofre, D. “Sistemas de Información Geográfica En La Producción de Caña de Azúcar (*Saccharum Officinarum*), En El Ecuador”. Universidad Técnica de Babahoyo, **2020**. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9706> (accessed 2024-02-24).
- (44) Corea, G.; Morales, P. Análisis Del Proceso de Obtención de Bioetanol a Partir Del bagazo de La Caña de Azúcar, Por Hidrólisis Ácida Diluida, Fermentación Separada, UNAN-Managua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, **2019**. <https://repositorio.unan.edu.ni/13595/1/Gustavo%20Emmanuel%20Corea%20Vega.pdf> (accessed 2024-02-24).
- (45) Altamirano, U. “Bagazo Como Alternativa de Conservación de Humedad En El Campo Cañero Del Ingenio La Margarita, S.A. de C.V.,” Universidad Veracruzana, **2020**. <http://cdigital.uv.mx/handle/1944/50305> (accessed 2024-02-24).
- (46) Ameram, N.; Muhammad, S.; Auli, A.; Yusof, N.; Ishak, S.; Ali, A.; Shoparwe, F.; Pao Ter, T. Chemical Composition in Sugarcane Bagasse: Delignification with

Sodium Hydroxide. / Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences **2019**, 15 (2), 232–236. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v15n2.1118>

(47) Sanz, A. *Tecnología de la celulosa. La industria papelera*. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php#:~:text=La%20celulosa%20mec%C3%A1nica%20se%20obtiene,kw%2Dh%2FTm%20producida> (accessed 2024-02-23).

(48) Gañán, P.; Zuluaga, R.; Castro, C.; Restrepo-Osorio, A.; Cock, J. V.; Osorio, M.; Montoya, Ú.; Vélez, L.; Álvarez, C.; Correa, C.; Molina, C. Celulosa: Un Polímero de Siempre Con Mucho Futuro. *Revista Colombiana de Materiales* **2017**, 1–4. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.328779>.

(49) Velasco, L.; Estrada, M.; Reza, C. Obtención de Celulosa a Base de Plantas Que Crecen Alrededor de Las Aguas de Canal. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química* **2020**, 6 (6), 395–399. <http://hdl.handle.net/11191/7741>

(50) Area, M. *Panorama de La Industria de Celulosa y Papel En Iberoamérica 2008*; Red Iberoamericana de Docencia e Investigación en Celulosa y Papel: Argentina, **2008**. https://www.eucalyptus.com.br/artigos/2008_Area_Panorama+Industria+Celulosa+Pap el.pdf

(51) PCC Group. *Celulosa: composición, propiedades, ocurrencia y aplicaciones*, **2023**. <https://www.products.pcc.eu/es/blog/celulosa-composicion-propiedades-ocurrencia-y-aplicaciones/> (accessed 2024-02-23).

(52) Rincon, L.; Moreno, L.; Medina, O. Selective Extraction and Modification of Cellulose from Sugar Cane Bagasse (*Saccharum Officinarum*). *Univ Sci (Bogota)* **2022**, 27 (3), 254–272. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC273.seam>.

- (53) Cabascango, E.; Arteaga, K.; Sánchez, A.; Navarro, B.; Jácome, C. Técnicas de Extracción de Celulosa En Residuos Agroindustriales. *Revista Pertinencia Académica* **2021**, 5 (3), 1–12. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5739370>.
- (54) Shahi, N.; Min, B.; Sapkota, B.; Rangari, V. K. Eco-Friendly Cellulose Nanofiber Extraction from Sugarcane Bagasse and Film Fabrication. *Sustainability (Switzerland)* **2020**, 12 (15). <https://doi.org/10.3390/su12156015>.
- (55) García, Y.; Salgado, S.; Bolio, G. I.; Córdova, S.; Lagunes, L. C.; Falconi, R.; Veleva, L. Métodos Para Extraer Celulosa de La Paja de Caña de Azúcar (*Saccharum Spp.*). *Agroproductividad* **2017**, 10 (11), 54–59. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/65>
- (56) Pavelić, S. K.; Medica, J. S.; Gumbarević, D.; Filošević, A.; Pržulj, N.; Pavelić, K. Critical Review on Zeolite Clinoptilolite Safety and Medical Applications in Vivo. *Front Pharmacol* **2018**, 9 (1350), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01350>.
- (57) Quispe, A. R.; Cabrera, S.; Blanco, M.; Villaca, L.; Quispe, E.; García, G. Caracterización Mineralógica y Cristaloquímica de Zeolitas Naturales Bolivianas. *Revista Boliviana de Química* **2019**, 36 (3), 126–138. <http://dx.doi.org/10.34098/2078-3949.36.3.3>
- (58) Peñafiel, F.; Martínez, R. Síntesis de Zeolitas Utilizando Como Materia Prima Lodos de Los Procesos de Anodizado de Aluminio. *Revista Tecnología en Marcha* **2019**, 32 (3), 12–23. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4476>.
- (59) Llanes, J. E.; Herrera, M. Partial Replacement of Raw Matters by Natural Zeolite in *Clarias Gariepinus* Feed. *Cuban Journal of Agricultural Science* **2022**, 56 (3), 165–173. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v56n3/2079-3480-cjas-56-03-e06.pdf>

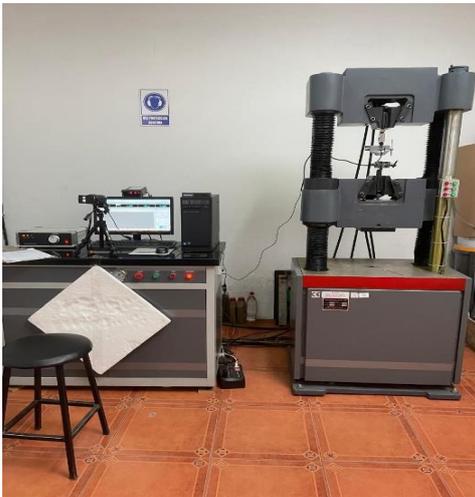
- (60) Enrique, F.; Carballo, M. Las Zeolitas de La Costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, Caracterización y Aplicaciones, Universidad Politécnica de Madrid, **2004**. <https://oa.upm.es/740/1/06200413.pdf> (accessed 2024-02-24).
- (61) Król, M. Natural vs. Synthetic Zeolites. *Crystals (Basel)* **2020**, *10* (7), 1–8. <https://doi.org/10.3390/cryst10070622>.
- (62) Rodríguez, M. Síntesis Hidrotermal de Zeolitas a Partir de Ceniza Volcánica Mediante Tratamiento Alcalino y Su Potencial Aplicación En La Remoción de NH₄⁺, Pb₂⁺, Zn₂⁺ y Mn₂⁺. *Revista Materia* **2022**, *27* (1), 1–12. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620220001.1332>.
- (63) Mastinu, A.; Kumar, A.; Maccarinelli, G.; Bonini, S. A.; Premoli, M.; Aria, F.; Gianoncelli, A.; Memo, M. Zeolite Clinoptilolite: Therapeutic Virtues of an Ancient Mineral. *Molecules* **2019**, *24* (8), 1–15. <https://doi.org/10.3390/molecules24081517>.
- (64) Curi, A.; Granda, W. J. V.; Lima, H. M.; Sousa, W. T. Las Zeolitas y Su Aplicación En La Descontaminación de Efluentes Mineros. *Informacion Tecnologica* **2006**, *17* (6). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000600017>.
- (65) Montes, A.; Fuentes, N.; Perera, Y.; Castruita, G.; García, S. Caracterización de Clinoptilolita Natural y Modificada Con Ca²⁺ Por Distintos Métodos Físico-Químicos Para Su Posible Aplicación En Procesos de Separación de Gases. *Superficies y Vacío* **2015**, *28* (1), 5–11. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v28n1/1665-3521-sv-28-01-00005.pdf>
- (66) Assar, E.; Meysami, A.; Zare, M. Morphology Analysis and Characterization of Clinoptilolite/Polyvinylpyrrolidone-Zeolite Composite Nanofibers. *J Mater Eng Perform* **2020**, *29* (7), 4233–4240. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-04943-2>.

- (67) Salcedo, V. Estudio de Las Propiedades Físicas de Zeolita Natural (Aluminosilicato) de Tipo Clinoptilolita Para Reemplazo Parcial Del Cemento Portland, Universidad Técnica de Ambato, **2021**. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32000/1/Tesis%20I.%20C.%201423%20-%20Salcedo%20Rivera%20Ver%c3%b3nica%20Elizabeth.pdf> (accessed 2024-02-24).
- (68) Amaya, A. Determinación de Las Características Físicas de Sustancias Reactivas: Piroclastos Volcánicos, Zeolita Clinoptilolita, Zeolita Modernita, de Origen Ecuatoriano Para El Tratamiento de Agua., Universidad Técnica de Ambato, **2021**. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/32615/1/Tesis%20I.%20C.%201478%20-%20Amaya%20Diaz%20Ana%20Mar%c3%ada.pdf> (accessed 2024-02-24).
- (69) Rodríguez, I.; Shelyapina, M.; Petranovskii, V. Ion Exchange in Natural Clinoptilolite: Aspects Related to Its Structure and Applications. *Minerals* **2022**, *12* (12), 1–38. <https://doi.org/10.3390/min12121628>.
- (70) Farah, H.; Salmah, H.; Mostapha, M. Properties of All-Cellulose Composite Films from Coconut Shell Powder and Microcrystalline Cellulose. *Applied Mechanics and Materials* **2015**, *754–755*, 39–43. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.754-755.39>.
- (71) Segal, L.; Creely, J. J.; Martin, A. E.; Conrad, C. M. Opportunity for New Developments in All Phases of Textile Manufacturing. ' Literature Cited An Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer. *Apparel Manufacturing* **1952**, *43* (473), 786–794. <https://doi.org/10.1177/004051755902901003>.

- (72) Melesse, G. T.; Hone, F. G.; Mekonnen, M. A. Extraction of Cellulose from Sugarcane Bagasse Optimization and Characterization. *Advances in Materials Science and Engineering* **2022**, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/1712207>.
- (73) Jirón, E.; Rodríguez, K.; Bernal, C. Obtención de Nanocelulosa a Partir de Raquis de Palma Africana y Bagazo de Caña. *Tecnología en Marcha* **2022**, 35 (2), 167–181. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i3.5609>.
- (74) Ross, R.; Bolio, G.; Veleza, L.; Azamar, J.; Hernández, M.; Pérez, J.; Pérez, C.; Correa, M.; Córdova, S. Planta Piloto Para Obtención de Celulosa de Residuos de Caña de Azúcar (*Saccharum Spp.*) Y Elaboración de Recipientes Biodegradables. *Agroproductividad* **2017**, 10 (11), 60–65. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/64>
- (75) Palma, K. R. de; Tomaz, E.; Soria-Verdugo, A.; Silva, M. A. The Influence of the Elemental and Structural Chemical Composition on the Ash Fusibility of Sugarcane Bagasse and Sugarcane Straw. *Fuel* **2021**, 304. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121404>.
- (76) García, M.; Rodríguez, J.; Madera, T.; Morales, A.; Barcenas, K. Propiedades Mecánicas y de Barrera al Vapor de Agua de Películas de Celulosa Bacteriana Recubiertas Con PLA Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of PLA-Coated Bacterial Cellulose Films. *Jòvenes en la Ciencia* **2023**, 24, 1–5. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4195>
- (77) Threepopnatkul, P.; Wongsuton, K.; Jaiuae, C.; Rakkietwinai, N.; Stittatrakul, A.; Kulsetthanchalee, C. Effect of Zeolite on Mechanical and Barrier Properties of Pbat Films for Life Extension of Agricultural Products. *Key Eng Mater* **2020**, 861, 176–181. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.861.176>.

(78) Samadam, A.; Vallepalli, R.; Neeraj Kumar, K.; Sreekanth, M.; Raman Goud, R. Mechanical Properties Evaluation and Behaviour of Cellulose-HDPE Composite. In *Materials Today: Proceedings*; **2022**; Vol. 62. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.271>.

ANEXOS



Anexo 1. Máquina universal de ensayos
– WAW600B



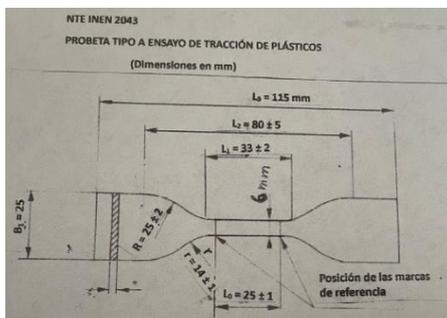
Anexo 2. Proceso de análisis
de las Propiedades mecánicas



Anexo 3. Películas elaboradas



Anexo 4. Proceso de elaboración
de las películas



Anexo 5. Probeta tipo A ensayo de tracción
de plásticos según NTE INEN 2043



Anexo 6. Películas elaboradas

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 2			
SOLICITADO POR:	Kiana Julissa Malla Diaz - Viviana Andrea Elizalde Huanca		
PROYECTO DE TESIS:	*EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULA CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA A DIFERENTES FORMULACIONES*		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	PELÍCULA DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	18-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	T1 - R1	T1 - R2	T1 - R3
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,2	0,23	0,18
ANCHURA [mm]	6,11	6,2	6,58
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,22	1,43	1,18
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,203,E+01	3,911,E+01	1,424,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0,54	1,01	0,96
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0,44	0,71	0,81
CARGA MAXIMA [N]	1,59	2,21	1,72
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,30	1,55	1,45
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3,52	2,36	2,48
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:



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

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

1/1

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 3			
SOLICITADO POR:	Kiana Julissa Malla Diaz - Viviana Andren Elizalde Huanca		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULA CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA A DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	PELÍCULA DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	18-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	7	8	9
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T2 - R1	T2 - R2	T2 - R3
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,2	0,21	0,22
ANCHURA [mm]	5,99	6,19	6,05
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,20	1,30	1,33
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	4,234,E+01	3,061,E+01	2,573,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0,96	0,64	1,12
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0,80	0,49	0,84
CARGA MAXIMA [N]	2,76	1,59	2,16
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	2,30	1,22	1,62
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3,16	3,48	2,76
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:



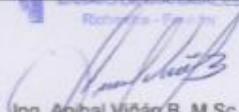
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

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

1/1

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG.18 - 1	
Nº 4			
SOLICITADO POR:	Kiana Julissa Malla Diaz - Viviana Andrea Elizalde Huanca		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PELÍCULA CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA A DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA		
TIPO DE MATERIAL:	PELÍCULA DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	18-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	10	11	12
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T3 - R1	T3 - R2	T3 - R3
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,17	0,18	0,15
ANCHURA [mm]	5,92	6,07	6,77
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,01	1,09	1,02
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	5,664,E+01	6,848,E+01	3,673,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0,85	0,70	0,73
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0,84	0,64	0,72
CARGA MAXIMA [N]	1,85	2,00	2,28
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,84	1,83	2,24
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0,44	1,32	1,24
OBSERVACIONES:			

Aprobado por:



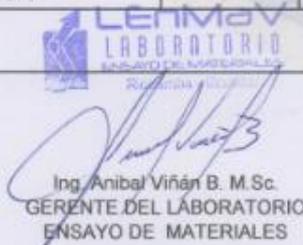
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

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

1/1

INFORME DE RESULTADOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Denominación: RG 18 - 1	
N° 5			
SOLICITADO POR:	Kiana Julissa Malla Diaz - Viviana Andrea Elizalde Huanca		
PROYECTO DE TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE PELICULA CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR Y ZEOLITA A DIFERENTES FORMULACIONES"		
DIRECCION:	UTMACH - CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA		
TIPO DE MATERIAL:	PELICULA DE CELULOSA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR Y ZEOLITA		
MATERIAL:	LAMINA DE PLÁSTICO		
FECHA DE FABRICACIÓN:	2024 - 07		
NORMA UTILIZADA:	ASTM D3039/D3039M - 17		
FECHA DE ENSAYO:	18-jul-24		
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B		
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD		
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D	CÓD IDENT: M2	
NÚMERO DE LA MUESTRA	13	14	15
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	T4 - R1	T4 - R2	T4 - R3
CARACTERÍSTICA	PROBETA	PROBETA	PROBETA
ESPESOR [mm]	0,22	0,17	0,21
ANCHURA [mm]	6,25	6,28	6
LONGITUD INICIAL [mm]	25	25	25
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1,38	1,07	1,26
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	2,671,E+01	2,236,E+01	2,226,E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	0,65	0,73	0,69
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	0,48	0,68	0,55
CARGA MAXIMA [N]	1,39	1,05	1,41
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	1,01	0,98	1,12
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	3,20	6,08	5,56
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 10. Análisis de A2B2 (T4)

REQUISITOS FÍSICOS						
Clasificación	Características	Unidades	Métodos de ensayo	Dirección	Alta densidad	Baja densidad
Industrial	Resistencia a la tracción	MPa	ASTM D 882	DM	≥ 30	≥ 25
				DT	≥ 25	≥ 20
	Elongación a la rotura	%		DM	≥ 300	≥ 400
				DT	≥ 250	≥ 300
Doméstica	Resistencia a la tracción	MPa	ASTM D 882	DM	≥ 25	≥ 22
				DT	≥ 20	≥ 17
	Elongación a la rotura	%		DM	≥ 300	≥ 400
				DT	≥ 250	≥ 300
Baño	Resistencia a la tracción	MPa	ASTM D 882	DM	≥ 20	≥ 15
				DT	≥ 15	≥ 12
	Elongación a la rotura	%		DM	≥ 250	≥ 300
				DT	≥ 200	≥ 250
DM: Dirección de la máquina DT: Dirección transversal						

Anexo 11. Requisitos físicos de la película plástica en bases a las Normas INEN 2290