

Español Versión final.pdf



My Files



My Files



Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:525281420

Fecha de entrega

9 nov 2025, 1:29 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

9 nov 2025, 1:37 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Español Versión final.pdf

Tamaño del archivo

1.5 MB

26 páginas

7868 palabras

39.769 caracteres

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unbosque.edu.co	1%
2	Internet	hdl.handle.net	<1%
3	Internet	es.scribd.com	<1%
4	Internet	bibliotecadigital.exactas.uba.ar	<1%
5	Internet	baixardoc.com	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-03-19	<1%
8	Publicación	Cristina Paola Pavón Vargas. "Aditivación de materiales biodegradables mediante..."	<1%
9	Trabajos entregados	Escuela Superior Politécnica del Litoral on 2024-08-13	<1%
10	Trabajos entregados	ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2024-06-05	<1%
11	Internet	rinacional.tecnm.mx	<1%

12	Trabajos entregados	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
13	Internet	pesquisa.teste.bvsalud.org	<1%
14	Trabajos entregados	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
15	Trabajos entregados	Universidad de Córdoba on 2025-07-21	<1%
16	Internet	riunet.upv.es	<1%
17	Trabajos entregados	Escuela Politecnica Nacional on 2014-02-25	<1%
18	Trabajos entregados	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología (NO TOCAR) on 2025-10-25	<1%
19	Internet	tesis.ipn.mx	<1%
20	Trabajos entregados	ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2023-12-17	<1%
21	Internet	pmc.ncbi.nlm.nih.gov	<1%
22	Trabajos entregados	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-01-13	<1%
23	Internet	biblat.unam.mx	<1%
24	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
25	Trabajos entregados	Consortio CIXUG on 2024-10-04	<1%

26	Publicación	M. T. Blanco-Varela, J. Aguilera, S. Martínez Ramirez, A. Palomo et al. "Thaumasite...	<1%
27	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Colombia on 2021-11-26	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Privada del Norte on 2025-03-11	<1%
29	Trabajos entregados	Universidad Santiago de Cali on 2025-06-09	<1%
30	Internet	YU LEE. "La técnica de la policromía en los artesanados de templos budistas en Ta...	<1%
31	Internet	ru.dgb.unam.mx	<1%
32	Trabajos entregados	Servizo de Xestión de Estudos de Posgrao on 2025-09-21	<1%
33	Trabajos entregados	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología (NO TOCAR) on 2025-05-12	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2017-06-22	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Autónoma de Nuevo León on 2016-08-29	<1%
36	Trabajos entregados	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD on 2022-07-10	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Martín on 2025-10-31	<1%
38	Internet	patents.google.com	<1%
39	Internet	psasir.upm.edu.my	<1%

40	Internet	repositorio.upeu.edu.pe:8080	<1%
41	Trabajos entregados	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente on 2025-04-03	<1%
42	Publicación	Juan Manuel Gonzalez, Andres felipe Vasquez, David Gonzalez, Camilo Rivera et al...	<1%
43	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2009-03-18	<1%
44	Trabajos entregados	Universidad Javeriana - Académico on 2023-10-03	<1%
45	Trabajos entregados	Universidad de Málaga - Tii on 2023-05-28	<1%
46	Trabajos entregados	Universidad de Sevilla on 2025-06-05	<1%
47	Trabajos entregados	Universitat Politècnica de València on 2022-05-16	<1%
48	Internet	repositorio.unibe.edu.ec	<1%
49	Internet	revistas.ucr.ac.cr	<1%
50	Internet	www.revistacodigocientifico.itslosandes.net	<1%
51	Trabajos entregados	ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2025-06-05	<1%
52	Publicación	Rubilar Moya, Felipe Ignacio. "Modelo No Lineal Para Predecir La Respuesta Sismi...	<1%
53	Trabajos entregados	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología (NO TOCAR) on 2025-07-18	<1%

54	Trabajos entregados	Universidad Carlos III de Madrid - EUR on 2024-09-01	<1%
55	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2024-10-14	<1%
56	Internet	apps1.semarnat.gob.mx:8443	<1%
57	Internet	ciencialatina.org	<1%
58	Internet	documents.mx	<1%
59	Internet	journal.uctm.edu	<1%
60	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
61	Internet	revistamvz.unicordoba.edu.co	<1%
62	Internet	www.calkinienses.com	<1%

1 Producción sostenible y caracterización fisicoquímica-estructural del bioplástico a partir 2 de fibra residual de bagazo de caña de azúcar y celulosa de cáscara de mazorca de cacao

3 RESUMEN

4 Debido a la creciente preocupación ambiental causada por los desechos plásticos, esta
5 investigación se centró en el desarrollo de un bioplástico biodegradable hecho a partir de fibra
6 de bagazo de caña de azúcar y celulosa extraída de las cáscaras de mazorca de cacao. El objetivo
7 del estudio fue evaluar cómo las diferentes proporciones de celulosa: fibra afectan las
8 propiedades físicas, mecánicas, ópticas y de biodegradabilidad del bioplástico. Se produjeron
9 cinco películas mediante un método de fundición utilizando almidón de cáscara de papa como
10 matriz y diferentes proporciones de celulosa: fibra (2.4:0.0; 1.8:0.6; 1.2:1.2; 0.6:1.8; y 0.0:2.4).
11 Los resultados mostraron que un mayor contenido de fibra mejoró la absorción de humedad,
12 redujo la solubilidad en agua y la transparencia, intensificó el color y aumentó la resistencia a
13 la tracción y la rigidez. En contraste, un mayor contenido de celulosa resultó en mayor claridad
14 óptica, menor rigidez y una microestructura heterogénea, como se confirmó mediante los
15 análisis de FTIR y SEM. Todas las muestras de bioplástico se biodegradaron completamente en
16 humus después de 43 días; sin embargo, en compost y suelo franco, las tasas de degradación
17 fueron más lentas y estuvieron fuertemente influenciadas por la interacción entre la matriz
18 polimérica y la actividad microbiana del suelo. Los bioplásticos elaborados con celulosa y fibra
19 exhiben buenas propiedades fisicoquímicas y una tasa considerable de biodegradabilidad en el
20 ambiente. Estas características los hacen adecuados para su uso en empaques biodegradables
21 para productos alimenticios secos o semisecos, artículos cosméticos y utensilios desechables y
22 ecológicos.

23 **Palabras clave:** bioplástico biodegradable, bagazo de caña de azúcar, celulosa de cáscara de
24 cacao.

25 1. Introducción

26 El uso de plásticos se ha generalizado en múltiples sectores debido a su bajo costo,
27 facilidad de producción y durabilidad [1]. Sin embargo, la mayoría de estos materiales están
28 compuestos por polímeros sintéticos derivados del petróleo, cuya producción y consumo
29 actuales son responsables del agotamiento de recursos naturales, la generación excesiva de
30 residuos y la contaminación ambiental [2]. En 2016, solo en la Unión Europea, se generaron
31 más de 16 millones de toneladas de residuos de envases plásticos, aproximadamente un tercio

de los cuales terminaron como contaminantes marinos o terrestres, afectando también la salud humana [3].

Dada esta situación, la búsqueda de alternativas sostenibles que puedan reducir el impacto ambiental de los plásticos convencionales se ha intensificado. En este contexto, los bioplásticos están surgiendo como una opción prometedora. Estos materiales son biodegradables y/o están hechos a partir de fuentes renovables [4], lo que reduce el uso de combustibles fósiles, facilita nuevos flujos de reciclaje, disminuye la cantidad y el volumen de residuos generados y mejora la eficiencia en la gestión de los mismos [3].

En los últimos años, el desarrollo de bioplásticos ha priorizado el uso de materias primas de origen vegetal, incluyendo almidón, celulosa, lignina, pectina, quitosano, algas, gomas vegetales y diversos residuos agroindustriales como el bagazo de caña de azúcar o las cáscaras de frutas [5]. Comparados con los plásticos sintéticos tradicionales, los bioplásticos ofrecen ventajas significativas como baja o nula toxicidad, biodegradabilidad, biocompatibilidad y viabilidad económica [6].

Los bioplásticos biodegradables están diseñados para descomponerse mediante acción biológica bajo condiciones específicas, como vertederos, sistemas de compostaje o ambientes naturales como suelos y cuerpos de agua [7], [8]. Estas características las convierten en una opción prometedora para mitigar el impacto ambiental de los desechos plásticos [9].

Dentro de este enfoque sostenible, la biomasa residual juega un papel fundamental como materia prima alternativa [4]. En particular, el bagazo de caña de azúcar, el residuo fibroso generado tras la extracción de jugo en los ingenios azucareros, representa aproximadamente el 30% de la caña de azúcar procesada [10]. A nivel mundial, se estima una producción anual de más de 540 millones de toneladas métricas de bagazo, siendo América Latina una de las principales regiones productoras: Brasil (181 t), México (15 t) y Colombia (7 t) [11]. Este residuo contiene fibras útiles tanto en la cáscara como en la pulpa de la planta [10], lo que lo convierte en una fuente potencial para el refuerzo de materiales en biopolímeros.

Además, la cáscara de mazorca de cacao es el principal subproducto agroindustrial de la industria del chocolate, representando hasta el 76% del peso de la fruta. Se estima que por cada tonelada de granos de cacao seco, se generan aproximadamente 10 toneladas de cáscara (en base húmeda), lo que representa un volumen considerable considerando la producción global

de 5.024 millones de toneladas en la cosecha 2020–2021 [12]. Este subproducto tiene un alto contenido de celulosa, útil para la formulación de matrices poliméricas biodegradables.

La combinación de fibras de bagazo de caña de azúcar y celulosa de las cáscaras de mazorca de cacao representa una alternativa viable para el desarrollo de bioplásticos reforzados, ya que mejora sus propiedades fisicoquímicas y contribuye a su biodegradabilidad [13]. Además, fomenta la recuperación de residuos y la transición hacia una economía circular en el sector agroindustrial.

Este estudio propone el desarrollo de un bioplástico biodegradable utilizando fibra de bagazo de caña de azúcar y celulosa extraída de manera sostenible de las cáscaras de mazorca de cacao. El estudio se centra en caracterizar las propiedades fisicoquímicas y estructurales del material obtenido, así como evaluar su potencial como sustituto de los plásticos convencionales desde una perspectiva ambiental, tecnológica y productiva. Según sus propiedades, este bioplástico tiene aplicaciones prometedoras en el empaquetado de productos alimenticios secos o semisecos, cosméticos y utensilios desechables y ecológicos.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

El bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de mazorca de cacao fueron recolectados localmente. El almidón de cáscara de papa se obtuvo de los desechos domésticos de cocina y se utilizó como la matriz polimérica. La glicerina fue adquirida de Sigma-Aldrich y se utilizó como plastificante. Se empleó agua destilada como disolvente para la formación de las películas. Todos los materiales se utilizaron sin purificación adicional.

2.2. Extracción de celulosa de la cáscara de mazorca de cacao

Para la extracción de celulosa de la cáscara de mazorca de cacao (MC), estas fueron seleccionadas manualmente y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 3%, luego se cortaron uniformemente (aproximadamente 5 cm) y se secaron en una estufa de convección natural a 65 °C durante 48 horas hasta alcanzar peso constante. Las muestras secas fueron molidas y almacenadas en bolsas etiquetadas para su posterior procesamiento. Se pesaron 50 g de MC y se trataron con 750 mL de NaOH al 4% bajo agitación y calentados hasta ebullición durante 2 horas. Después de enfriar, se filtraron al vacío y se lavaron con agua destilada hasta obtener un pH neutro. Las muestras fueron tratadas luego con 500 mL de NaClO al 2.5% durante 24 horas

con previa agitación manual, seguido de filtración y un nuevo lavado. Posteriormente, se añadió 300 mL de NaOH al 17.5%, se calentó a 80 °C durante 1 hora y finalmente se trató con 250 mL de NaClO al 2.5%, hirviendo durante 5 minutos. Después de un lavado final, las muestras fueron secadas a 60 °C durante 12 horas, maceradas y tamizadas [14].

2.3. Extracción de fibra del bagazo de caña de azúcar

Para la extracción de fibras del bagazo de caña de azúcar, se utilizó una metodología adaptada de Benini et al. (2011) [15] con modificaciones en la concentración de los reactivos y el tiempo de blanqueo. Inicialmente, 100 g de bagazo fueron tratados con 1 L de hidróxido de sodio al 4% (p/p) durante 1 hora, bajo agitación constante a temperatura ambiente. Después de este tratamiento alcalino preliminar, la mezcla se filtró al vacío y se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro. Las fibras resultantes se secaron en una estufa a 50 °C durante 24 horas. Posteriormente, se aplicó un tratamiento de blanqueo con hipoclorito de sodio (NaClO) al 2.5%, manteniendo agitación constante a 70 °C durante 1 hora y 30 minutos. Una vez completado este proceso, las fibras se filtraron al vacío nuevamente, se enjuagaron con agua destilada hasta obtener pH neutro y se secaron por segunda vez en una estufa a 50 °C durante 24 horas.

2.4. Extracción de almidón residual

Las cáscaras de papa recolectadas fueron lavadas con agua potable y luego trituradas en una licuadora utilizando agua destilada en una proporción de 1:5. La mezcla se filtró a través de muselina y se dejó reposar durante 24 horas. El almidón precipitado se lavó tres veces con agua destilada y luego se secó en una estufa (Binder FD 115, Alemania) a 60 °C durante 12 horas.

2.5. Procesamiento de bioplástico

El bioplástico se procesó a partir de una mezcla base compuesta por 88% de agua destilada y 4.5% de almidón de cáscara de papa, la cual se colocó en un vaso de precipitados bajo agitación constante a 700 rpm durante 3 minutos. Se añadió 0.4% de ácido acético a esta mezcla, y la agitación continuó durante 4 minutos más. Luego, se incorporaron la celulosa extraída de las cáscaras de mazorca de cacao y la fibra obtenida del bagazo de caña de azúcar en diferentes proporciones, manteniendo la agitación constante. Las proporciones de celulosa: fibra fueron: 2.4:0.0%, 1.8:0.6%, 1.2:1.2%, 0.6:1.8%, y 0.0:2.4%. Posteriormente, se añadieron los plastificantes, 2.6% de glicerina y 2.1% de sorbitol, y la agitación se continuó durante 18

123 minutos. Luego, la temperatura del sistema se incrementó gradualmente mientras se mantenía
124 la agitación hasta que el agua se evaporó y se formó una mezcla viscosa y homogénea.
125 Finalmente, la solución se vertió sobre una superficie antiadherente, se distribuyó de manera
126 uniforme y se colocó en una estufa a 60 °C durante dos horas. La muestra se retiró y se dejó
127 secar a temperatura ambiente durante tres días, hasta que se formó una película sólida de
128 bioplástico.

129 2.6. Prueba de contenido de humedad

130 El contenido de humedad del bioplástico se determinó pesando la muestra en su estado
131 original. Luego, se secó a 105 °C durante 24 horas en una estufa (Binder FD 115, Alemania) y
132 se volvió a pesar. Este proceso se repitió hasta que la muestra alcanzó un peso constante [13].
133 Cada muestra fue analizada por triplicado. El contenido de humedad se calculó utilizando la
134 siguiente ecuación:

$$135 \quad \text{Contenido de Humedad} = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

136 Donde W_0 es el peso inicial del bioplástico (g) y W_f es el peso final o peso constante del
137 bioplástico (g).

138 2.7. Prueba de solubilidad en agua

139 Para medir la solubilidad en agua, se cortaron muestras del bioplástico en piezas de 2 cm
140 $\times$ 2 cm y se colocaron en un vaso de precipitados que contenía 80 mL de agua destilada. Luego,
141 se agitaron a 100 rpm durante una hora. Después de este proceso, las muestras se filtraron y se
142 secaron en una estufa a 45 °C hasta obtener peso constante [16]. Se realizaron tres análisis
143 replicados para cada muestra. El porcentaje de solubilidad se determinó utilizando la siguiente
144 ecuación:

$$145 \quad \text{Solubilidad en agua} = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

146 Donde W_0 es el peso seco de la muestra original (g) y W_f es la masa seca de la muestra
147 no disuelta (g).

2.8. Análisis de transparencia

La transparencia de los bioplásticos se evaluó utilizando espectros de transmitancia obtenidos con un espectrofotómetro UV-Vis (Shimadzu, UV-1780, Japón), operando en el rango de 190 a 1100 nm. La transparencia se determinó mediante la transmitancia en el rango visible a una longitud de onda de 600 nm [17]. Cada muestra fue analizada en tres réplicas independientes.

2.9. Análisis de color

El color de los bioplásticos se evaluó utilizando un espectrofotómetro de color (PCE-TCR 200, Alemania), considerando los parámetros del espacio de color HSL: Matiz (H), Saturación (S) y Luminosidad (L). Cada muestra se midió individualmente tres veces, y el valor promedio resultante se registró [18].

2.10. Análisis de propiedades mecánicas

La resistencia a la tracción, la elongación y el módulo de Young del bioplástico se determinaron utilizando una máquina universal de pruebas (Instron 34TM-5SA, EE. UU.). Las muestras, de 20 mm de ancho, 100 mm de largo y aproximadamente 0.065 mm de grosor, se sometieron a una prueba de tracción a una velocidad constante de 2 mm/s, utilizando una célula de carga de 500 N. Cada muestra fue analizada por triplicado.

2.11. Análisis de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR)

La caracterización de los grupos funcionales presentes en los bioplásticos se evaluó utilizando un espectrómetro (Perkin Elmer 400, EE. UU.). Las muestras se prepararon mezclándolas homogéneamente con bromuro de potasio (KBr) y posteriormente se comprimieron en pellets para su análisis. Los espectros se adquirieron con una resolución espectral de 4 cm^{-1} en el rango de 4000 a 380 cm^{-1} .

2.12. Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM)

La morfología superficial del bioplástico se analizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un microscopio JEOL (JCM-7000, Japón) operado a un voltaje de aceleración de 30 kV. Antes de la observación, las muestras se recubrieron con una capa delgada de oro [19].

176 2.13. Prueba de biodegradación

177 Las muestras de bioplástico, de 3 cm × 3 cm, se enterraron a una profundidad de
178 aproximadamente 12 cm en tres tipos de sustrato: humus, compost y tierra. El proceso de
179 degradación se evaluó mediante la pérdida de peso del material [20]. Se realizaron tres análisis
180 independientes para cada muestra. La pérdida de peso se determinó utilizando la siguiente
181 ecuación:

$$182 \text{ Pérdida de peso} = \frac{W_0 - W_f}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

183 Donde W_0 es el peso inicial del bioplástico (g) y W_f es el peso final del bioplástico (g).

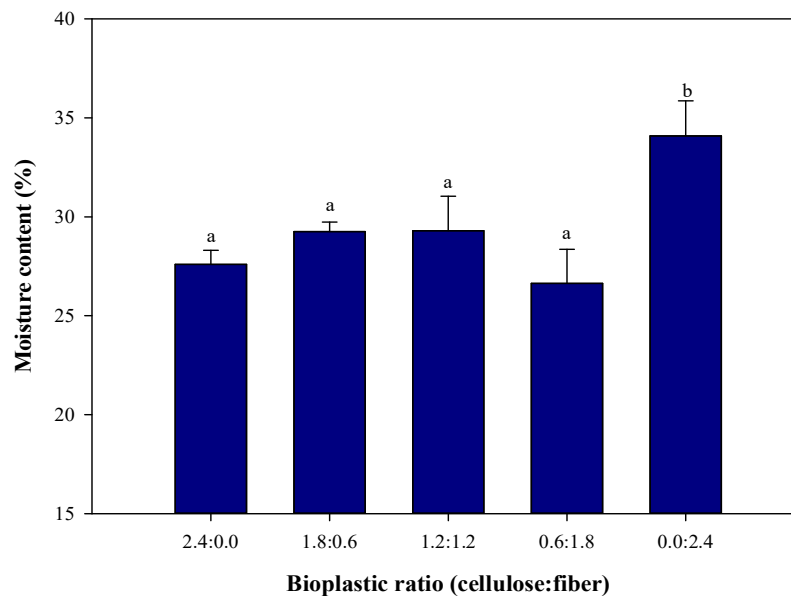
184 2.14. Análisis Estadístico

185 El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics 19 (Statistical
186 Graphics Corp., Herndon, VA, EE. UU.). Se aplicó un análisis de varianza de unidireccional
187 (ANOVA), seguido de la prueba de Tukey para comparaciones múltiples, considerando un nivel
188 de significancia del 5% ($p < 0.05$).

189 3. Resultados y Discusión

190 3.1. Contenido de humedad

191 La Figura 1 muestra que el bioplástico con la mayor proporción de fibra (0.0:2.4) tuvo el
192 mayor contenido de humedad (34.09%), mientras que las demás películas mostraron valores
193 que oscilaron entre el 26.64% y el 29.30%, sin diferencias significativas. Estos resultados
194 indican que la fibra de bagazo de caña de azúcar, en ausencia de celulosa, exhibe una mayor
195 capacidad higroscópica, probablemente debido a su mayor porosidad y estructura menos
196 ordenada, lo que facilita la retención de agua en comparación con la celulosa, cuya naturaleza
197 cristalina limita su capacidad de absorción.



198

199 **Figura 1.** Contenido de humedad de los bioplásticos en diferentes proporciones de celulosa:
200 fibra

201 El mayor contenido de humedad en la película 0.0:2.4 se puede atribuir a la estructura
202 amorfa y porosa de la fibra de bagazo, que contiene hemicelulosa y lignina con sitios activos
203 capaces de retener moléculas de agua. Estos resultados son consistentes con los reportados por
204 Azmin et al. (2020) [13], quienes observaron que los bioplásticos con una mayor proporción de
205 fibras vegetales o celulosa tienden a absorber más humedad. De manera similar, Rohidi y
206 Othman (2024) [21] informaron contenidos de humedad de 21.21% y 22.11% en bioplásticos
207 elaborados con almidón de maíz y ácido cítrico, así como con papa, arroz y ácido cítrico,
208 respectivamente. Por otro lado, Pooja et al. (2024) [17] destacaron que un menor contenido de
209 humedad favorece la estabilidad dimensional del material y reduce el riesgo de crecimiento
210 microbiano.

211 3.2. Solubilidad en agua

212 La Figura 2 muestra que la solubilidad en agua de los bioplásticos disminuye a medida
213 que aumenta la proporción de fibra y disminuye el contenido de celulosa. La película 2.4:0.0,
214 compuesta únicamente por celulosa, mostró la mayor solubilidad (49.13%), mientras que la
215 película 0.6:1.8 presentó el valor más bajo (42.53%), con diferencias significativas. Esta
216 tendencia sugiere que la fibra de bagazo otorga una mayor resistencia a la disolución en medios
217 acuosos al bioplástico, probablemente debido a su mayor contenido de lignina y hemicelulosa,
218 que son menos hidrofílicos que la celulosa pura. La disminución progresiva en la solubilidad

refleja una mejora en la estabilidad del bioplástico frente a la humedad, lo cual es deseable para aplicaciones en ambientes húmedos o como material de embalaje.

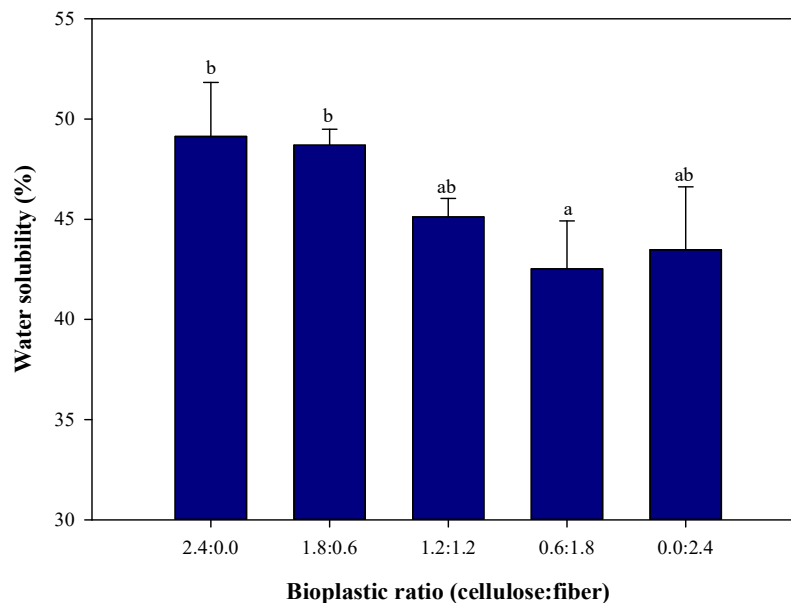


Figura 2. Solubilidad en agua de bioplásticos formulados con diferentes proporciones de celulosa: fibra

La incorporación de fibras en los bioplásticos reduce la afinidad del material con el agua, disminuyendo su solubilidad. Estos resultados son consistentes con los reportados por Azmin et al. (2020) [13], quienes indican que una mayor proporción de fibra en la matriz del bioplástico reduce tanto la absorción de agua como la solubilidad. Sin embargo, cuando la fibra incorporada tiene un alto contenido de celulosa, se puede observar un aumento en la absorción de agua y la solubilidad del material. De manera similar, Pooja et al. (2024) [17] encontraron que los bioplásticos elaborados con almidones térmicamente modificados sujetos a ultrasonido muestran una mayor solubilidad, atribuida a procesos de despolimerización. En este contexto, el aumento de la proporción de fibra de bagazo de caña de azúcar contribuye a estructuras más estables y menos solubles en los bioplásticos.

3.3. Transparencia

La Figura 3 muestra que la transparencia de los bioplásticos disminuye a medida que aumenta la proporción de fibra en la matriz de la película. El bioplástico con el mayor contenido de celulosa (2.4:0.0) tuvo el valor de transmitancia más alto (20.333%), significativamente superior al bioplástico compuesto solo por fibra (0.0:2.4), que mostró la menor transparencia

(14.66%). Las películas intermedias no mostraron diferencias estadísticas entre sí. Estos resultados indican que la celulosa contribuye a una mayor claridad óptica del material, mientras que la adición de fibra residual tiende a dispersar la luz, reduciendo la transmitancia.

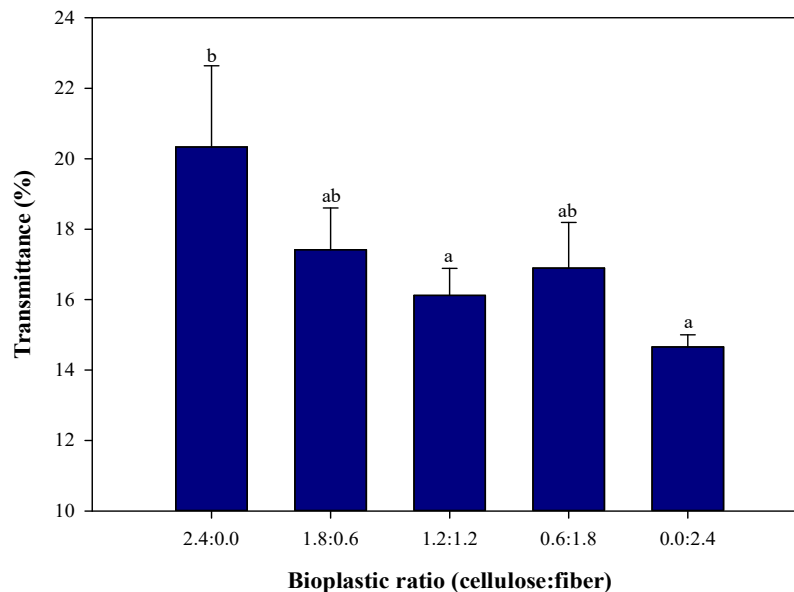


Figura 3. Transparencia de los bioplásticos formulados con diferentes proporciones de celulosa: fibra

La disminución de la transparencia con el aumento del contenido de fibra se debe al incremento de la dispersión y absorción de luz causadas por la morfología irregular y el tamaño de partícula de la fibra de bagazo, lo cual interfiere con la transmisión uniforme de la luz a través del material. He et al. (2024) [18] informaron que los bioplásticos compuestos a base de almidón termoplástico exhiben menor transparencia y mayor opacidad. Además, Pooja et al. (2024) [17] indicaron que la presencia de amilosa reduce la transparencia del bioplástico, ya que este polisacárido forma regiones cristalinas que interfieren con la dispersión de la luz. En contraste, aunque los bioplásticos reforzados con fibra pueden mejorar sus propiedades mecánicas, típicamente presentan menor transparencia debido al aumento de la opacidad y la dispersión interna provocada por las fibras.

3.4. Color

La Figura 4 muestra cómo la proporción de celulosa: fibra afecta el matiz, la saturación y la luminosidad de los bioplásticos. El parámetro de matiz de los bioplásticos varió de 212° a 220°, dentro del rango azul. Los bioplásticos con mayores contenidos de fibra (0.0:2.4 y 1.2:1.2)

259 mostraron matices más cercanos al azul-violeta ($\sim 212^\circ$), mientras que las muestras con mayores
260 contenidos de celulosa (2.4:0.0 y 0.6:1.8) mostraron una tendencia hacia matices de azul más
261 frío ($\sim 218\text{--}220^\circ$). La saturación, una medida de la intensidad del color, fue más baja en las
262 películas con mayores proporciones de celulosa ($<6\%$) y más alta en las que contenían más
263 fibra ($>10\%$), lo que revela que las fibras contribuyen con cromóforos que intensifican el color
264 (Figura 4a). Finalmente, la luminosidad fue más alta en el bioplástico 2.4:0.0 (78.88%),
265 indicando un material visualmente más claro, y disminuyó con el aumento de la fibra,
266 alcanzando su valor mínimo en 0.0:2.4 (71.21%) (Figura 4b).

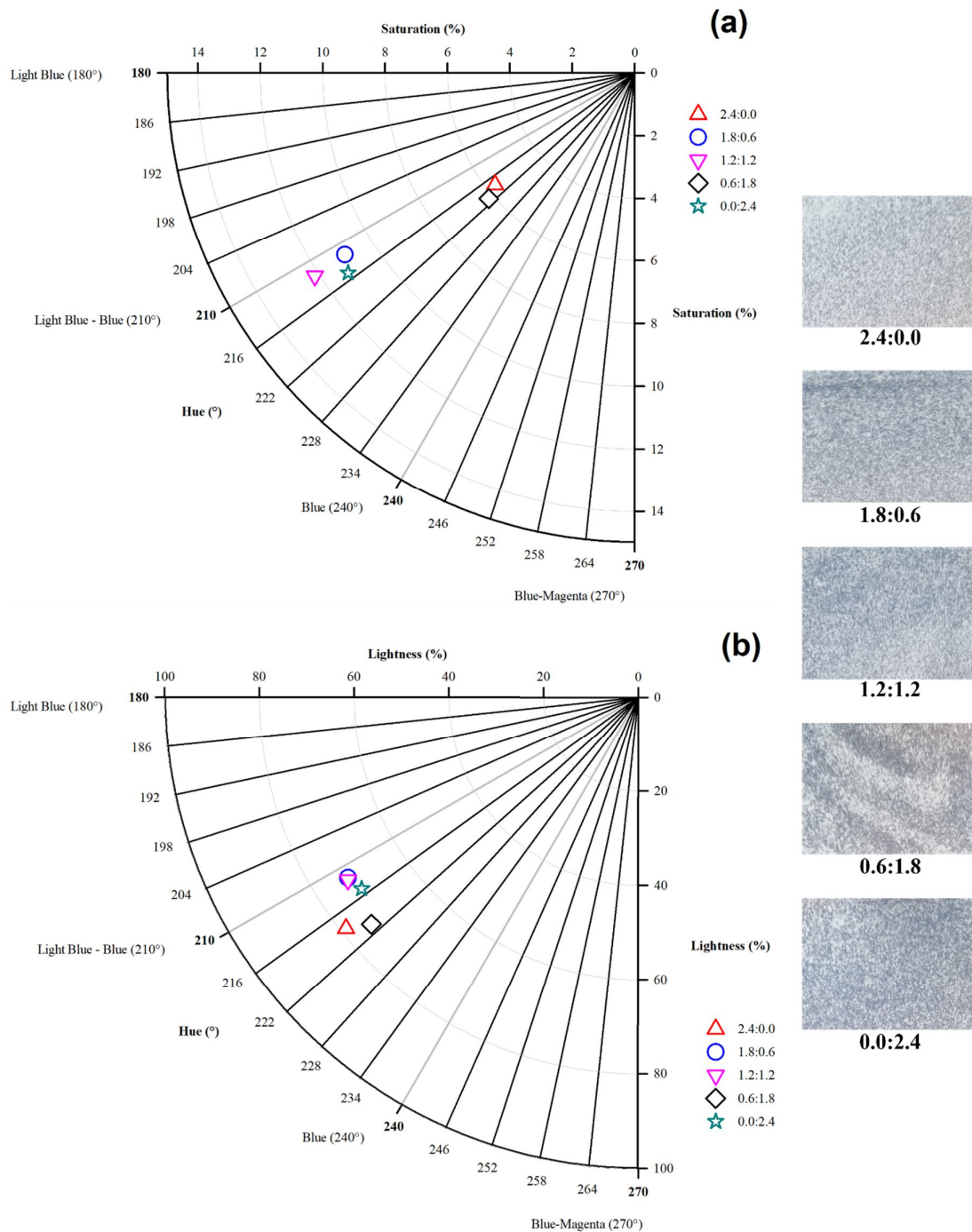


Figura 4. Parámetros de color del bioplástico: (a) Saturación (%) frente a Matiz (°); (b) Luminosidad frente a Matiz (°)

El aumento en la saturación y la disminución en la luminosidad con mayor contenido de fibra puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos, lignina o impurezas residuales que oscurecen e intensifican el color. He et al. (2024) [18] informaron que en bioplásticos

16 273 procesados con tributilo 2-acetilcitrate y glicerina, estos compuestos contribuyen a un matiz
274 más oscuro, marrón, y a un tinte amarillento, debido a la pérdida de la estructura y la
275 cristalinidad de los gránulos de almidón en la matriz polimérica. Por su parte, Agusman et al.
276 (2022) [19] observaron que la luminosidad de los bioplásticos a base de agar/quitosano variaba
277 entre 67.10% y 72.22%. Estos valores son comparables a los obtenidos en nuestro estudio,
278 donde la luminosidad se encontró entre 71.21% y 78.89%. En contraste, las fibras
279 lignocelulósicas tienden a modificar el matiz hacia rangos más oscuros y menos uniformes,
280 especialmente cuando no se aplican tratamientos de blanqueo.

281 3.5. Propiedades mecánicas

45 282 La Figura 5 muestra que las propiedades mecánicas de los bioplásticos varían
283 significativamente dependiendo de la proporción de celulosa: fibra. La película con la mayor
17 284 proporción de fibra (0.0:2.4) presentó la mayor resistencia a la tracción (9.21 MPa) (Figura 5a)
285 y el mayor módulo de Young (228.33 MPa) (Figura 5c), lo que indica una estructura más rígida
286 y resistente, aunque con una elongación intermedia (13.93%) (Figura 5b). Sin embargo, la
287 película compuesta solo por celulosa (2.4:0.0) presentó la menor resistencia (5.88 MPa) (Figura
288 5a) y el menor módulo de Young (100.48 MPa) (Figura 5c), pero con una mayor elongación
1 289 (19.50%) (Figura 5b), lo que sugiere una estructura más flexible y menos rígida. Por lo tanto, a
290 medida que aumenta la proporción de fibra en el bioplástico, se observa una tendencia hacia
291 una mayor rigidez y resistencia mecánica, a expensas de una disminución en la capacidad de
292 elongación, lo que indica una relación inversamente proporcional entre rigidez y flexibilidad
293 en estos materiales.

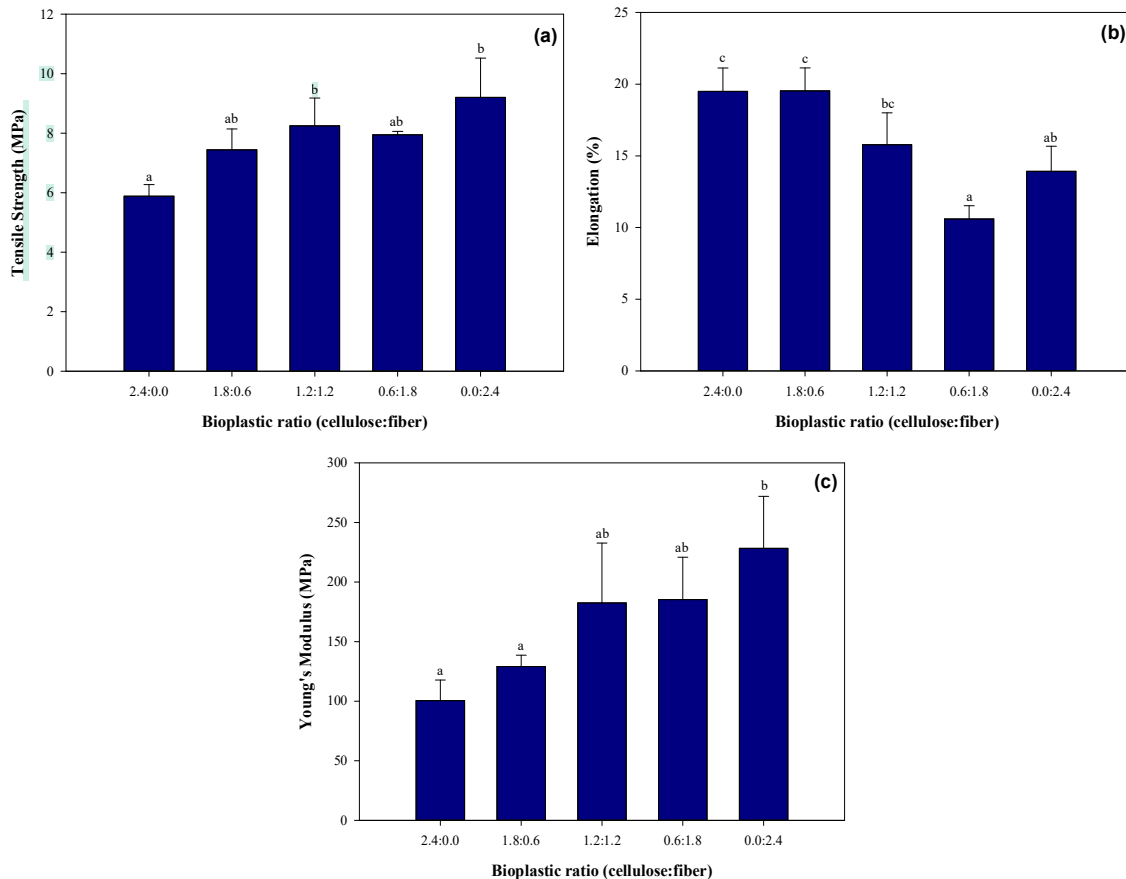


Figura 5. Características mecánicas del bioplástico: Resistencia a la tracción (a), Elongación (b) y Módulo de Young (c).

La incorporación de fibras como refuerzo en las matrices poliméricas aumenta la resistencia mecánica y la rigidez del material, debido al entrelazado estructural y la mejora en la transferencia de tensiones entre la matriz y el refuerzo. Estos resultados son comparables con los informes de Hernando et al. (2024) [16], quienes desarrollaron bioplásticos a base de almidón de tronco de palma, utilizando glicerina como plastificante y aceite de palma epoxidado con ácido cítrico como modificador. Sus materiales presentaron una resistencia a la tracción entre 4.03 MPa y 7.71 MPa, elongaciones de 18.07% a 49.37% y un módulo de Young entre 34.98 MPa y 42.54 MPa; sin embargo, estos últimos valores fueron más bajos en comparación con los obtenidos en el presente estudio. De manera similar, Heredia-Guerrero et al. (2023) [22] observaron que las películas hechas con quitina y glicerina mostraron una disminución tanto en el módulo de Young como en la resistencia a la tracción a medida que aumentaba el contenido de glicerina, mientras que la deformación mostró el comportamiento contrario. En este contexto, la fibra de bagazo de caña de azúcar está surgiendo como un

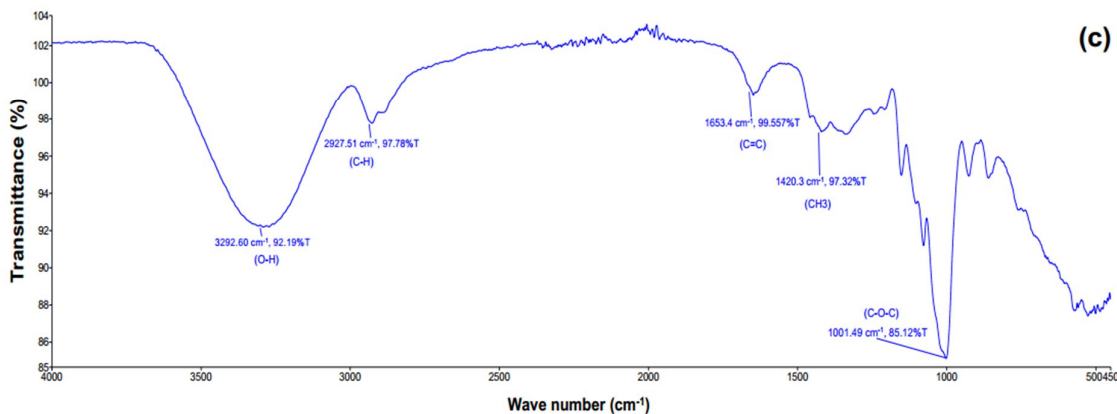
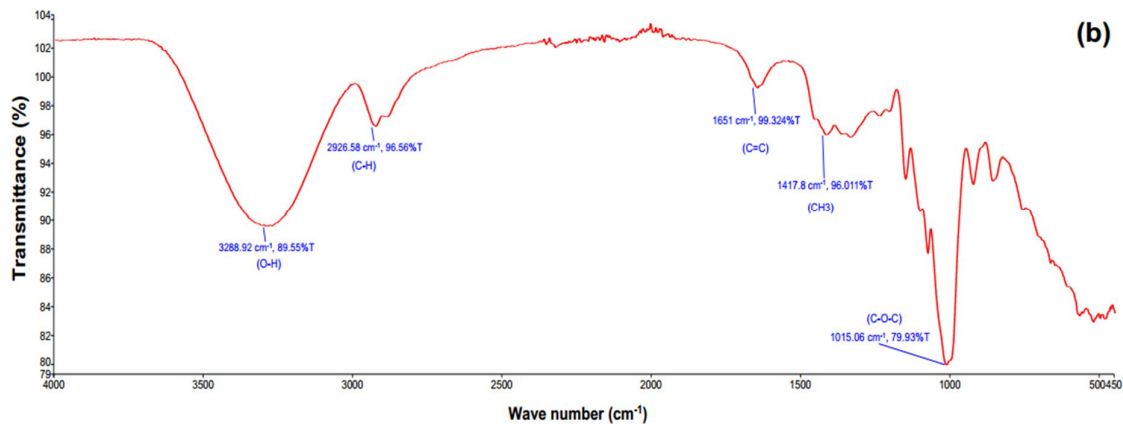
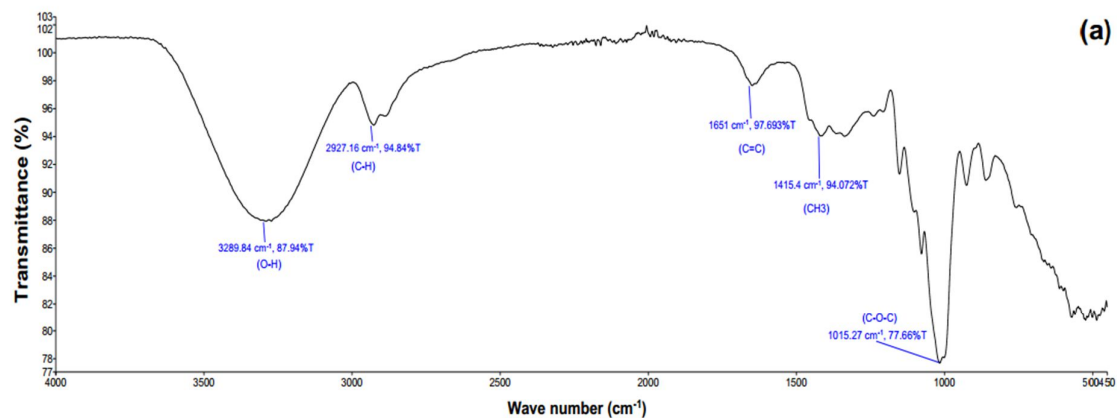
refuerzo eficaz para los bioplásticos, ya que mejora sus propiedades mecánicas sin comprometer su ductilidad, dependiendo de la proporción utilizada.

3.6. Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

La Figura 6 presenta los espectros FTIR de bioplásticos con proporciones de celulosa: fibra de 2.4:0.0 (Fig. 6a), 1.2:1.2 (Fig. 6b) y 0.0:2.4 (Fig. 6c), mostrando perfiles espectrales que reflejan la composición funcional de sus componentes naturales. En todos los casos, la banda ancha e intensa entre 3288 y 3292 cm^{-1} corresponde al estiramiento de los grupos hidroxilo ($-\text{OH}$), ampliamente presentes en los anillos de glucopiranos de la celulosa, el almidón y la hemicelulosa, e indica una red de enlaces de hidrógeno. La región entre 2926 y 2927 cm^{-1} se asocia con el estiramiento de los enlaces alifáticos $\text{C}-\text{H}$, comunes en las estructuras de cadenas laterales de carbono. La señal entre 1651–1653 cm^{-1} se atribuye a los enlaces dobles $\text{C}=\text{C}$, relacionados con los residuos de lignina en las fibras vegetales. Las bandas entre 1415–1423 cm^{-1} reflejan la presencia de grupos metilo ($-\text{CH}_3$) y deformaciones de grupos $\text{C}-\text{H}$, mientras que los picos intensos en la región de 1000–1020 cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) son característicos de los enlaces glucosídicos en los polisacáridos. Aunque los tres espectros comparten las mismas señales principales, varían en intensidad y profundidad de absorción, lo que refleja diferencias estructurales sutiles relacionadas con la proporción de cada biopolímero en la matriz. La película 2.4:0.0 (Figura 6a) presenta picos más agudos y profundos, un mayor orden estructural y menor heterogeneidad química en comparación con la película con mayor contenido de fibra (Figura 6c), cuya mayor dispersión espectral puede indicar interferencias de compuestos amorfos o heterogéneos como la lignina o la pectina.

Los espectros obtenidos son consistentes con los reportados para biocompuestos a base de polisacáridos y fibras vegetales. Olusanya et al. (2023) [23] indicaron que la presencia dominante de los grupos $-\text{OH}$ y $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ es característica de las matrices de almidón y celulosa, cuya intensidad puede variar dependiendo de la cristalinidad de la fase continua. De manera similar, Hernando et al. (2024) [16] informaron que la disminución de los picos en 2922–2877 cm^{-1} refleja una menor vibración $\text{C}-\text{H}$, asociada con cambios en las interacciones intermoleculares causadas por el aumento de aceite de palma epoxidado con ácido cítrico, lo que también intensificó las bandas en 1644–1571 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$) y el pico en 1385 cm^{-1} (flexión OH), evidenciando modificaciones estructurales. En este contexto, el bioplástico con el mayor contenido de celulosa (2.4:0.0) presenta una matriz más ordenada y homogénea, posiblemente debido a una mayor formación de enlaces de hidrógeno y una mejor cohesión interna. En

343 contraste, la película con 2.4 componentes de fibra mostró mayor intensidad en las bandas
344 asociadas con compuestos no estructurales, lo que indica una matriz menos regular. Esto
345 explicaría sus propiedades mecánicas más débiles y su mayor heterogeneidad, también
346 observada mediante SEM. En general, el análisis FTIR confirma que la proporción de celulosa:
347 fibra modula la distribución de los grupos funcionales, afectando la organización molecular del
348 bioplástico y sus propiedades físicas y mecánicas.



352 **Figura 6.** Espectros FTIR de bioplásticos con diferentes proporciones de celulosa: fibra:
353 2.4:0.0 (a), 1.2:1.2 (b) y 0.0:2.4 (c).

2 354 **3.7. Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Dispersión de Energía**
355 **(SEM-EDS)**

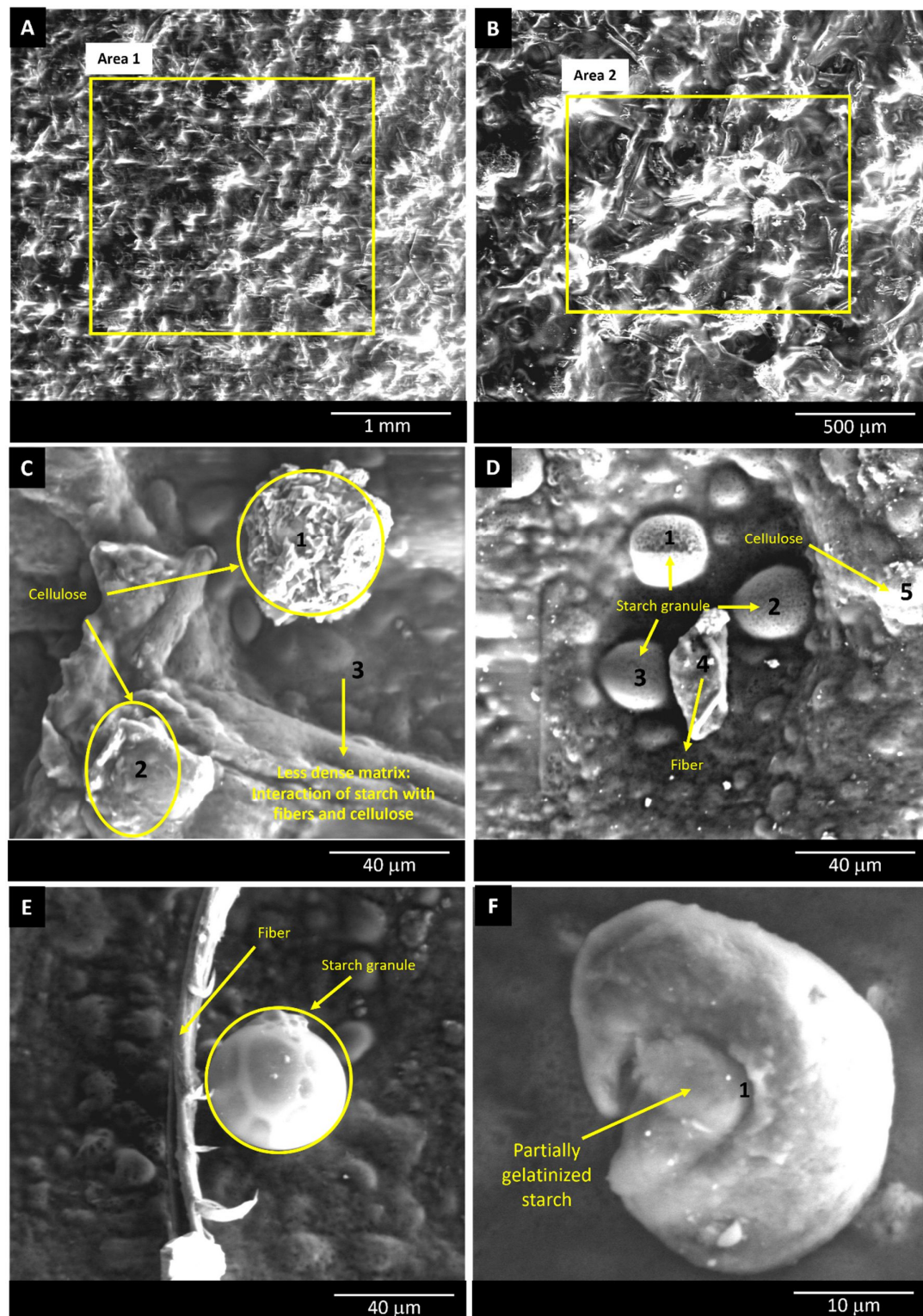
49 356 La Figura 7 presenta imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) del
357 bioplástico (proporción de celulosa: fibra 1.2:1.2) a diferentes aumentos. A aumentos bajos
358 (Figura 7A-7B), se observa una matriz continua con una distribución heterogénea de
359 componentes, destacando áreas de mayor densidad estructural. A mayores aumentos (Figura
360 7C-7F), se identifican gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, fibras vegetales y
361 partículas de celulosa incrustadas en la matriz. La Figura 7C muestra interacciones entre
362 celulosa y almidón dentro de una matriz menos densa, lo que indica una integración incompleta.
363 En las Figura 7D y 7E, la presencia de gránulos de almidón incompletamente gelatinizados y
364 fibras expuestas sugiere una dispersión parcial de los componentes y baja compatibilidad entre
365 fases. Finalmente, la Figura 7F muestra gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, lo que
366 puede influir negativamente en la integridad estructural del bioplástico y en su capacidad
367 mecánica.

368 La microestructura observada confirma la compatibilidad limitada entre los componentes
369 (celulosa, fibra y almidón), lo cual es característico de las matrices poliméricas naturales.
370 Hernando et al. (2024) [16] informan que la presencia de gránulos y microagujeros en el
371 bioplástico evidencia una integración incompleta del aceite de palma epoxidado con ácido
372 cítrico en la matriz de almidón, atribuida a su baja compatibilidad, diferencias de polaridad y
373 factores como la viscosidad y las condiciones de procesamiento. De manera similar, Yusoff et
374 al. (2021) [24] reportaron que las imágenes SEM mostraron superficies heterogéneas, resultado
375 de la incompatibilidad entre el ácido poliláctico y la fase de almidón de tapioca, lo que tiende a
376 reducir la resistencia del bioplástico. Por lo tanto, la microestructura revelada por SEM sugiere
377 que la gelatinización incompleta genera discontinuidades en la matriz, lo que podría
378 comprometer la resistencia mecánica y favorecer una mayor absorción de humedad.

379 La Tabla 1 muestra el contenido elemental de las diferentes secciones del bioplástico,
380 evidenciando una composición predominante de carbono (C) y oxígeno (O), lo cual es
381 consistente con la naturaleza polisacáridica de sus componentes, como el almidón, la celulosa
382 y las fibras vegetales. Las áreas generales (Figura 7A y 7B) presentan proporciones similares
383 de C (~46.9%) y O (~53%), demostrando una matriz continua de enlaces C-O y C-C. En áreas

384 localizadas (Figura 7C y 7D), se observa una variación significativa; el punto 1 en la Figura 7C
 385 presenta un menor contenido de carbono (35.78%) y un mayor porcentaje de oxígeno, lo que
 386 podría estar asociado con regiones de mayor densidad de celulosa o áreas menos degradadas.
 387 En contraste, los puntos 2 y 3 presentan un mayor contenido de C (>55%), posiblemente debido
 388 a gránulos de almidón con menor oxidación. La característica más notable es la presencia de
 389 nitrógeno en puntos localizados (Figura 7D – Punto 4 y Figura 7F – Punto 1), con valores de
 390 6.75% y 4.89% respectivamente, lo que indica áreas donde se integraron proteínas orgánicas
 391 nitrogenadas o residuos orgánicos, probablemente derivados del proceso de extracción o fuentes
 392 vegetales residuales.

393



394

395 **Figura 7.** Fotomicrografías SEM del bioplástico a diferentes aumentos: (A) 50x; (B) 100x;
 396 (C) 1600x; (D) 1600x; (E) 1600x y (F) 5000x. Las imágenes fueron obtenidas de la sección
 397 transversal de la película para la proporción de celulosa: fibra de 1.2:1.2.

398 Tabla 1

399 Contenido porcentual de los elementos en el bioplástico: carbono (C), oxígeno (O) y nitrógeno
400 (N).

Sección		Contenido de Elementos (%)		
		Carbono, C	Oxígeno, O	Nitrógeno, N
Figura 7A:	Área 1	46.92	53.08	-
Figura 7B:	Área 2	46.62	53.38	-
Figura 7C:	Punto 1	35.78	43.63	-
	Punto 2	56.20	43.80	-
	Punto 3	55.73	44.27	-
Figura 7D:	Punto 1	56.48	43.52	-
	Punto 2	48.80	51.20	-
	Punto 4	50.51	42.74	6.75
Figura 7F:	Punto 1	50.61	44.50	4.89

401 El predominio de carbono y oxígeno es consistente con la composición esperada de
402 materiales naturales como almidón, celulosa y fibras lignocelulósicas. Según Henao-Díaz et al.
403 (2021) [25], las películas elaboradas a partir de polisacáridos tienen un contenido elemental
404 dominado por C y O, debido a la alta densidad de grupos hidroxilo y unidades de anhidroglucosa
405 en su estructura. La detección puntual de nitrógeno, por otro lado, podría estar asociada con
406 impurezas proteicas derivadas de la biomasa o interacciones residuales con glicerol. En este
407 contexto, la variación en el contenido de C y O en diferentes puntos de la Figura 7 muestra la
408 heterogeneidad estructural del bioplástico.

409 3.8. Prueba de Biodegradación

410 La Tabla 2 presenta los resultados de biodegradación de los bioplásticos, los cuales
411 variaron significativamente dependiendo del tipo de suelo y la proporción de celulosa: fibra. En
412 humus, todos los bioplásticos lograron una biodegradación completa (100%) en 43 días,
413 destacándose particularmente la película 2.4:0.0, que perdió más del 90% de su peso en solo 22
414 días. En compost, el proceso fue más lento: la película 0.6:1.8 mostró la mayor degradación
415 (80.78%) al día 87, mientras que la película 2.4:0.0 mostró la menor (69.01%). En suelo franco,
416 la degradación fue considerablemente más baja para todos los bioplásticos, alcanzando un
417 máximo de 40.90% con la película 1.2:1.2. Estos resultados muestran que la biodegradación

está fuertemente influenciada por la actividad microbiana del sustrato, siendo más eficiente en humus, intermedia en compost y limitada en suelo franco. Asimismo, el tipo de biomasa afecta la velocidad del proceso: la celulosa promueve una degradación inicial acelerada, mientras que la fibra favorece una descomposición más sostenida en ambientes microbiológicamente activos.

Tabla 2

Porcentajes de pérdida de peso de los bioplásticos. Diferentes letras dentro de un mismo grupo indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tipo de Sustrato	Proporción bioplástico (celulosa: fibra)	Tiempo (días)									
		7	13	22	27	31	34	43	50	66	87
Humus	2.4:0.0	14.06 ^b	31.96 ^b	91.38 ^a	98.16 ^b	99.98 ^a	100.00 ^a				
	1.8:0.6	5.29 ^a	22.42 ^{ab}	80.06 ^a	89.15 ^{ab}	99.96 ^a	100.00 ^a				
	1.2:1.2	9.95 ^{ab}	28.28 ^{ab}	53.56 ^a	75.87 ^a	89.92 ^a	100.00 ^a				
	0.6:1.8	5.26 ^a	21.27 ^{ab}	70.59 ^a	84.02 ^{ab}	92.50 ^a	100.00 ^a				
	0.0:2.4	8.21 ^{ab}	13.16 ^b	70.20 ^a	85.21 ^{ab}	93.31 ^a	100.00 ^a				
Compost	2.4:0.0	9.11 ^a	12.84 ^a	16.86 ^a	18.81 ^{ab}	19.59 ^{ab}	20.32 ^a	26.97 ^a	32.11 ^a	45.72 ^a	69.01 ^a
	1.8:0.6	11.11 ^a	13.28 ^a	16.61 ^a	17.66 ^a	18.37 ^a	19.27 ^a	27.28 ^{ab}	33.95 ^a	50.50 ^a	71.21 ^a
	1.2:1.2	10.73 ^a	15.28 ^a	20.91 ^b	21.917 ^b	23.34 ^{bc}	25.49 ^{ab}	34.26 ^{bc}	44.33 ^b	61.78 ^b	78.28 ^c
	0.6:1.8	9.94 ^a	13.47 ^a	18.64 ^{ab}	20.03 ^{ab}	21.54 ^{abc}	24.29 ^{ab}	35.64 ^b	45.97 ^b	60.83 ^b	80.78 ^c
	0.0:2.4	11.48 ^a	15.06 ^a	21.25 ^b	22.03 ^b	24.60 ^c	27.67 ^b	35.67 ^b	44.73 ^b	57.45 ^b	75.66 ^b
Suelo Franco	2.4:0.0	3.77 ^a	5.28 ^a	7.57 ^a	8.77 ^a	10.63 ^a	11.12 ^a	14.21 ^a	15.73 ^a	20.83 ^a	39.17 ^a
	1.8:0.6	2.61 ^a	3.60 ^a	5.62 ^a	6.11 ^a	9.16 ^a	11.54 ^a	15.19 ^a	17.37 ^{ab}	19.47 ^a	38.51 ^a
	1.2:1.2	3.98 ^a	4.94 ^a	7.46 ^a	8.06 ^a	9.82 ^a	10.47 ^a	16.44 ^{ab}	18.27 ^{ab}	21.88 ^a	40.90 ^a
	0.6:1.8	2.51 ^a	4.64 ^a	7.48 ^a	8.02 ^a	12.95 ^a	15.07 ^a	20.04 ^b	21.40 ^b	22.18 ^a	35.90 ^a
	0.0:2.4	2.69 ^a	3.62 ^a	7.59 ^a	8.37 ^a	10.34 ^a	10.89 ^a	16.56 ^{ab}	17.45 ^{ab}	21.78 ^a	37.15 ^a

La rápida biodegradación observada en el humus se atribuye a su alto contenido de microorganismos y enzimas, que favorecen la descomposición de los biopolímeros naturales. En compost, aunque existe actividad microbiana, las condiciones de temperatura y humedad no son necesariamente constantes, lo que podría explicar una degradación más gradual. En contraste, la pobre degradabilidad en suelos franco se relaciona con su naturaleza arcillosa o calcárea, que presenta limitaciones físicas y químicas para la acción microbiana. Estos resultados son comparables con los hallazgos de Tan et al. (2022) [20], quienes reportaron una pérdida de peso del 67.7% en bioplásticos de almidón puro y del 52.1% en aquellos reforzados

con quitosano después de 28 días en compost. De manera similar, Hernando et al. (2024) [16] encontraron que los bioplásticos elaborados con almidón de tronco de palma y 30% de glicerol alcanzaron una degradación del 94.73% en solo 15 días en una mezcla de suelo. Asimismo, Rohidi y Othman (2024) [21] demostraron que los bioplásticos que contenían sorbitol mostraron una pérdida de peso de entre 47.36% y 80.17% después de 15 días. Pooja et al. (2024) [17] reportaron que las películas de almidón nativo comienzan a degradarse después de 30 días, alcanzando la degradación máxima a los 60 días. Por lo tanto, estos estudios subrayan que tanto la composición del bioplástico como las condiciones ambientales del suelo son factores determinantes en su comportamiento de biodegradación.

4. Conclusión

La proporción de celulosa: fibra mostró un efecto significativo en las propiedades físicas, mecánicas, ópticas y de biodegradación de los bioplásticos. El bioplástico con el mayor contenido de fibra (0.0:2.4) mostró una mayor capacidad de absorción de humedad, menor solubilidad en agua, menor transparencia y mayor intensidad de color, además de una mayor resistencia mecánica y rigidez. En contraste, la película con la mayor proporción de celulosa (2.4:0.0) presentó mayor transparencia, menor rigidez y una estructura más homogénea, como lo evidencian los análisis de FTIR y SEM. En cuanto a la biodegradación, todos los bioplásticos se descompusieron completamente en humus en 43 días; sin embargo, en compost y suelo franco la descomposición fue más lenta y estuvo influenciada por la interacción entre la matriz polimérica y la actividad microbiana del suelo. Estos hallazgos confirman que variar la proporción de fibra de bagazo de caña de azúcar y celulosa permite ajustar las propiedades del bioplástico para satisfacer necesidades específicas de rendimiento. Por lo tanto, este bioplástico presenta un gran potencial para aplicaciones en empaques biodegradables de alimentos secos o semisecos, productos cosméticos y artículos desechables ecológicos.

Declaración de intereses conflictivos

Los autores afirman que no tienen intereses conflictivos.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión del Perú, por proporcionar el apoyo y las instalaciones necesarias.

463 Referencias

- 464 [1] A. Shafqat, N. Al-Zaqri, A. Tahir, and A. Alsalmeh, "Synthesis and characterization of
465 starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural
466 fillers," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 1739–1749, 2021, doi:
467 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.015>.
- 468 [2] A. Mohammed, A. Gaduan, P. Chaitram, A. Pooran, K. Y. Lee, and K. Ward,
469 "Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food
470 packaging," *Food Hydrocoll.*, vol. 135, Feb. 2023, doi:
471 <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108192>.
- 472 [3] X. Zhao *et al.*, "Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for
473 food packaging," *Matter*, vol. 6, no. 1. Cell Press, pp. 97–127, Jan. 2023, doi:
474 <https://doi.org/10.1016/j.matt.2022.11.006>.
- 475 [4] M. Mujtaba *et al.*, "Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular
476 economy: a review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics," *Journal of
477 Cleaner Production*, vol. 402. Elsevier Ltd, May 2023, doi:
478 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>.
- 479 [5] J. J. Benitez *et al.*, "Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food
480 packaging applications," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 273, no. June, 2024, doi:
481 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132956>.
- 482 [6] S. Ranote *et al.*, "Towards scalable and degradable bioplastic films from Moringa
483 oleifera gum/poly(vinyl alcohol) as packaging material," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol.
484 269, Jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132219>.
- 485 [7] G. Atiwesh, A. Mikhael, C. C. Parrish, J. Banoub, and T. A. T. Le, "Environmental
486 impact of bioplastic use: A review," *Heliyon*, vol. 7, no. 9, p. e07918, 2021, doi:
487 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07918>.
- 488 [8] A. Folino, A. Karageorgiou, P. S. Calabrò, and D. Komilis, "Biodegradation of Wasted
489 Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review," *Sustain.*, vol. 12, no. 15,
490 pp. 1–37, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/su12156030>.
- 491 [9] F. Lombardi *et al.*, "Chemical-Physical Characterization of Bio-Based Biodegradable

- 492 Plastics in View of Identifying Suitable Recycling/Recovery Strategies and Numerical
493 Modeling of PLA Pyrolysis,” *Waste and Biomass Valorization*, vol. 15, no. 3. pp. 1653–
494 1670, 2024, doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02159-8>.
- 495 [10] M. A. Mahmud and F. R. Anannya, “Sugarcane bagasse - A source of cellulosic fiber for
496 diverse applications,” *Heliyon*, vol. 7, no. 8. Elsevier Ltd, Aug. 2021, doi:
497 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07771>.
- 498 [11] K. U. Ahmed, A. Geremew, and A. Jemal, “The comparative study on the performance
499 of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete
500 production,” *Heliyon*, vol. 8, no. 7, Jul. 2022, doi:
501 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09842>.
- 502 [12] A. G. Hernández-Mendoza, S. Saldaña-Trinidad, S. Martínez-Hernández, B. Y. Pérez-
503 Sariñana, and M. Láinez, “Optimization of alkaline pretreatment and enzymatic
504 hydrolysis of cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.) for ethanol production,” *Biomass
505 and Bioenergy*, vol. 154, no. March, 2021, doi:
506 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106268>.
- 507 [13] S. N. H. M. Azmin, N. A. B. M. Hayat, and M. S. M. Nor, “Development and
508 characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose
509 incorporated with sugarcane bagasse fibre,” *J. Bioresour. Bioprod.*, vol. 5, no. 4, pp.
510 248–255, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003>.
- 511 [14] D. C. Meza Sepulveda and H. Ladino, “Comparación de dos métodos de extracción de
512 celulosa a partir de la cáscara de la mazorca de *Theobroma cacao* l. Clon FEAR 5 en el
513 departamento de Risaralda (Colombia),” *Inf. tecnológica*, vol. 35, no. 3, pp. 11–24, 2024,
514 doi: <https://doi.org/10.4067/s0718-07642024000300011>.
- 515 [15] K. C. C. C. Benini, H. J. C. Voorwald, and M. O. H. Cioffi, “Mechanical properties of
516 HIPS/sugarcane bagasse fiber composites after accelerated weathering,” *Procedia Eng.*,
517 vol. 10, pp. 3246–3251, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.536>.
- 518 [16] H. Hernando *et al.*, “Impact of glycerol on oil palm trunk starch bioplastics enhanced
519 with citric-acid epoxidized palm oil oligomers,” *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol.
520 10, p. 100839, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100839>.
- 521 [17] N. Pooja, S. Shashank, B. N. Singh, and N. Mazumder, “Advancing sustainable

- bioplastics: chemical and physical modification of starch films for enhanced thermal and barrier properties,” *RSC Adv.*, vol. 14, no. 33, pp. 23943–23951, 2024, doi: <https://doi.org/10.1039/d4ra04263h>.
- [18] X. He *et al.*, “Effect of Starch Plasticization on Morphological, Mechanical, Crystalline, Thermal, and Optical Behavior of Poly(butylene adipate-co-terephthalate)/Thermoplastic Starch Composite Films,” *Polymers (Basel)*., vol. 16, no. 3, p. 326, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/polym16030326>.
- [19] Agusman *et al.*, “Physical properties of bioplastic agar/chitosan blend,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 978, p. 012046, 2022, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/978/1/012046>.
- [20] S. X. Tan *et al.*, “Characterization and Parametric Study on Mechanical Properties Enhancement in Biodegradable Chitosan-Reinforced Starch-Based Bioplastic Film,” *Polymers (Basel)*., vol. 14, no. 2, pp. 1–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/polym14020278>.
- [21] N. N. Rohidi and S. A. Othman, “Investigate the Properties of Different Irradiated Starch Bioplastic for Packaging Application,” *Malaysian J. Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 59–71, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.22452/mjs.vol43no1.6>.
- [22] J. A. Heredia-Guerrero *et al.*, “Plasticized, greaseproof chitin bioplastics with high transparency and biodegradability,” *Food Hydrocoll.*, vol. 145, p. 109072, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109072>.
- [23] J. O. Olusanya, T. P. Mohan, and K. Kanny, “Effect of nanoclay (NC) on mechanical and thermal properties of cellulose nanoparticles (CNPs) filled cornstarch bioplastic film,” *J. Polym. Res.*, vol. 30, no. 7, pp. 1–14, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s10965-023-03646-1>.
- [24] N. H. Yusoff, K. Pal, T. Narayanan, and F. G. de Souza, “Recent trends on bioplastics synthesis and characterizations: Polylactic acid (PLA) incorporated with tapioca starch for packaging applications,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1232, p. 129954, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.129954>.
- [25] L. S. Henao-Díaz *et al.*, “Obtaining and characterization films of a bioplastic obtained from passion fruit waste (*Passiflora edulis*),” *Agro Product.*, 2021, doi:

552 <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i7.2010>.

553