

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES PORCENTAJES DE  
CELULOSA Y COMPUESTOS BIOACTIVOS EN LAS  
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE  
BIOPLÁSTICOS**

**Autor: Bach. Robin Carli Oblitas Delgado**

**Asesores: Msc. Segundo Grimaldo Chavez Quintana**

**Mg. Luz Maribel Quispe Sanchez**

**Registro: (.....)**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por protegerme en estos momentos de incertidumbre y aún brindarme salud para poder terminar mi carrera profesional.

A mis padres, hermanos, familiares y amigos(as) por sus consejos, enseñanza y apoyo incondicional que me brindaron todo este tiempo y así poder culminar mi carrera con éxito.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer en primer lugar a Dios por la vida que nos regala, a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), al equipo de profesionales del Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FSIOBVEG), al equipo de los proyectos CEINCACAO y CEINCAFE de la UNTRM, por haberme brindado las instalaciones, materiales, equipos, acompañamiento y asistencia técnica.

A mis padres y hermanos quienes me han acompañado en todo momento, brindándome su apoyo incondicional para poder lograr mis metas.

A mis asesores Segundo Grimaldo Chavez Quintana y Luz Maribel Quispe Sanchez, por brindarme la oportunidad de fortalecer mis conocimientos teóricos y prácticos.

Esta investigación fue financiada por el Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) – CONTRATO PE501079737-2022 en el proyecto “Desarrollo y caracterización de bioplásticos bioactivos a partir de subproductos de café y cacao”. Asimismo, contó con el respaldo del proyecto CONTRATO N° PE501082113-2023-PROCIENCIA, proyecto titulado: “Desarrollo tecnológico de una línea de envases biodegradables con biomasas amazónicas, altamente Impermeable con biopolímeros lignocelulósicos de fibra de coco con enfoque de economía circular” (BIOPACK).

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA  
**RECTOR**

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES  
**VICERRECTOR ACADÉMICO**

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA  
**VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA  
**DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS**

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación de  
Diferentes Porcentajes de Celulosa y Compuestos Bioactivos  
en las características Fisicoquímicas de Bioplásticos ;  
del egresado Robin Carlí Obites Delegado  
de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias  
Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial  
de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 19 de abril de 2024

Firma y nombre completo del Asesor

Segundo Grimaldo Chavez Cuinlana

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ( )/Profesional externo (x), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Evaluación de Diferentes Porcentajes de Celulosa y Compuestos Bioactivos en las Características Fisicoquímicas de Bioplásticos; del egresado Robin Carl Oblitas Delgado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 19 de abril de 2024

Firma y nombre completo del Asesor  
Mg. Luz Karibel Quispe Sanchez

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS

Aline Camila Caetano

Mg. Sc. Aline Camila Caetano

**PRESIDENTA**



Ms. Robert Javier Cruzalegui Fernandez

**SECRETARIO**



Mg. Carlos Alexander Culqui Arce

**VOCAL**

...

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Evaluación de diferentes porcentajes de celulosa y compuestos  
biocativos en las características físico-químicas de bioplásticos  
presentada por el estudiante ( )/egresado (x) Robin Carli Obitos Delgado  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial  
con correo electrónico institucional 7548424952@untrm.edu.pe  
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 23 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 23 de abril del 2024

[Signature]  
SECRETARIO

Alme Camila Castano  
PRESIDENTE

[Signature]  
VOCAL

OBSERVACIONES:  
.....  
.....

## REPORTE DEL TURNITIN

### Tesis Final

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

8%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

1

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

8%

2

[repositorio.untrm.edu.pe](https://repositorio.untrm.edu.pe)

Fuente de Internet

5%

3

[repositorio.unal.edu.co](https://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

4

Cristina Paola Pavón Vargas. "Aditivación de materiales biodegradables mediante el uso de derivados de colofonia", Universitat Politècnica de Valencia, 2022

Publicación

<1%

5

[patents.google.com](https://patents.google.com)

Fuente de Internet

<1%

6

[repositorio.lamolina.edu.pe](https://repositorio.lamolina.edu.pe)

Fuente de Internet

<1%

7

[digital.csic.es](https://digital.csic.es)

Fuente de Internet

<1%

8

[tpa.fateta.unand.ac.id](https://tpa.fateta.unand.ac.id)

Fuente de Internet

<1%

*Aline Camila Bastano*

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-S

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 14 de mayo del año 2024 siendo las 14:00 horas, el aspirante: Robin Carl Oblitas Delgado, asesorado por Ing. Msc. Segundo Grimaldo Chavez Quintana defiende en sesión pública presencial () a distancia () la Tesis titulada: Evaluación de diferentes porcentajes de celulosa y compuestos bioactivos en las características fisicoquímicas de bioplásticos, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Lic. M.Sc. Aline Camila Cotto

Secretario: Ing. M. Robert Javier Cruzalqui Fernández

Vocal: Ing. Mg. Carlos Alexander Pulqui Arce

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 14:58 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.



[Signature]  
SECRETARIO

Aline Camila Cotto  
PRESIDENTE

[Signature]  
VOCAL

OBSERVACIONES:  
.....

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ.....	iv
DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS .....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS .....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
REPORTE DE TURNITIN .....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y METODOS .....	18
2.1. Recolección y preparación de las muestras.....	18
2.2. Extracción de celulosa de subproductos de café .....	18
2.3. Extracción de fibras celulósicas de subproductos de cacao .....	19
2.4. Extracción de los compuestos bioactivos de subproductos de cacao.....	19
2.5. Elaboración de bioplásticos.....	19
2.6. Caracterización fisicoquímica de los bioplásticos .....	20
2.7. Caracterización de la bioactividad del bioplástico.....	21
2.8. Biodegradación por <i>T. afroharzianum</i> (CP24-6).....	22
2.9. Análisis de datos .....	23
III. RESULTADOS .....	24
IV. DISCUSIÓN.....	29
V. CONCLUSIONES.....	33
VI. RECOMENDACIONES .....	34
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35
ANEXOS .....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Análisis fisicoquímico de los bioplásticos .....	24
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Transparencia de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos. .....	25
<b>Figura 2.</b> Espesor (mm) de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos. .....	26
<b>Figura 3.</b> Flexibilidad (N) de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos. ....	26
<b>Figura 4.</b> Morfología de los bioplásticos: adición de celulosa de posos gastados (A, B, C), adición de celulosa de mazorca de cacao (D, E, F). ....	27
<b>Figura 5.</b> Capacidad Antioxidante de los bioplásticos.....	27
<b>Figura 6.</b> Biodegradabilidad de los bioplásticos con el hongo <i>T. afroharzianum</i> (CP24-6). ....	28
<b>Figura 7.</b> Gelificación del almidón .....	45
<b>Figura 8.</b> Pesado del almidón gelificado.....	45
<b>Figura 9.</b> Distribución de almidón gelificado en placa.....	46
<b>Figura 10.</b> Distribución de almidón gelificado con adición de celulosa y compuestos bioactivos. ....	46
<b>Figura 11.</b> Despegado de bioplástico de placa.....	47
<b>Figura 12.</b> Bioplástico.....	47
<b>Figura 13.</b> Degradación de los bioplásticos por <i>T. afroharzianum</i> .....	48

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó diferentes porcentajes de celulosa de mazorca de cacao (MC) y posos gastados de café (PGC), junto con compuestos bioactivos de mazorca de cacao (MC) en las características fisicoquímicas de bioplásticos. Se agregaron diferentes dosis de celulosa (1, 3, 6 %) y compuestos bioactivos (0.05 y 0.15 %). Se evaluaron parámetros como color, actividad de agua (Aw), transparencia, espesor, flexibilidad, morfología, capacidad antioxidante y biodegradabilidad. Los resultados indicaron que la adición de celulosa y compuestos bioactivos influyó significativamente en diversas características. En cuanto a la diferencia de color ( $\Delta E$ ) y actividad de agua (Aw), el tratamiento control mostró el mayor valor, y la adición de celulosa y compuestos bioactivos influyó en la disminución de Aw. También se destacó la relación inversa entre la transparencia y la cantidad de celulosa, así como un aumento en el espesor con la adición de 6 % de celulosa de MC y 0.05 % de compuestos bioactivos. Además, se registró una mayor resistencia de tracción en bioplásticos con 3 % de celulosa de MC y 0.05 % de compuestos bioactivos. La capacidad antioxidante fue más notable en bioplásticos con 1 % de celulosa de PGC y 0.15 % de compuestos bioactivos. Por último, en términos de biodegradabilidad, se evidenció que a medida que se aumenta la adición de celulosa de MC y PGC, el porcentaje de degradación disminuye, en contraste con aquellos sin celulosa o compuestos bioactivos, que mostraron una tasa de degradación más acelerada, alcanzando el 98 % en 35 días. Estos hallazgos ofrecen valiosa información para el desarrollo de bioplásticos con propiedades específicas, considerando la influencia directa de la composición en aspectos clave de su rendimiento y sostenibilidad.

Palabras claves: celulosa, compuestos bioactivos, bioplásticos.

## **ABSTRACT**

In this research, different percentages of cocoa pod cellulose (CM) and spent coffee grounds (SCG) together with cocoa pod bioactive compounds (CM) were evaluated on the physicochemical characteristics of bioplastics. Different doses of cellulose (1, 3, 6 %) and bioactive compounds (0.05 and 0.15 %) were added. Parameters such as color, water activity ( $A_w$ ), transparency, thickness, flexibility, morphology, antioxidant capacity and biodegradability were evaluated. The results indicated that the addition of cellulose and bioactive compounds significantly influenced various characteristics. Regarding the difference in color ( $\Delta E$ ) and water activity ( $A_w$ ), the control treatment showed the highest value, and the addition of cellulose and bioactive compounds influenced the decrease in  $A_w$ . The inverse relationship between transparency and the amount of cellulose was also highlighted, as well as an increase in thickness with the addition of 6 % MC cellulose and 0.05 % bioactive compounds. In addition, higher tensile strength was recorded in bioplastics with 3 % MC cellulose and 0.05 % bioactive compounds. Antioxidant capacity was more remarkable in bioplastics with 1 % PGC cellulose and 0.15 % bioactive compounds. Finally, in terms of biodegradability, it was evidenced that as the addition of MC and PGC cellulose increases, the percentage of degradation decreases, in contrast to those without cellulose or bioactive compounds, which showed a more accelerated degradation rate, reaching 98 % in 35 days. These findings provide valuable information for the development of bioplastics with specific properties, considering the direct influence of composition on key aspects of their performance and sustainability.

**Key words:** cellulose, bioactive compounds, bioplastics.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los polímeros derivados del petróleo han liderado el mercado de envases para alimentos debido a su bajo costo, propiedades mecánicas y adaptabilidad al procesamiento (Kupervaser et al., 2023; Westlake et al., 2023). Sin embargo, estos afectan el medio ambiente, acumulándose en suelos, desembocaduras de agua, costas, mar e incluso se hunden en medios marinos, implicando largos periodos de tiempo para degradarse y transformándose a microplásticos (Crisafi et al., 2022; Mukrimaa et al., 2016). Generan efectos adversos en los aspectos ecológicos, biodiversidad, actividades económicas y la salud humana, siendo ingerido los microplásticos por diferentes organismos y significa una alarma medioambiental por la contaminación plástica (Leslie et al., 2017; J. Wang et al., 2018).

En respuesta a esta problemática, la conciencia ambiental ha estimulado un interés global en el desarrollo de alternativas sostenibles. La investigación se ha centrado en envases degradables y nuevos materiales que permitan reducir la dependencia de polímeros derivados del petróleo (Chiralt et al., 2020; Tapia-Blácido et al., 2020). En este contexto, las películas biodegradables para la conservación de alimentos surgen como una opción viable, ya que se degradan después de su uso, contribuyendo así a la reducción de residuos no biodegradables convencionales (Zoungran et al., 2020).

Entre estos subproductos, los desechos generados por las industrias del café y el cacao se destacan por su abundancia y composición química. Después del petróleo, el café ocupa el segundo lugar como el producto más comercializado a nivel mundial, generando residuos y subproductos durante su procesamiento (Benitez et al., 2019; Peshev et al., 2018). Los subproductos del café comprenden cáscara, piel, pulpa, mucílago de café, pergamino, cascarilla y posos gastados, que en su composición química presentan potencial para la extracción de compuestos bioactivos y fibras celulósicas (Esquivel & Jiménez, 2012; Janissen & Huynh, 2018). Además, la industria del cacao es un sector relevante para el desarrollo sostenible en todos los países en desarrollo (Kaba et al., 2021). La cáscara del cacao posee una composición química altamente favorable, que incluye principalmente celulosa, hemicelulosa, fibras, aminoácidos y ácidos grasos (Švarc-Gajić et al., 2023). Estos residuos de cacao proporcionan volúmenes significativos de biomasa lignocelulósica, que constituye un recurso verde y económico para el desarrollo de una amplia gama de bioproductos (Ramos et al., 2023).

Los bioplásticos se obtienen de recursos como los polisacáridos (celulosa, almidón, pectina, quitina), proteínas, lípidos, entre otros (Brodin et al., 2017; Gómez-Martínez et

al., 2013; López Rocha et al., 2020). El concepto de bioplástico se emplea para describir un tipo de plástico derivado de fuentes biológicas. Para ser utilizados como envases biodegradables para alimentos, la producción de bioplásticos demanda materiales que se descompongan velozmente, sin comprometer la salud humana ni el medio ambiente (Zoungnan et al., 2020).

En los avances recientes en bioplásticos, se han incorporado aditivos especiales como agentes antibacterianos, antifúngicos y antioxidantes, lo que ha proporcionado propiedades únicas y valor agregado para aplicaciones específicas en diversos sectores (Abang et al., 2023). Estos bioplásticos no solo poseen estas propiedades especiales, sino que también pueden actuar como vehículos para transportar compuestos bioactivos, lo que amplía su aplicabilidad como películas bioactivas, comestibles, compostables y biodegradables. La incorporación de compuestos bioactivos de origen vegetal en estas películas ha surgido como un campo de investigación interesante (Nogueira et al., 2020). En este contexto, el objetivo de la investigación es evaluar diferentes porcentajes de celulosa y compuestos bioactivos en las características fisicoquímicas de bioplásticos, con el fin de buscar alternativas más sostenibles en el ámbito de los envases para alimentos.

## **II. MATERIAL Y METODOS**

### **2.1. Recolección y preparación de las muestras**

Las mazorcas de cacao (MC) fueron recolectadas de los socios de la Cooperativa APROCAM provincia de Bagua y los posos gastados de café (PGC) fueron recolectados de cafeterías de la ciudad de Chachapoyas – Amazonas.

Las muestras fueron transportadas hasta el Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG), donde se llevó a cabo el proceso de limpieza y desinfección siguiendo la metodología descrita por Nuurul et al. (2020) con algunas adaptaciones. El proceso de desinfección de las mazorcas de cacao se realizó con hipoclorito al 0.4 % (p/v) por 5 min, luego, las muestras se cortaron en cubos de 3 x3 cm; estos, se sumergieron en ácido cítrico al 0.1 % (p/v) por 5 min luego se lavaron con agua destilada. El secado se llevó cabo en una estufa (Ventiicell ecoline) a 60°C por 18 h hasta tener humedad inferior a 8 %. En caso de el subproducto de café, se secó a 70°C por 12 h en estufa (Ventiicell ecoline) hasta alcanzar una humedad inferior al 8 %; luego las muestras fueron molidas en un molino tipo Willye (modelo TE-650/1), tamizadas en un tamiz N° 40 de 250 µm y almacenadas en bolsas de polietileno con cierre hermético a 25°C en una incubadora (BINDER ED) hasta su posterior análisis.

### **2.2. Extracción de celulosa de subproductos de café**

Para la extracción de celulosa se empleó 100 g de posos gastados de café. Las muestras fueron sometidas a un tratamiento alcalino con 6 % (p/v) hidróxido de potasio (KOH), siguiendo la metodología descrita por Sung et al. (2017). Para ello, la solución se hirvió a 90°C por 2 h en una plancha caliente. Finalizado este proceso, las muestras extraídas fueron lavadas minuciosamente con agua destilada hasta alcanzar pH neutro.

El proceso de blanqueamiento se realizó siguiendo la metodología descrita por Sung et al. (2017) con algunas modificaciones. Las muestras se mezclaron con una solución de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) por 1 h en agitador magnético (Heating Magnetic Stirrer-VELP CIENTIFICA) a 60°C por 2 h con la finalidad de disolver la lignina y los fenoles presentes; posteriormente, se lavaron con agua destilada hasta eliminar los restos de los agentes blanqueadores. Finalmente, se secó a temperatura ambiente durante 24 h, las muestras fueron molidas en un molinillo de granos (Bosch) y se tamizaron a 250 µm; luego, se almacenaron a 25 °C en bolsas de cierre hermético.

### **2.3. Extracción de fibras celulósicas de subproductos de cacao**

Para obtener las fibras celulósicas de cacao se trabajó con la metodología descrita por Shahira Syed Putra et al. (2018). Se utilizaron 100 g de polvo de mazorca de cacao; las muestras fueron sometidas a un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 1mol/L. Posteriormente, las muestras se hirvieron a 100°C por 3 h con agitación continua en un agitador magnético (Heating Magnetic Stirrer-VELP CIENTIFICA). Una vez finalizado este proceso, las muestras se lavaron con agua destilada hasta neutralizar el pH. Las muestras se secaron en una estufa (Ventiicell ecoline) a 50°C por 24 h, el proceso de blanqueo se realizó utilizando peróxido de hidrogeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) al 10% en una placa caliente a 70 °C durante 60 min. Luego los restos de fibras celulósicas fueron lavadas con agua destilada hasta neutralizar el pH, y se secaron por 48 h a 50°C en estufa (Ventiicell ecoline). Terminado este proceso, las muestras se molieron, tamizaron y almacenaron hasta análisis posteriores.

### **2.4. Extracción de los compuestos bioactivos de subproductos de cacao**

Para la extracción de compuestos bioactivos de los subproductos de MC se siguió la metodología descrita por Rebollo-Hernanz et al. (2021) con algunas modificaciones. Se disolvieron 20 g de muestra en 1L de agua destilada; una vez disueltas las muestras se agitaron en un agitador magnético (Heating Magnetic Stirrer-VELP CIENTIFICA) a 100°C por 90 min. Las soluciones se colocaron en tubos falcón de 50 mL de capacidad, y posteriormente se pusieron a ultra congelar a -80 °C en una ultra congeladora (Telstar. Igloo). Luego, las muestras se liofilizaron durante 120 h a una presión de 0.003 Mbar (Labconco, Free Zone, 4.5 L, - 84°C, EE. UU). Finalmente, las muestras se molieron en un molinillo de granos y se almacenaron en refrigeración hasta su análisis.

### **2.5. Elaboración de bioplásticos**

La elaboración de bioplásticos a base de subproductos de cacao y café se realizó siguiendo la metodología descrita por Borah et al. (2017) con algunas modificaciones. Se utilizó 6 g de almidón con adición de fibras celulósicas (1,3 y 6 % (p/p)), 2.5 g (p/p) de glicerina y 3.3 g de alcohol polivinílico (p/p). La solución se mezcló con 70 mL de agua destilada y se homogeneizó a 200 rpm en un agitador magnético (Heating Magnetic Stirrer-VELP CIENTIFICA) durante 30 min. La gelatinización de la solución se realizó a 130°C por 45 min con una agitación constante.

Finalizado el proceso de gelatinización, a las muestras se les añadieron compuestos bioactivos (a 70°C) en concentraciones de 0.05 y 0.15 % (p/p) por tratamiento. Luego, 13 g de cada solución se sirvieron de manera homogénea en placas Petri de 100 x 10 mm y se secaron en una estufa (Ventiicell ecoline) a 40°C por 24 h. Los bioplásticos se retiraron con la ayuda de un bisturí, luego se almacenaron en bolsas de cierre hermético a 25°C en una incubadora (BINDER ED) hasta su posterior análisis.

## 2.6. Caracterización fisicoquímica de los bioplásticos

### - Color

El color se midió utilizando un colorímetro (CM-5 Konica Minolta, Tokio, Japón). Para ello, se trabajó con patrones de L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (amarillo-azul) siguiendo la metodología descrita por Wang et al. (2019). El colorímetro se calibró con los siguientes estándares L = 82.2, a = 0.32, b = 0.3268. Se obtuvo la diferencia de color total ( $\Delta E$ ) con la ecuación 1 y el índice blanquecino (W1) con la ecuación 2.

$$\Delta E = ((L * -L)^2 + (a * -a)^2 + (b * -b)^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$W1 = 100 - ((100 - L)^2 + a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2}$$

### - Actividad de agua

Para determinar la actividad de agua presente en los bioplásticos, se utilizó la metodología descrita por More et al. (2022). Se trabajó con bioplásticos de 5 cm de largo y 5 cm de ancho, los cuales se colocaron en un medidor de actividad de agua (Rotronic-HC2-aw, Suiza) y los resultados se tomaron por triplicado.

### - Transparencia

La transparencia de los bioplásticos se midió utilizando un espectrofotómetro Eppendorf BioSpectrometer® kinetic (Alemania). Se trabajó con biopolímeros de 10 x 35 mm, y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 600 nm. Luego, se calculó la transparencia de las muestras según la ecuación 3 (Estefania et al., 2018)

$$\text{Transparencia} \quad (mm^{-1}) = \left(\frac{A_{600}}{D}\right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $A_{600}$  es la absorbancia de luz a 600 nm. D es el espesor de las muestras (mm)

- **Espesor**

El espesor de los bioplásticos se evaluó de acuerdo con la metodología descrita por Chowdhury et al. (2022). Se trabajó con bioplásticos de 30 x 30 mm de longitud, los cuales se colocaron dentro de las mordazas del micrómetro (Mitutoyo-2017), y se registró la lectura del espesor de las muestras por triplicado.

- **Prueba mecánica**

Para medir la flexibilidad de los bioplásticos, se utilizó un analizador de textura CTX (AMETEK Brookfield) equipado con un software Texture Pro 1.0.19. Se empleó una celda de carga plana de 100 kg, una sonda TA18, con una velocidad de prueba de 5 mm/s y una profundidad de 0.8 mm. La velocidad de prueba del ensayo fue de 4 mm/s y la de post prueba de 10 mm/s. La tasa de adquisición de datos se tomó en 10 puntos por segundo con una fuerza de activación de 5 g (Lillah et al., 2017).

- **Morfología**

Se obtuvieron imágenes utilizando un microscopio de fluorescencia invertida (IX83, Olympus, Tokio, Japón) con un objetivo de 40× y luz polarizada de alta resolución. Este microscopio estaba equipado con una cámara (Nikon D810, Tokio, Japón). Con el fin de realizar dicha medición, se procedió a colocar los bioplásticos sobre un portaobjetos de vidrio y se observó la distribución de celulosa y compuestos bioactivos en la matriz polimérica de los bioplásticos (Byun et al., 2014).

## **2.7. Caracterización de la bioactividad del bioplástico**

- **Preparación del extracto metanólico**

Se siguió la metodología descrita por Jonfia-Essien et al. (2008). Se trabajó con 1g de bioplástico, que fue diluido en 50 mL de agua destilada con la ayuda de un Vortex Mixer VM-300P a 1000 rpm durante 30 min. Luego, las soluciones se centrifugaron a 3000 rpm durante 40 min. Finalmente, las muestras se filtraron en papel (Whatman N° 40), y el sobrenadante se almacenó en frascos ámbar sellados herméticamente a -20°C hasta su posterior análisis.

- **Capacidad antioxidante**

La actividad antioxidante de los bioplásticos se determinó mediante el ensayo de depuración del radical libre 2,2-difenil-1-picril-hidrazilo (DPPH). Se preparó una

solución metanólica de DPPH al 0.1 mM, y se colocó 2 mL de esta solución en un tubo de ensayo, al cual se le añadió 200 µL del extracto. La mezcla se agitó y se incubó a temperatura ambiente (18°C) en condiciones de oscuridad. La absorbancia de la solución se midió con un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 517 nm. Los valores de porcentajes de inhibición se calcularon de acuerdo con la ecuación (4), donde: A<sub>0</sub> representa la absorbancia de la solución de DPPH, A<sub>S</sub> es la absorbancia del metanol, y A<sub>T</sub> es la absorbancia de la muestra (Jonfia-Essien et al., 2008; Nigam et al., 2021).

$$\% \text{ inhibition of DPPH} = \frac{(A_0 - A_S) - (A_T - A_S)}{(A_0 - A_S)} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde, A<sub>0</sub>: absorbancia de solución de DPPH, A<sub>m</sub>: absorbancia del metanol y A<sub>S</sub>: absorbancia del extracto de muestra. Los resultados se expresaron en mg equivalente Trolox/L de muestra (b.s.) para lo cual, se utilizó una curva del estándar Trolox en concentraciones de 0.025 – 0.25 mg/L mostrándose buena linealidad ( $R^2 = 0.9946$ ).

## 2.8. Biodegradación por *T. afroharzianum* (CP24-6)

La cepa utilizada en este estudio forma parte de la colección de hongos del laboratorio de Sanidad Vegetal (LABISANV) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (Leiva et al., 2020). *T. afroharzianum* (CP24-6) fue cultivado durante 7 días en un ambiente a aclimatado a 28 °C, con fotoperiodo de 12 h en placas de Petri con medio de cultivo papa dextrosa agar (PDA). Se preparó una suspensión de esporas de *T. afroharzianum* (CP24-6) a una concentración de 10<sup>7</sup> esporas/mL de acuerdo al protocolo descrito por Reyes et al. (2016).

La biodegradación por *T. afroharzianum* (CP24-6) se trabajó con la metodología de Dabrowska, et al. (2021). Para ello, los bioplásticos de 3.53 cm<sup>3</sup> de área se esterilizaron mediante irradiación UV durante 15 minutos en una cabina de flujo laminar Class//type A2 (LANCONCO) y fueron sumergidos en medio mínimo líquido estéril en matraces de 200 mL inoculados con 50 µL de suspensión de esporas. Como control, se sumergió los bioplásticos en medio mínimo líquido en ausencia *T. afroharzianum* (CP24-6). Los matraces se incubaron durante 1 mes a 28 °C, fueron agitados manualmente cada 24 horas. Los experimentos se realizaron por triplicado. Al finalizar el experimento, los bioplásticos se lavaron con etanol al 70 % y agua desionizada. La biodegradación se midió como el porcentaje de pérdida de peso de cada muestra y se calculó mediante la fórmula ecuación 5 descrita por (DSouza et al., 2021).

$$\text{Porcentaje de pérdida de peso} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

## **2.9. Análisis de datos**

A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos. Además, se utilizó la prueba de Tukey con nivel de significancia de  $p < 0.05$  para identificar las variaciones significativas entre los diferentes tratamientos.

### III. RESULTADOS

#### Color y actividad de agua (Aw)

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en los bioplásticos, los cuales incluyen diferentes proporciones de celulosa obtenida de subproductos como MC y PGC, junto con compuestos bioactivos procedentes de MC. Respecto al análisis de la diferencia de color ( $\Delta E$ ), se observó que el tratamiento control mostró el rango más alto, alcanzando  $88.4 \pm 19$ , mientras que el tratamiento de MC al 6 % y compuestos bioactivos al 0.15 % registró el menor rango alcanzado, con  $34.7 \pm 13$ . En relación al parámetro de índice de blancura (WI), se destaca que el bioplástico con un 3 % de celulosa de MC y 0.05 % de compuestos bioactivos mostró el índice de blancura más alto, con un valor de  $86.9 \pm 0.01$ , evidenciando que, a mayor adición de celulosa y compuestos bioactivos, la diferencia de color cambia.

En cuanto a la actividad de agua en los bioplásticos, se observa que a medida que se añade celulosa y compuestos bioactivos, la Aw disminuye. El tratamiento control mostró el valor más alto de Aw, alcanzando  $0.60 \pm 0.01$ , mientras que el bioplástico con un 6 % de celulosa de PGC y 0.05 % de compuestos bioactivos exhibió la actividad de agua más baja, registrando  $0.49 \pm 0.01$ .

**Tabla 1**

*Análisis fisicoquímico de los bioplásticos*

Fuente de celulosa	Dosis de adición de celulosa (%)	Dosis de adición de compuestos bioactivos (%)	Diferencia de color ( $\Delta E$ )	Índice de blancura (WI)	Aw
Posos gastados de café	1	0.05	$72.8 \pm 8^{bc}$	$85.5 \pm 0.02^c$	$0.58 \pm 0.01^{ab}$
		0.15	$76.7 \pm 13^{ab}$	$86.0 \pm 0.00^{c-e}$	$0.57 \pm 0.01^{ab}$
	3	0.05	$54.4 \pm 10^{de}$	$86.0 \pm 0.02^{de}$	$0.55 \pm 0.01^b$
		0.15	$66.8 \pm 3^{b-d}$	$86.7 \pm 0.07^{ab}$	$0.56 \pm 0.01^c$
	6	0.05	$42.7 \pm 0^{ef}$	$86.4 \pm 0.01^{a-d}$	$0.49 \pm 0.01^e$
		0.15	$43.0 \pm 0^{ef}$	$86.5 \pm 0.01^{a-c}$	$0.56 \pm 0.01^b$
Mazorca de cacao	1	0.05	$67.2 \pm 61^{b-d}$	$86.2 \pm 0.05^{b-d}$	$0.53 \pm 0.01^c$
		0.15	$62.9 \pm 55^{cd}$	$85.5 \pm 0.19^e$	$0.56 \pm 0.01^a$
	3	0.05	$48.0 \pm 42^{ef}$	$86.9 \pm 0.01^a$	$0.55 \pm 0.01^b$
		0.15	$39.2 \pm 292^f$	$86.4 \pm 0.28^{a-d}$	$0.52 \pm 0.01^d$
	6	0.05	$36.7 \pm 10^f$	$86.2 \pm 0.08^{b-d}$	$0.55 \pm 0.01^b$
		0.15	$34.7 \pm 13^f$	$86.3 \pm 0.05^{b-d}$	$0.57 \pm 0.01^{ab}$
Control	0	0	$88.4 \pm 19^a$	$85.9 \pm 0.02^{de}$	$0.60 \pm 0.01^a$

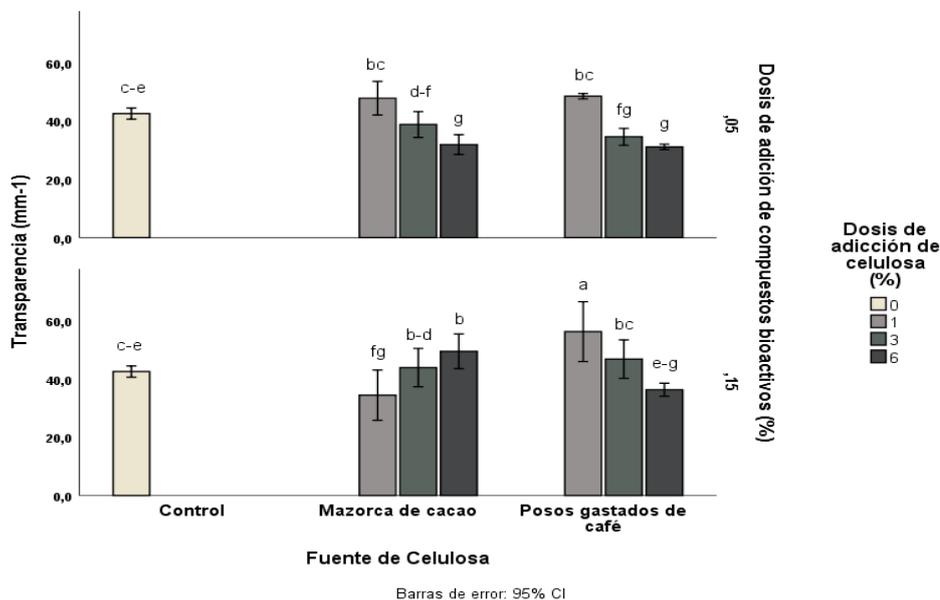
*Nota.* Valores expresados como promedio  $\pm$  desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Transparencia

En la Figura 1 se muestran los niveles de transparencia en los bioplásticos analizados. Se destaca que aquellos bioplásticos con una mayor transparencia se caracterizan por contener 1 % de celulosa proveniente de PGC y un 0.15 % de compuestos bioactivos, alcanzando un índice de transparencia del 56.28 %. En contraste, los tratamientos que presentan una menor transparencia, con valores que varían entre el 31.92 y el 36.33 %, son los bioplásticos que incorporan un 6 % de celulosa de MC y un 6 % de PGC, junto con 0.05 % de compuestos bioactivos.

### Figura 1

*Transparencia de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos.*



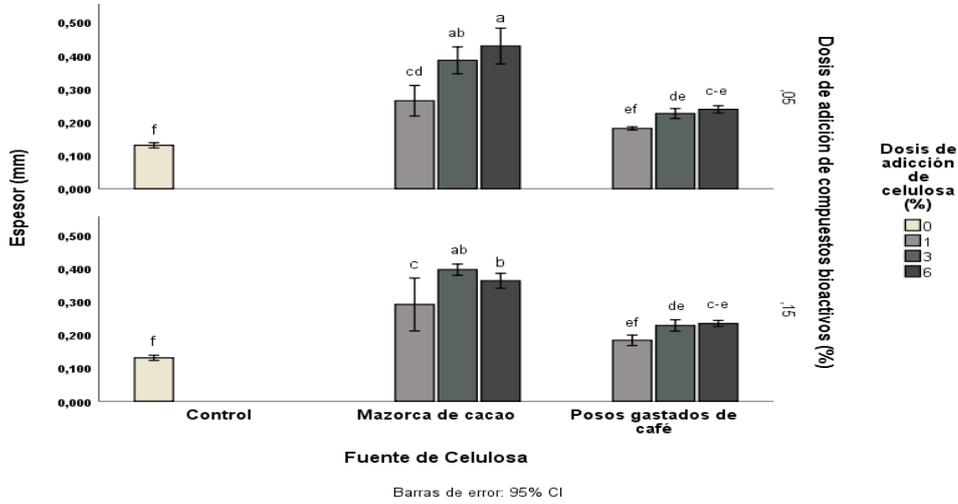
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Espesor

En la Figura 2 se presentan los resultados del espesor obtenidos de los bioplásticos elaborados con la incorporación de celulosa y compuestos bioactivos. Se observa una diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Se destacó que los bioplásticos que incorporaron un 6 % de celulosa de MC y un 0.05 % de compuestos bioactivos mostraron un espesor significativamente mayor ( $p < 0.05$ ), alcanzando los 0.428 mm, en contraste con el tratamiento de control que no contenía celulosa y compuestos bioactivos, el cual registró un espesor de 0.130 mm. Estos resultados evidencian una relación directa entre la adición de celulosa y el incremento en el espesor de los bioplásticos.

## Figura 2

*Espesor (mm) de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos.*



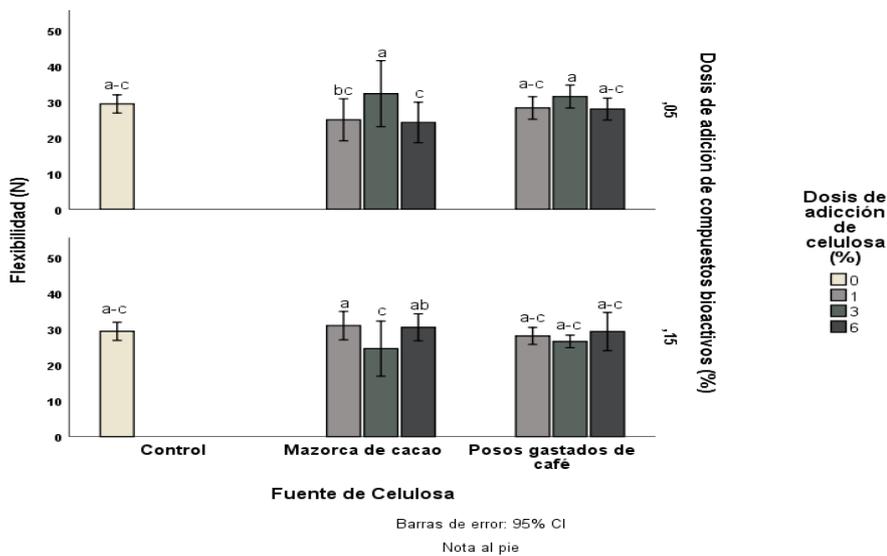
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Flexibilidad

En la figura 3 se observa el análisis de varianza de los datos, el cual se pudo establecer una varianza significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Donde se observa que los bioplásticos con 3 % de celulosa de MC con adicción de 0.05 % de compuestos bioactivos presentaron mayor resistencia de tracción con  $32.24 \pm 0.83$  N.

## Figura 3

*Flexibilidad (N) de bioplásticos con adición de celulosa y compuestos bioactivos.*



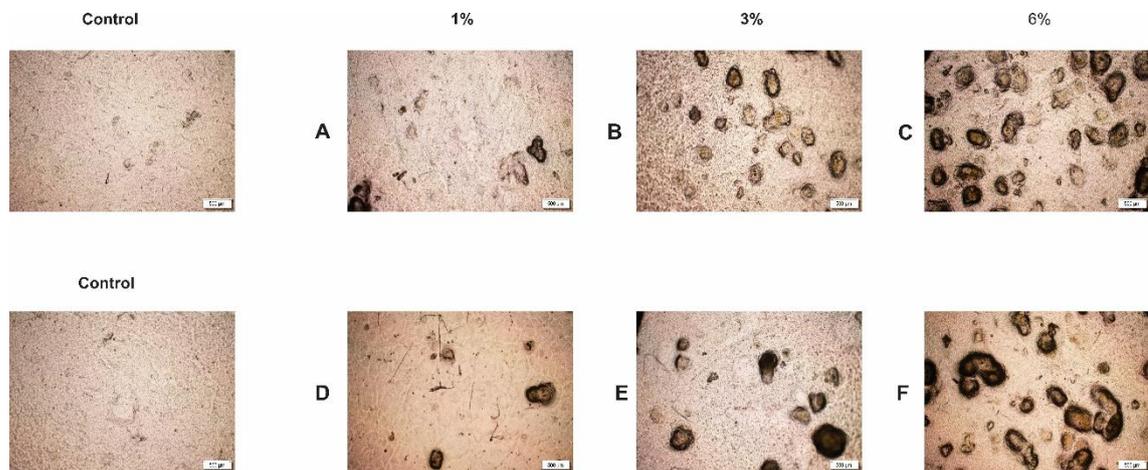
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

## Morfología

La Figura 4 muestra la distribución de las partículas de celulosa de MC y PGC en concentraciones de 1, 3 y 6 % en los bioplásticos. Se observan cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en la distribución de las partículas y los compuestos dentro de los bioplásticos. Hay una tendencia a la formación de agregados de partículas de celulosa en áreas específicas de la matriz polimérica. A medida que se aumenta la cantidad de celulosa añadida, se observa un incremento en el número de partículas presentes en la matriz polimérica.

### Figura 4

*Morfología de los bioplásticos: adición de celulosa de posos gastados (A, B, C), adición de celulosa de mazorca de cacao (D, E, F).*

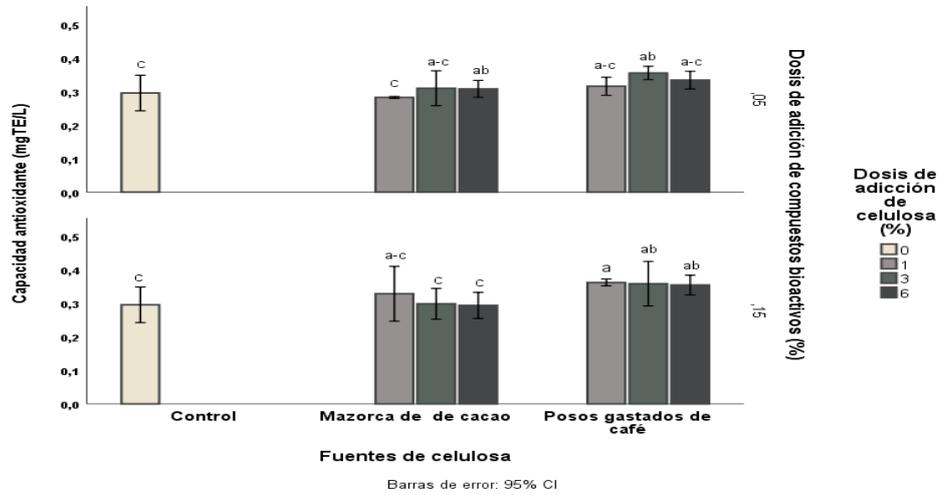


## Capacidad antioxidante

En la figura 5 se presenta la capacidad antioxidante de los bioplásticos, donde se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ). La mayor capacidad antioxidante se encontró en los bioplásticos con 1 % de celulosa de PGC y 0,15 % de compuestos bioactivos de MC. Evidentemente, se nota un efecto directo sobre el contenido de compuestos antioxidantes debido a la adición de compuestos bioactivos en concentraciones de 0,05 % y 0,15 %. La incorporación de estos compuestos bioactivos aumenta la capacidad antioxidante en las formulaciones en comparación con el control.

**Figura 5**

*Capacidad Antioxidante de los bioplásticos*



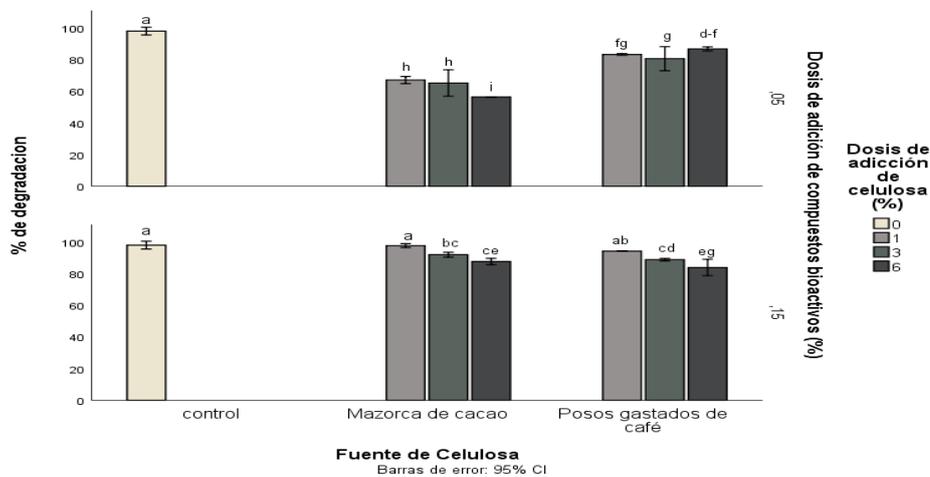
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

**Biodegradación con *T. afroharzianum* (CP24-6)**

En la Figura 6, se presenta la degradación de bioplásticos que contienen celulosa de MC y PGC con compuestos bioactivos de MC, demostrando la influencia del hongo *T. afroharzianum* (CP24-6) en la degradación. Se observa que a medida que aumenta la adición de celulosa de MC y PGC, el porcentaje de degradación es menor. Esto contrasta con aquellos sin contenido en celulosa o compuestos bioactivos, que muestran una tasa de degradación más acelerada, alcanzando el 98 % de degradación total en un periodo de 35 días.

**Figura 6**

*Biodegradabilidad de los bioplásticos con *T. afroharzianum* (CP24-6).*



Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ( $p < 0.05$ ).

#### IV. DISCUSIÓN

La diferencia de color total ( $\Delta E$ ) señala la separación entre dos tonalidades en el espacio cromático, y su influencia se percibe en los parámetros L, a y b (Rao et al., 2010). Se ha evidenciado que la presencia de porcentaje de celulosa de MC, PGC y de compuestos bioactivos de MC modifica los valores de  $\Delta E$  debido a alteraciones en los parámetros L, a y b de los bioplásticos. Se observó una disminución en los valores de  $\Delta E$  a medida que aumentaban los porcentajes de celulosa y compuestos bioactivos, alcanzando el menor valor de  $34.7 \pm 13$ . Esta reducción en la disparidad total de diferencia de color ( $\Delta E$ ) está relacionada con el color inherente de las materias primas empleadas en la producción de los bioplásticos (Veiga-Santos et al., 2005), así como la presencia de compuestos pigmentados, tales como ácidos fenólicos, antocianinas, quercetinas, y otros elementos (L. G. Santos & Martins, 2024), que se encuentran en la celulosa y en los compuestos bioactivos.

El índice de blancura (WI) dependen principalmente de la compleja matriz polimérica y la estructura de los bioplásticos (Thivya et al., 2021). Hubo diferencias significativas en los valores de WI ( $p < 0,05$ ) se destaca que el bioplástico con un 3 % de celulosa de MC y un 0.05 % de compuestos bioactivos mostró el índice de blancura más alto, con un valor de  $86.9 \pm 0.01$ , evidenciando que, a mayor adición de celulosa y compuestos bioactivos, la diferencia de color cambia. Otras investigaciones han demostrado tendencias similares en el índice de blancura al incorporar extractos en películas. Rambabu et al. (2019) utilizaron el extracto de hoja de mango en películas de quitosano, también Ramakrishnan et al. (2023) agregaron el extracto de semilla de pomelo a películas. Ambas investigaciones reportaron una disminución notable en el índice de blancura (WI) de las películas.

La medición de la actividad del agua ( $A_w$ ) es esencial, ya que proporciona información sobre la cantidad de agua que se encuentra libre en el sustrato, lo que indica su disponibilidad para favorecer el crecimiento de microorganismos (Biswas et al., 2023), así como las velocidades de reacciones químicas y bioquímicas, además de las propiedades físicas (Fontana, 2000). Los tratamientos tienen diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la medición de  $A_w$ , indicando que a medida que se incrementa el porcentaje de dosis de adición de celulosa y compuestos bioactivos, la actividad de agua disminuye significativamente de 0.60 a 0.49 %. Estos valores se encuentran por debajo de los rangos que el crecimiento bacteriano requiere  $A_w > 0.91$ , para levaduras  $A_w > 0.88$  y para mohos  $A_w > 0.70$  (Barbosa-Cánovas et al., 2008). Por lo tanto estos bioplásticos pueden ser

utilizados como envases para frutas y cereales, ya que presentan una actividad de agua adecuada.

El espesor de los bioplásticos es un parámetro importante para evaluar la resistencia del polímero (Sachdeva et al., 2017) este parámetro tiene un efecto directo en características de transparencia, flexibilidad, y degradación. Los bioplásticos que incorporaron un 6 % de celulosa de MC y un 0.05 % de compuestos bioactivos mostraron un espesor significativamente mayor ( $p < 0.05$ ), alcanzando los 0.428 mm, en contraste con el tratamiento control que no contenía celulosa, el cual registró un espesor de 0.130 mm. Estos resultados evidencian una relación directa entre la adición de celulosa y el incremento en el espesor de los bioplásticos. Frangopoulos et al. (2023) demostraron que la adición de montmorillonita aumentó el espesor de películas en un rango del 1 al 20 % en peso, pasando de 0.17 a 0.26 mm. También, Reddy & Rhim. (2014) encontraron un fenómeno similar al incorporar nanosilicatos en películas de almidón. En conjunto, estas investigaciones destacan la tendencia observada en el aumento del espesor de los bioplásticos cuando se agregan diversos materiales a la matriz polimérica.

La transparencia de los recubrimientos y materiales de embalaje son propiedades cruciales que influyen en la aceptación del consumidor, ya que indica el grado en que la luz puede pasar a través de un material (Saberri et al., 2016; Wardak et al., 2021). En esta investigación se encontró que aquellos con mayor transparencia contenían 1 % de celulosa de PGC y 0.15 % de compuestos bioactivos, logrando un índice de transparencia del 56.28 %. En contraste, los bioplásticos con menor transparencia incorporaban 6 % de celulosa de MC y 6 % de PGC, junto con 0.05 % de compuestos bioactivos, con índices entre el 31.92 y el 36.33 %. En un estudio realizado por Wardak et al. (2021), se observaron patrones parecidos, incrementaron la concentración de nanofibras de celulosa, la transparencia de la película disminuyó y se generó opacidad.

En la figura 3, se observa el análisis de varianza de los datos. Se pudo establecer una varianza significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ). Donde se observa que las películas con 3 % de celulosa de MC con adición de 0.15 % de compuestos bioactivos, presentaron mayor resistencia de tracción con 32.24 N. Aunque las estructuras celulósicas pueden mejorar la resistencia a la tracción de la película resultante, también reducen la flexibilidad de las cadenas poliméricas y la extensibilidad de las películas (Kampangkaew et al., 2014). Otras investigaciones reportaron tendencias similares en los valores de alargamiento a la rotura, evidenciando que las películas con nanopartículas de celulosa presentaron un rango de resistencia que varió desde 9.10 hasta 18.40 N (Santana et al.,

2019). La variación de resistencia de tracción en los bioplásticos elaborados en esta investigación se debe a la dispersión y agregación del exceso de celulosa y compuestos bioactivos en la matriz polimérica, casos similares se reportaron en la investigación de Ramakrishnan et al. (2023) donde los valores de resistencia a la tracción de las películas inicialmente mostraron una tendencia ascendente después de la adición de polifenol de manzana (AP), lo que se atribuyó al resultado de la interacción entre AP y los componentes de la matriz y la formación de una estructura de red más densa (Lin et al., 2022). Esto sugiere que cantidades moderadas de adición de celulosa y compuestos bioactivos contribuyen a la consolidación y fortalecimiento de la red de los polímeros. Las imágenes microscópicas son cruciales en la ciencia de los materiales para comprender la correlación entre estructuras y propiedades (Benzouid et al., 2023). La figura 4 muestra la distribución de las partículas de celulosa de MC y PGC en concentraciones de 1, 3 y 6 % en los bioplásticos. Se observan cambios significativos en la distribución de las partículas y los compuestos dentro de los biopolímeros. Hay una tendencia a la formación de agregados de partículas de celulosa en áreas específicas de la matriz polimérica. A medida que se aumenta la cantidad de celulosa añadida, se observa un incremento en el número de partículas presentes. Los bioplásticos sin adición de celulosa y compuestos bioactivos exhiben una superficie lisa sin grietas ni huecos, este fenómeno podría atribuirse a la acción del plastificante, el cual rompe los enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares dentro de las matrices de almidón. Esta ruptura de enlaces no da lugar a agregaciones de gránulos, contribuyendo así a la formación de una estructura lisa en la superficie del material (Deshmukh et al., 2021).

En los avances recientes en bioplásticos, se han incorporado aditivos especiales como antioxidantes, lo que ha proporcionado propiedades como capacidad antibacteriana y antifúngica, brindándoles así un valor agregado (Abang et al., 2023). En esta investigación, se observó una mayor capacidad antioxidante en los bioplásticos con 1 % de celulosa de PGC y 0,15 % de compuestos bioactivos. Evidentemente, se nota un efecto directo sobre el contenido de compuestos antioxidantes debido a la adición de compuestos bioactivos de MC en concentraciones de 0,05 % y 0,15 %. La incorporación de estos compuestos bioactivos aumenta la capacidad antioxidante en las formulaciones en comparación con el control. Es importante resaltar que la mazorca de cacao contiene moléculas antioxidantes como epicatequina e isoquercetina (Delgado-Ospina et al., 2021), las cuales tienen potencial tanto para mejorar los bioplásticos convencionales como para contribuir al desarrollo de nuevos bioplásticos innovadores. La Figura 5 también ilustra variaciones en la capacidad antioxidante en los bioplásticos elaborados,

posiblemente atribuibles a la dilución del extracto, ya que la película actúa como una matriz compleja y el almidón presenta un alto peso molecular. Por lo tanto, cuando estos compuestos interactúan y se combinan para formar complejos, la eficacia y la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos pueden disminuir (L. F. dos Santos et al., 2023).

Para las industrias de embalaje basadas en plásticos, la biodegradabilidad es una preocupación importante (Bangar & Whiteside, 2021). Por lo general, la descomposición de los bioplásticos ocurre a través de bacterias y hongos, que son los microorganismos más comunes en todos los ecosistemas (Sankhla et al., 2020). En la Figura 6, se presenta la degradación de bioplásticos que contienen celulosa de MC y PGC con compuestos bioactivos de MC, demostrando la influencia del hongo *T. afroharzianum* (CP24-6) en la degradación. La bioactividad eficaz proporcionada en el bioplástico puede reducir la descomposición por hongos e inhibir el crecimiento microbiano (Costa et al., 2023). Esto contrasta con aquellos sin contenido en celulosa o compuestos bioactivos, que muestran una tasa de degradación más acelerada, alcanzando el 98 % de degradación total en un periodo de 35 días. Urbanek et al. (2017) determinaron de la degradación de películas bioplásticas por hongos para confirmar la capacidad de la cepa para la degradación de películas biodegradables donde la cepa *Trichoderma* sp mostró una capacidad para degradar bioplásticos a 28°C descompuso las películas de almidón en un 12,07 %. James et al. (2018) descubrieron que *Trichoderma* sp. es capaz de degradar plásticos y puede romper películas de polietileno de baja densidad (LDPE), creando hoyos en la superficie en las películas. Además, Malachová et al. (2020) descubrieron que *Trichoderma hamatum* tiene la capacidad de descomponer ciertos tipos de plásticos, como el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), el LDPE, el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo (PVC).

Las películas se califican como biodegradables si se descomponen en un lapso de 6 meses (da Silva Filipini et al., 2020). Por lo tanto, los bioplásticos desarrollados en esta investigación pueden considerarse materiales biodegradables, ya que se degradaron en este intervalo de tiempo.

## V. CONCLUSIONES

La investigación demuestra que la adición de celulosa de fuentes, como MC y PGC, junto con compuestos bioactivos de MC, tiene un impacto significativo en las diferentes propiedades de los bioplásticos evaluados. La adición de celulosa y compuestos bioactivos incide en la reducción de diferencia de color total ( $\Delta E$ ), el índice de blancura (WI) y la actividad de agua ( $A_w$ ).

Por otro lado, el espesor de los bioplásticos aumenta con la adición de celulosa y compuestos bioactivos, lo que afecta la transparencia.

La resistencia a la tracción varía según la cantidad de celulosa y compuestos bioactivos, revelando una relación compleja entre resistencia y flexibilidad.

Además, la capacidad antioxidante muestra un incremento con la adición de compuestos bioactivos.

La biodegradabilidad de los bioplásticos por el hongo *T. afroharzianum* (CP24-6) se ve influenciada por la presencia de celulosa y compuestos bioactivos, exhibiendo una degradación más lenta en comparación con los bioplásticos sin estos aditivos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones en bioplásticos, se sugiere explorar una variedad más amplia de subproductos agroindustriales y considerar el uso de diferentes dosis de compuestos bioactivos. Asimismo, sería beneficioso profundizar en la evaluación de la viabilidad económica y la escalabilidad de la producción de estos bioplásticos, además de identificar posibles aplicaciones específicas en la industria alimentaria.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abang, S., Wong, F., Sarbatly, R., Sariau, J., Bains, R., & Besar, N. A. (2023). Bioplastic classifications and innovations in antibacterial, antifungal, and antioxidant applications. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. <https://doi.org/10.1016/J.JOBAB.2023.06.005>
- Bangar, S. P., & Whiteside, W. S. (2021). Nano-cellulose reinforced starch bio composite films- A review on green composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, 849–860. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.07.017>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (2008). Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, 1–435. <https://doi.org/10.1002/9780470376454>
- Benitez, V., Rebollo-Hernanz, M., Hernanz, S., Chantres, S., Aguilera, Y., & Martin-Cabrejas, M. A. (2019). Coffee parchment as a new dietary fiber ingredient: Functional and physiological characterization. *Food Research International*, 122(December 2018), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.002>
- Benzouid, H., Boudebane, S., Ferkous, H., Lekoui, F., Nayan, N. Bin, Delimi, A., Alreshidi, M. A., Arshad, M., Yadav, K. K., Ernst, B., Elboughdiri, N., & Benguerba, Y. (2023). Examining the microstructure, morphological features, and wetting characteristics of Ti/TiN/TiAlN thin films produced through RF/DC magnetron co-sputtering. *Materials Today Communications*, 37, 107405. <https://doi.org/10.1016/J.MTCOMM.2023.107405>
- Biswas, A., Ahmed, T., Rana, M. R., Hoque, M. M., Ahmed, M. F., Sharma, M., Sridhar, K., Ara, R., & Stephen Inbaraj, B. (2023). Fabrication and Characterization of ZnO Nanoparticles-Based Biocomposite Films Prepared Using Carboxymethyl Cellulose, Taro Mucilage, and Black Cumin Seed Oil for Evaluation of Antioxidant and Antimicrobial Activities. *Agronomy 2023, Vol. 13, Page 147, 13(1)*, 147. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY13010147>
- Borah, P. P., Das, P., & Badwaik, L. S. (2017). Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development. *Ultrasonics Sonochemistry*, 36, 11–19. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2016.11.010>

- Brodin, M., Vallejos, M., Opedal, M. T., Area, M. C., & Chinga-Carrasco, G. (2017). Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 646–664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.209>
- Byun, Y., Zhang, Y., & Geng, X. (2014). Plasticization and Polymer Morphology. *Innovations in Food Packaging: Second Edition*, 87–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00005-9>
- Chiralt, A., Menzel, C., Hernandez-García, E., Collazo, S., & Gonzalez-Martinez, C. (2020). Use of by-products in edible coatings and biodegradable packaging materials for food preservation. *Sustainability of the Food System: Sovereignty, Waste, and Nutrients Bioavailability*, 101–127. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818293-2.00006-9>
- Chowdhury, M., Hossain, N., Noman, T. I., Hasan, A., Shafiul, A., & Mohammad Abul, K. (2022). Biodegradable, physical and microbial analysis of tamarind seed starch infused eco-friendly bioplastics by different percentage of Arjuna powder. *Results in Engineering*, *13*, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100387>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology*, *47*(12), 6646–6655. <https://doi.org/10.1021/es400663f>
- Costa, B. P., Carpiné, D., Ikeda, M., Pazzini, I. A. E., da Silva Bampirra Alves, F. E., de Melo, A. M., & Ribani, R. H. (2023). Bioactive coatings from non-conventional loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging. *Progress in Organic Coatings*, *175*, 107320. <https://doi.org/10.1016/J.PORGCOAT.2022.107320>
- Crisafi, F., Valentino, F., Micolucci, F., & Denaro, R. (2022). From Organic Wastes and Hydrocarbons Pollutants to Polyhydroxyalkanoates: Bioconversion by Terrestrial and Marine Bacteria. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(14), 1–29. <https://doi.org/10.3390/su14148241>
- da Silva Filipini, G., Romani, V. P., & Guimarães Martins, V. (2020). Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*)

- skins extract for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 109, 106139. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106139>
- Dabrowska, G. B., Garstecka, Z., Olewnik-Kruszkowska, E., Szczepańska, G., Ostrowski, M., & Mierek-Adamska, A. (2021). Comparative study of structural changes of polylactide and poly(Ethylene terephthalate) in the presence of *trichoderma viride*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3491. <https://doi.org/10.3390/ijms22073491>
- Delgado-Ospina, J., Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. Á., Martuscelli, M., & Chaves-López, C. (2021). Bioactive compounds and techno-functional properties of high-fiber co-products of the cacao agro-industrial chain. *Heliyon*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06799>
- Deshmukh, A. R., Aloui, H., Khomlaem, C., Negi, A., Yun, J. H., Kim, H. S., & Kim, B. S. (2021). Biodegradable films based on chitosan and defatted *Chlorella* biomass: Functional and physical characterization. *Food Chemistry*, 337, 127777. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127777>
- dos Santos, L. F., Biduski, B., Lopes, S. T., Bertolin, T. E., & dos Santos, L. R. (2023). Brazilian native fruit pomace as a source of bioactive compounds on starch-based films: Antimicrobial activities and food simulator release. *International Journal of Biological Macromolecules*, 242, 124900. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124900>
- DSouza, G. C., Sheriff, R. S., Ullanat, V., Shrikrishna, A., Joshi, A. V., Hiremath, L., & Entoori, K. (2021). Fungal biodegradation of low-density polyethylene using consortium of *Aspergillus* species under controlled conditions. *Heliyon*, 7(5), e07008. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07008>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Estefania, J., Castro Escuela, C., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2018). *Propiedades antioxidantes de una película comestible de agar y gelatina aditivada con compuestos fenólicos de salvado de sorgo café*. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6227>

- Fontana, A. J. (2000). *Understanding the Importance of Water Activity in Food*.
- Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Goulas, A., Likotrafiti, E., Rhoades, J., Petridis, D., Kannidou, E., Stamelos, A., Theodoridou, M., Arampatzidou, A., Tosounidou, A., Tsekmes, L., Tsihlakis, K., Gkikas, G., Tourasanidis, E., & Karageorgiou, V. (2023). Optimizing the Functional Properties of Starch-Based Biodegradable Films. *Foods* 2023, Vol. 12, Page 2812, 12(14), 2812. <https://doi.org/10.3390/FOODS12142812>
- Gómez-Martínez, D., Partal, P., Martínez, I., & Gallegos, C. (2013). Gluten-based bioplastics with modified controlled-release and hydrophilic properties. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 704–710. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.007>
- Jafarzadeh, S., Jafari, S. M., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Uthaya Kumar, U. S., & Khalil, H. P. S. A. (2020). Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 100(February), 262–277. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.017>
- James, P., Bryson, F. J., Weiss, B. P., Lima, E. A., Hikmah, M., Setyaningsih, R., & Pangastuti, A. (2018). The Potential of Lignolytic Trichoderma Isolates in LDPE (Low Density Polyethylene) Plastic Biodegradation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 333(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/333/1/012076>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128(October 2017), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Jonfia-Essien, W. A., West, G., Alderson, P. G., & Tucker, G. (2008). Phenolic content and antioxidant capacity of hybrid variety cocoa beans. *Food Chemistry*, 108(3), 1155–1159. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.12.001>
- Kaba, J. S., Yamoah, F. A., & Acquaye, A. (2021). Towards sustainable agroforestry management: Harnessing the nutritional soil value through cocoa mix waste. *Waste Management*, 124, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.021>

- Kampangkaew, S., Thongpin, C., & Santawtee, O. (2014). The synthesis of cellulose nanofibers from *Sesbania Javanica* for filler in thermoplastic starch. *Energy Procedia*, 56(C), 318–325. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2014.07.163>
- Kupervaser, M. G., Traffano-Schiffo, M. V., Dellamea, M. L., Flores, S. K., & Sosa, C. A. (2023). Trends in starch-based edible films and coatings enriched with tropical fruits extracts: a review. *Food Hydrocolloids for Health*, 4(September 2022), 100138. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100138>
- Leiva, S., Oliva, M., Hernández, E., Chuquibala, B., Rubio, K., García, F., & de la Cruz, M. T. (2020). Assessment of the potential of trichoderma spp. strains native to bagua (Amazonas, Peru) in the biocontrol of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*). *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091376>
- Leslie, H. A., Brandsma, S. H., van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018>
- Lillah, Asghar, A., Pasha, I., Murtaza, G., & Ali, M. (2017). Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *LWT*, 80, 531–536. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.02.042>
- Lin, L., Peng, S., Shi, C., Li, C., Hua, Z., & Cui, H. (2022). Preparation and characterization of cassava starch/sodium carboxymethyl cellulose edible film incorporating apple polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 212, 155–164. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2022.05.121>
- López Rocha, C. J., Álvarez-Castillo, E., Estrada Yáñez, M. R., Bengoechea, C., Guerrero, A., & Orta Ledesma, M. T. (2020). Development of bioplastics from a microalgae consortium from wastewater. *Journal of Environmental Management*, 263(February). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110353>
- Malachová, K., Novotný, Č., Adamus, G., Lotti, N., Rybková, Z., Soccio, M., Šlosarčíková, P., Verney, V., & Fava, F. (2020). Ability of *Trichoderma hamatum* Isolated from Plastics-Polluted Environments to Attack Petroleum-Based, Synthetic

- Polymer Films. *Processes* 2020, Vol. 8, Page 467, 8(4), 467.  
<https://doi.org/10.3390/PR8040467>
- More, P. R., Pegu, K., & Arya, S. S. (2022). Development and characterization of taro starch-casein composite bioactive films functionalized by micellar pomegranate peel extract (MPPE). *International Journal of Biological Macromolecules*, 220, 1060–1071. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.147>
- Mukrimaa, S. S., Nurdyansyah, Fahyuni, E. F., YULIA CITRA, A., Schulz, N. D., غسان, د., Taniredja, T., Faridli, E. Miftah., & Harmianto, S. (2016). Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6, Issue August). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3414-6>
- Nigam, S., Das, A. K., & Patidar, M. K. (2021). Synthesis, characterization and biodegradation of bioplastic films produced from Parthenium hysterophorus by incorporating a plasticizer (PEG600). *Environmental Challenges*, 5, 100280. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100280>
- Nuurul, S., Azmin, H. M., Aliah, N., Hayat, M., Shukri, M., & Nor, M. (2020). Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5, 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003>
- Ordoñez, R., Atarés, L., & Chiralt, A. (2022). Biodegradable active materials containing phenolic acids for food packaging applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 3910–3930. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13011>
- Peshev, D., Mitev, D., Peeva, L., & Peev, G. (2018). Valorization of spent coffee grounds – A new approach. *Separation and Purification Technology*, 192(October 2017), 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.021>
- Ramakrishnan, R., Kulandhaivelu, S. V., & Roy, S. (2023). Alginate/carboxymethyl cellulose/starch-based active coating with grapefruit seed extract to extend the shelf life of green chilli. *Industrial Crops and Products*, 199, 116752. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.116752>

- Rambabu, K., Bharath, G., Banat, F., Show, P. L., & Cocolletzi, H. H. (2019). Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, *126*, 1234–1243. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.12.196>
- Rao, M. S., Kanatt, S. R., Chawla, S. P., & Sharma, A. (2010). Chitosan and guar gum composite films: Preparation, physical, mechanical and antimicrobial properties. *Carbohydrate Polymers*, *82*(4), 1243–1247. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2010.06.058>
- Rebollo-Hernanz, M., Cañas, S., Taladrid, D., Benítez, V., Bartolomé, B., Aguilera, Y., & Martín-Cabrejas, M. A. (2021). Revalorization of coffee husk: Modeling and optimizing the green sustainable extraction of phenolic compounds. *Foods*, *10*(3). <https://doi.org/10.3390/FOODS10030653>
- Reddy, J. P., & Rhim, J. W. (2014). Characterization of bionanocomposite films prepared with agar and paper-mulberry pulp nanocellulose. *Carbohydrate Polymers*, *110*, 480–488. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.04.056>
- Reyes, O., Ortiz, C., De La Cruz, M., Lagunes, L., & Valdovinos, G. (2016). Especies de trichoderma del agroecosistema cacao con potencial de biocontrol sobre moniliophthora roreri. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, *22*(2), 149–163. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.08.036>
- Rhein, S., & Schmid, M. (2020). Consumers' awareness of plastic packaging: More than just environmental concerns. *Resources, Conservation and Recycling*, *162*(December 2019), 105063. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105063>
- Saberi, B., Thakur, R., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J. B., Scarlett, C. J., & Stathopoulos, C. E. (2016). Optimization of physical and optical properties of biodegradable edible films based on pea starch and guar gum. *Industrial Crops and Products*, *86*, 342–352. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.04.015>
- Sachdeva, A., Vashist, S., Chopra, R., & Puri, D. (2017). *Actividad antimicrobiana de la película de envasado activa para evitar el deterioro del pan.*
- Sankhla, I. S., Sharma, G., & Tak, A. (2020). Fungal degradation of bioplastics: An overview. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering: Recent Advances in Application of Fungi and Fungal Metabolites:*

*Environmental and Industrial Aspects*, 35–47. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821007-9.00004-8>

- Santana, J. S., de Carvalho Costa, K., Rodrigues, P. R., Correia, P. R. C., Cruz, R. S., & Druzian, J. I. (2019). Morphological, barrier, and mechanical properties of cassava starch films reinforced with cellulose and starch nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(4), 47001. <https://doi.org/10.1002/APP.47001>
- Santos, L. G., & Martins, V. G. (2024). Multifunctional alginate films blended with polyphenol-rich extract from unconventional edible sources: Bioactive properties, UV-light protection, and food freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 130001. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.130001>
- Shahira Syed Putra, S., Jimat, D. N., Mohd Fazli, W., Sulaiman, S., Jamal, P., & Ahmad Nor, Y. (2018). Surface functionalisation of microfibrillated cellulose (MFC) of cocoa pod husk with Y-Methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS). *Materials Today: Proceedings*, 5(10), 22000–22009. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2018.07.061>
- Sung, S. H., Chang, Y., & Han, J. (2017). Development of polylactic acid nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals derived from coffee silverskin. *Carbohydrate Polymers*, 169, 495–503. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.04.037>
- Tapia-Blácido, D. R., da Silva Ferreira, M. E., Aguilar, G. J., & Lemos Costa, D. J. (2020). Biodegradable packaging antimicrobial activity. In *Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00009-5>
- Thivya, P., Bhosale, Y. K., Anandakumar, S., Hema, V., & Sinija, V. R. (2021). Exploring the Effective Utilization of Shallot Stalk Waste and Tamarind Seed for Packaging Film Preparation. *Waste and Biomass Valorization*, 12(10), 5779–5794. <https://doi.org/10.1007/S12649-021-01402-4/METRICS>
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

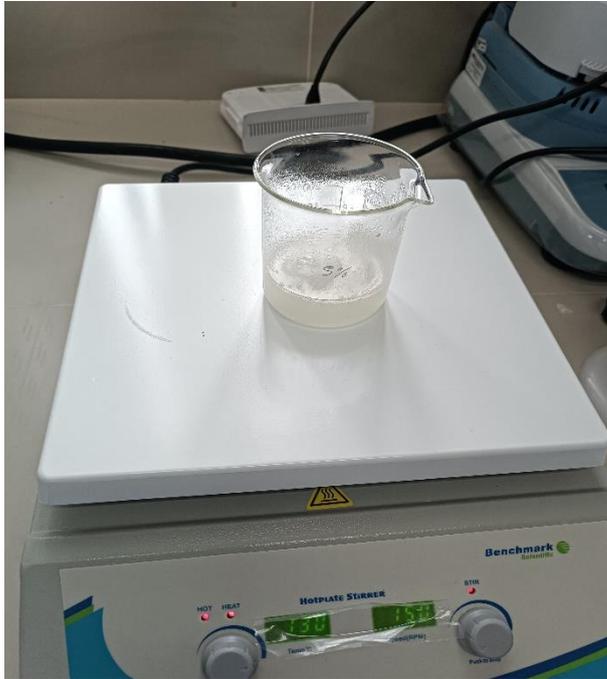
- Urbanek, A. K., Rymowicz, W., Strzelecki, M. C., Kociuba, W., Franczak, Ł., & Mirończuk, A. M. (2017). Isolation and characterization of Arctic microorganisms decomposing bioplastics. *AMB Express*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S13568-017-0448-4/TABLES/3>
- Van Soest, J. J. G., Hulleman, S. H. D., De Wit, D., & Vliegthart, J. F. G. (1996). Crystallinity in starch bioplastics. *Industrial Crops and Products*, 5(1), 11–22. [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(95\)00048-8](https://doi.org/10.1016/0926-6690(95)00048-8)
- Veiga-Santos, P., Suzuki, C. K., Cereda, M. P., & Scamparini, A. R. P. (2005). Microstructure and color of starch–gum films: Effect of gum deacetylation and additives. Part 2. *Food Hydrocolloids*, 19(6), 1064–1073. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2005.02.007>
- Wang, J., Zheng, L., & Li, J. (2018). A critical review on the sources and instruments of marine microplastics and prospects on the relevant management in China. *Waste Management and Research*, 36(10), 898–911. <https://doi.org/10.1177/0734242X18793504>
- Wang, X., Yong, H., Gao, L., Li, L., Jin, M., & Liu, J. (2019). Preparation and characterization of antioxidant and pH-sensitive films based on chitosan and black soybean seed coat extract. *Food Hydrocolloids*, 89, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.019>
- Wardak, M. H., Kingwascharapong, P., Aryan, S., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2021). Preparation and characterization of corn starch-based film: effect of citric acid or sunflower oil and its combination. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1907–1915. <https://doi.org/10.1007/S11694-020-00786-6/METRICS>
- Westlake, J. R., Tran, M. W., Jiang, Y., Zhang, X., Burrows, A. D., & Xie, M. (2023). Biodegradable biopolymers for active packaging: demand, development and directions. *Sustainable Food Technology*, 1(1), 50–72. <https://doi.org/10.1039/d2fb00004k>
- Zhao, X., Cornish, K., & Vodovotz, Y. (2020). Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update. *Environmental Science & Technology*, 54(8), 4712–4732. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03755>

Zoungranan, Y., Lynda, E., Dobi-Brice, K. K., Tchirioua, E., Bakary, C., & Yannick, D. D. (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396>

## ANEXOS

### Figura 7

*Gelificación del almidón*



### Figura 8

*Pesado del almidón gelificado*



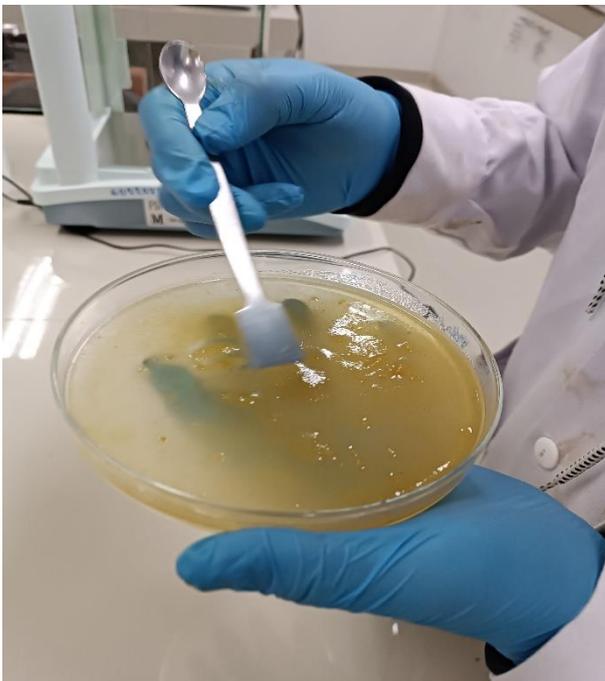
**Figura 9**

*Distribución de almidón gelificado en placa*



**Figura 10**

*Distribución de almidón gelificado con adición de celulosa y compuestos bioactivos.*



**Figura 11**

*Despegado de bioplástico de placa*



**Figura 12**

*Bioplástico*



**Figura 13**

*Degradación de los bioplásticos por T. afroharzianum*

