

**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
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS DE
CELULOSAS OBTENIDAS DE SUBPRODUCTOS DE
CAFÉ Y CACAO**

Autora: Bach. Delis Llobi Santillan Maldonado

Asesor: Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui

Coasesor: MsC. Segundo Grimaldo Chavez Quintana

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Santillan Maldonado Delis Ulobi
DNI N°: 48417662
Correo electrónico: 4841766272@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería y Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Propiedades fisicoquímicas y reológicas de celulosas obtenidas de subproductos de café y cacao

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Guadalupe Chuqui Grobert Amado
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44143025
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0001-7238-4291>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Chavez Quintana Segundo Grimaldo
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44014631
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-0946-3445>

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica- Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
2.11.00 - Otras Ingenierías, otras tecnologías / 2.11.01 - Alimentos y bebidas

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 18 / mayo / 2022



Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

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 Grobert Amado Guadalupe Chuqui y Segundo Grimaldo Chavez Quintana, a Dani Baca Maldonado y Luz Maribel Quispe Sánchez, 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.

**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



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 Propiedades físicoquímicas y reológicas de celulosas obtenidas de subproductos de café y cacao; del egresado Delis Zlobi Santillan Maldonado 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, 18 de mayo de 2023

Firma y nombre completo del Asesor

Roberto Amado Guadalupe Chiqui



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 Propiedades fisicoquímicas y reológicas de celulosas obtenidas de subproductos de café y cacao; del egresado Delis Llobi Santillan Maldonado 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, 13 de mayo de 2023


Firma y nombre completo del Asesor

Segundo Grimaldo Chavez Quintana



JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

PRESIDENTE



Dr. MEREGILDO SILVA RAMIREZ

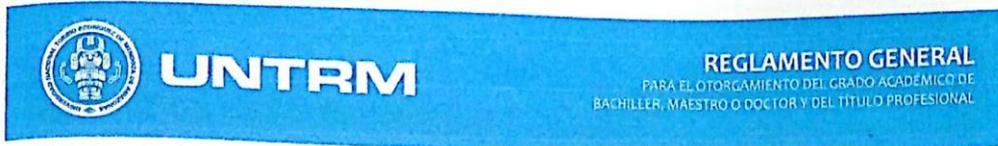
SECRETARIO

Aline Camila Caetano

Mg.Sc. ALINE CAMILA CAETANO

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:

Propiedades Físicoquímicas y Reológicas de celulosas
obtenidos de subproductos de café y cacao.

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Delis Uobi Santillan Maldonado

de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

con correo electrónico institucional 4841766272@untrm.edu.pe

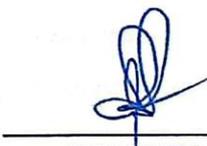
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 21 % 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, 05 de 07 del 2023


SECRETARIO


PRESIDENTE

Aline Camila Castano
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

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 julio del año 2023, siendo las 9:30 horas, el aspirante: Delis Llobi Santillan Maldonado, asesorado por M.Sc. Gilbert Amado Guadalupe Chuqui, defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Propiedades fisicoquímicas y Reológicas de Celulosas obtenidas de Subproductos de Café y Cacao, para obtener el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Erick Aldo Auguinián Silva

Secretario: Dr. Meregildo Silva Ramirez

Vocal: M.Sc. Aline Camila Caetano



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 10:20 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Firma]
SECRETARIO

[Firma]
PRESIDENTE

Aline Camila Caetano
VOCAL

OBSERVACIONES:
.....

INDICE

AUTORIZACION DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	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 MÉTODOS.....	18
2.1. Recolección y pretratamiento de muestras	18
2.2. Fibras celulósicas de subproductos de café	18
2.3. Fibras de mazorca de cacao	19
2.4. Caracterización de la pulpa celulósica de subproductos de café y cacao.....	19
2.5. Composición química de las fibras celulósicas	21
2.7. Análisis de datos.....	22
III. RESULTADOS	22
IV. DISCUSIÓN	30
V. CONCLUSIÓN	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
VII. BIBLIOGRAFIA	34
VIII. ANEXOS	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao	23
Tabla 2. Composición química de las fibras celulósicas	27
Tabla 3. Propiedades calorimétricas de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fibras celulósicas extraídas de subproductos de café y cacao	24
Figura 2. Rendimiento de extracción de fibras celulósicas de subproductos café y cacao	25
Figura 3. Solubilidad de fibras celulósicas de subproductos de café y cacao.....	25
Figura 4. Termograma DSC del punto de fusión de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao	29
Figura 5. Recepción de muestras de cacao	40
Figura 6. Troceado de mazorca de cacao	40
Figura 7. Mazorca de cacao deshidratado	41
Figura 8. Pulpa de café deshidratado	41
Figura 9. Mazorca de cacao molida /tamizada.....	41
Figura 10. Pulpa de café molida/tamizada	42
Figura 11. Tratamiento alcalino	42
Figura 12. Evaluación de lignina de subproductos de café y cacao	43
Figura 13. Evaluación de holocelulosa de subproducto de café y cacao	43
Figura 14. Evaluación de hemicelulosa de subproductos de café y cacao.....	44
Figura 15. Celulosa de subproductos de café y cacao	44
Figura 16. Evaluación DSC de subproductos de café y cacao	44

RESUMEN

Este estudio se basó en la extracción de celulosa de los subproductos: mazorca de cacao, pulpa de café y posos gastados de café, evaluando la influencia del pretratamiento químico de blanqueo en las propiedades fisicoquímicas de las celulosas obtenidas. Se comparó en el blanqueo dos reactivos (peróxido de hidrógeno y tampón de acetato) y dos concentraciones (10 y 15%). El subproducto, agente blanqueador y la concentración influyeron en la humedad, actividad de agua, índice de blancura, lignina, holocelulosa, hemicelulosa, celulosa, rendimiento de extracción, solubilidad y calorimetría. No se reportaron diferencias significativas en el contenido de holocelulosa. Las propiedades encontradas en las fibras celulósicas extraídas presentan óptimas condiciones para la elaboración de biopolímeros según uso en diversas matrices alimentarias, destacando por su rendimiento los posos gastados de café con blanqueado de tampón de acetato. Las condiciones de uso de las fibras celulósicas como el índice de blancura son relevantes para el envasado de alimentos que requieran mayor transparencia, por ende, se presenta los resultados de la presente investigación, para su uso por los investigadores que desarrollan biopolímeros y que requieran de una condición específica de la matriz alimentaria.

Palabras claves: blanqueo, dosis, peróxido de hidrógeno y tampón de acetato.

ABSTRACT

This study was based on the extraction of cellulose from the by-products: cocoa pods, coffee pulp and spent coffee wells, evaluating the influence of the chemical pretreatment of bleaching on the physicochemical properties of the cellulose obtained. Two reagents (hydrogen peroxide and acetate buffer) and two concentrations (10 and 15%) were compared in bleaching. The by-product, bleaching agent and concentration influenced the moisture, water activity, whiteness index, cellulose, lignin, hemicellulose, yield, solubility of cellulosic fibers, calorimetry. No differences in holocellulose content were reported. The properties found in the extracted cellulosic fibers present optimal conditions for the elaboration of biopolymers according to use in various food matrices, standing out for their performance the spent wells of coffee with acetate buffer bleaching. The conditions of use of cellulosic fibers as the whiteness index are relevant for the packaging of foods that require greater transparency, therefore, the results of the present research are presented, for use by researchers who develop biopolymers and require a specific condition of the food matrix.

Key words: bleaching, dosage, hydrogen peroxide and acetate buffer.

I. INTRODUCCIÓN

El café después del petróleo es el producto más comercializado en el mundo (Benítez et al., 2019). En el proceso de producción, procesamiento y consumo se generan residuos que representan un problema ambiental, como la contaminación del agua y del suelo (Peshev et al., 2018). Los subproductos del café comprenden cascarilla, piel, pulpa, mucílago de café, pergamino de café, cascarilla de café y café molido usado (borra), que representan más del 50% del fruto del café y se desechan (Benitez et al., 2019; Esquivel & Jiménez, 2012). En relación con su composición química y física, algunos subproductos del café son más adecuados para la producción de hongos comestibles, vermicompost, fibra dietética, suplemento, biocombustibles, entre otros (Janissen & Huynh, 2018).

Asimismo, la industria del cacao es un sector relevante para el desarrollo sostenible en todos los países en desarrollo (Kaba et al., 2021). La producción de cacao genera una gran preocupación con respecto a la cantidad de residuos que produce su cultivo (Velooso et al., 2020). La inadecuada disposición de los desechos representa riesgos para la salud por la contaminación ambiental o la proliferación de agentes de enfermedades (Sato et al., 2019). Los subproductos del cacao contienen principalmente lignina, celulosa, hemicelulosa, pectina, proteínas, azúcares libres, lípidos, almidón, flavonoides, ácidos fenólicos y minerales (Oussou et al., 2023).

En los últimos años, se ha prestado mucha atención al uso de polímeros sostenibles y respetuosos con el medio ambiente como materiales alternativos a los polímeros sintéticos a base de petróleo tóxicos y no biodegradables (Tarchoun et al., 2021).

Varios polímeros han sido estudiados y están presentes en el mercado para el envasado de alimentos, los polímeros naturales son biopolímeros obtenidos de fuentes naturales, como los extraídos de plantas, obtenidos a partir de desechos de alimentos (cáscaras, entre otros), y subproductos agroindustriales, etc. (Liu et al., 2021). La celulosa es uno de los biopolímeros más abundantes en la naturaleza y forma el principal componente estructural de las plantas verdes y la madera, junto con la hemicelulosa y la lignina (Navya et al., 2022).

La celulosa es un polímero natural, cuyas principales ventajas son su capacidad de renovación, biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad y bajo costo (Vijayakumar et al., 2021). Ésta tiene muchas aplicaciones potenciales en la industria; su extracción y

caracterización requiere de una serie de tratamientos químicos (agua caliente, sosa cáustica, ácido acético) (Rizwan et al., 2021a) con la finalidad de eliminar las impurezas para su posterior aprovechamiento (Song et al., 2019). El rendimiento de celulosa depende de las condiciones de blanqueo (Fagerstedt et al., 2015). Los reactivos tradicionales utilizados en este proceso, están siendo reemplazados por sistemas libres de cloro, peróxido de hidrógeno y líquidos iónicos (Beroual et al., 2021). No obstante, uno de los inconvenientes en el proceso de extracción es la insolubilidad en solventes comunes de la celulosa, siendo necesario el desarrollo de nuevos disolventes (Tarchoun et al., 2019).

Considerando el enorme potencial de los desechos y subproductos del cacao y café con sus ricas fuentes de nutrientes, compuestos bioactivos y contenido de celulosa, el presente estudio tiene como objetivo evaluar las fibras celulósicas extraídas de subproductos de café y cacao.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Recolección y pretratamiento de muestras

Las muestras de pulpa de café (PC) fueron recolectadas en madurez fisiológica de los socios de la Asociación de Productores Agropecuarios La Primavera (APALP), distrito de Omia, provincia Rodríguez de Mendoza. Los posos gastados de café (PGC) fueron colectados de las cafeterías de la provincia de Chachapoyas, asimismo, la mazorca de cacao (MC) se obtuvieron de la Cooperativa APROCAM, provincia de Bagua-Amazonas.

Las muestras fueron trasladadas en recipientes con cierre hermético al Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG); área de Control de Calidad del Café. Las mazorcas de cacao fueron tratadas siguiendo la metodología descrita por Azmin et al. (2020) y Sung et al. (2017). Previa selección se picaron 5 x 2 cm luego se desinfectaron con hipoclorito de sodio (NaClO) a 200 ppm por 15 minutos, y después por una solución de ácido cítrico al 0.01% por 2 minutos.

Las cáscaras de cacao fueron secadas a 60°C por 18h en un horno de convección. La pulpa de café y posos gastados de café se lavaron y secaron a 70°C por 12h en estufa (Ventiicell ecoline). Cuando las muestras tuvieron humedad menor al 8%, fueron molidas en un molino tipo Willye (modelo TE-650/1) tamizadas a 250 µm y almacenadas en bolsas de polietileno con cierre hermético.

2.2. Fibras celulósicas de subproductos de café

Para la extracción de la fibra celulósica de los subproductos de café, se pesó 100 g de polvo de PC y PGC y se sometieron a un tratamiento alcalino siguiendo la metodología descrita por Sung et al. (2017) con hidróxido de potasio (KOH) al 6% (p/v) por 2 h a 90°C±2 en un agitador magnético (Benchmark,2018) para eliminar la ceras, los fenoles, los pigmentos y los aceites; luego se aplicó un lavado con agua destilada hasta retirar los restos alcalinos, se neutralizó el pH con adición de ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10% (v/v) para hidrolizar los polisacáridos y los polifenoles solubles en ácido. Las muestras obtenidas se filtraron en papel Whatman 42 y se secaron a 50°C±2 por 48 h en una estufa.

Luego se siguió la metodología descrita por Deb Dutta et al. (2021) con algunas modificaciones. El material seco fue diluido en 100 ml de agua destilada y tratada con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 4% y ácido acético en una concentración de 240 µl. El proceso se realizó por 7 veces.

El proceso de blanqueamiento se realizó siguiendo la metodología descrita por Sung et al. (2017). Utilizando peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y tampón de acetato al 10 y 15% por 1 h en un agitador magnético con calefacción con placa cerámica a 60°C±2 con la finalidad de oxidar y disolver la lignina y los fenoles; luego se lavó con agua destilada hasta eliminar los restos de los agentes blanqueador. Finalmente se secó a temperatura ambiente por 24 h, se molidó y tamizado (250 µm) hasta obtener polvo.

2.3. Fibras de mazorca de cacao

Para obtener las fibras celulósicas de cacao se trabajó con la metodología descrita por Shahira et al. (2018). Para ello, se pesó 100 g de muestra en polvo de MC y se sometió a tratamiento alcalino con NaOH a una concentración de 1mol/L en un vaso de precipitación con 700 ml de solución por 3 h a 100±2 °C con agitación continua. Una vez terminado este proceso, las muestras se lavaron con agua destilada hasta neutralizar el pH con H₂SO₄ al 10%(v/v). Luego la muestra deshidratada en una estufa a 50±2 °C por 24 h, luego se realizó el proceso de blanqueo con H₂O₂ y tampón de acetato (TA) al 10 y 15 % en una placa caliente a 70±2 °C por 60 min. Los restos de fibras celulósicas fueron lavados con agua destilada hasta eliminar los restos de los agentes blanqueadores, luego se secaron por 48 h a 50 °C. Terminado este proceso, las muestras se molieron, tamizaron y almacenaron hasta análisis posteriores.

2.4. Caracterización de la pulpa celulósica de subproductos de café y cacao

- Rendimiento

Para calcular el rendimiento de fibras celulósicas de subproductos de café y cacao, se trabajó con la formula descrita por Kaewprachu et al. (2022). Para ello, se realizó el registro de la masa inicial y el peso final de las pulpas celulósicas.

$$Rend (\%) = \frac{m_f}{m_o} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: m_f es la masa final de la muestra y m_o es la masa inicial de la muestra.

- Humedad

Así mismo, para calcular el contenido de la humedad porcentual se siguió la metodología descrita por More et al. (2022). Para ello, se secó 2g de las pulpas celulósicas en una estufa a 105 ± 2 °C hasta obtener un peso estable y se calculó el porcentaje por diferencias de pesos.

$$H (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_o} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

% H = Porcentaje de humedad de las fibras celulósicas

m_0 = Peso de la capsula vacía y tapa (g)

m_1 = Peso de la capsula con muestra humedad tapada (g)

m_2 = Peso de la capsula con muestra seca tapada (g)

- **Actividad de agua**

Las mediciones de actividad de agua de las muestras fueron medidas por triplicado directamente con un instrumento VTSYIQI WA-160 a 25°C, donde 2 g de muestra fue colocada en un vaso contenedor del instrumento que se cerró y se tomaron los datos después de 3 min cuando el indicador de medición llegó al equilibrio (Copetti et al., 2011)

- **Color**

El color de las pulpas celulósicas se determinó basados en el procedimiento descrito por Kaewprachu et al. (2022). Para ello, se pesó 2 g de cada muestra fibra celulósica (cacao, pulpa de café y posos gastados de café); luego las muestras se acondicionaron en una superficie de fondo blanco para ser medidos con un colorímetro marca KONIKA MINOLTA, CR-400, los datos obtenidos se expresaron como valores L^* (Luminosidad), a^* (rojez/verdosa) y b^* (amarilla/azul).

El valor del índice de blancura (WI) se calculó mediante la ecuación 3:

$$WI = 100 - ((100 - L)^2 + a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Ecuación 3}$$

- **Solubilidad**

Para calcular la solubilidad de las muestras se trabajó con la metodología de Kaewprachu et al. (2022). Se pesó 1g de masa celulósica de cada sub producto, luego fueron colocados en un matraz Erlenmeyer de 100 ml con 50 ml de agua destilada, y se dejó en agitación (Orbi-Shaker) a temperatura ambiente por 24 h a 250 rpm. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm por 10 min y se eliminaron los sobrenadantes. Finalmente, la solución filtrada se secó a 105 °C por 24 h. El porcentaje de solubilidad se determinó mediante la ecuación 4:

$$\text{Solubilidad (\%)} = \left(\frac{w_1 - w_2}{w_1} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde W_1 y W_2 son el peso inicial de pulpa celulósica (g) y el peso seco final de la pulpa celulósica (g), respectivamente.

2.5. Composición química de las fibras celulósicas

- Lignina

Para calcular el contenido de lignina presente, se siguió la metodología descrita por Rizwan et al., (2021). Para ello, se pesó 2 g de muestra y se diluyó con 15 ml de H₂SO₄ al 72% (p/v), a 30 °C por 2h en un agitador magnético, una vez terminado el proceso las muestras se hidrolizaron a 120°C por 4 h con adición de 80 ml de agua ultra pura. Finalmente, a la solución se filtró en filtro Whatman 42, y se secó a 105 °C. El porcentaje de lignina extraída se calculó de acuerdo a la ecuación 5:

$$\text{Lignina \%} = \left(\frac{W_1}{W}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde W1 es la masa de la lignina obtenida y W es la masa inicial.

- Celulosa

Para obtener contenido de celulosa se cuantificó la holocelulosa y la hemicelulosa. Para la holocelulosa siguiendo la metodología descrita por Rizwan et al. (2021). Para ello se pesaron 3 g de muestra, el blanqueado se realizó con H₂O₂ al 5% en peso, luego las muestras se lavaron con agua destilada y se por 8h a 100 °C, se registró el peso para determinar el contenido de holocelulosa mediante la ecuación 6.

$$\text{Holocelulosa \%} = \left(\frac{W_2}{W}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde W2 es el peso de la holocelulosa final y W es el peso de la muestra original.

- Hemicelulosa

El porcentaje de hemicelulosa se obtuvo a partir de los resultados del procedimiento anterior. Para ellos se utilizó una solución de NaOH al 17.5 % esta se calentó 60 °C por 5 h trascurrido el tiempo se lavaron las muestras con agua destilada estéril y helada para inactivar la reacción hasta obtener un pH neutro. Una vez alcanzado el pH óptimo las muestras se secaron a 100 °C por 8 h y se registró el peso. El contenido de celulosa se determinó restando el contenido de la holocelulosa y la hemicelulosa según la metodología descrita por Rizwan et al. (2021).

2.6. Propiedades calorimétricas de las fibras celulósicas

El comportamiento térmico de las fibras celulósicas durante el almacenamiento, fue determinado siguiendo la metodología descrita por Martins et al. (2016). El calorímetro se calibró utilizando una bandeja estándar de estaño puro. En una balanza analítica

(España,2018) se pesaron de 6 a 9 mg de las fibras celulósicas en una bandeja de aluminio sellada y se midieron mediante calorimetría diferencial de barrido (Shimadzu DSC – 60 plus). Las temperaturas de inicio (T_o : la temperatura a la que los primeros cristales comienzan a derretirse) y de fusión (T_p : la temperatura a la que la fusión es la más alta) se determinaron utilizando el software SPICO (DSC 1.0.0, China). El calentamiento se fijó de 20 a 240 °C a una velocidad constante de 10°C/min y una velocidad de enfriamiento de 5°C/min. Las evaluaciones se realizaron utilizando un caudal de nitrógeno de 20 ml/min. Los perfiles térmicos fueron analizados por el software Pyris (PerkinElmer Corporation, América).

2.7. Análisis de datos

Para determinar el efecto, se empleó un análisis de varianza utilizando la prueba estadística de tukey al nivel ($p < 0,05$) y diferencias mínimas significativa, empleando el paquete estadístico SPSS V. 25.

III. RESULTADOS

Características fisicoquímicas de las fibras celulósicas

En la tabla 1, se observa los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a las fibras celulósicas extraídas de los subproductos (mazorca de cacao, pulpa y posos gastados de café), donde la fibra de la mazorca de cacao tuvo mayor humedad ($13.82 \pm 1.35\%$) en comparación con las demás muestras, asimismo, la dosis de la solución blanqueadora influye en la humedad. La actividad de agua varió entre tratamientos, la fibra de pulpa de café blanqueada con peróxido de hidrógeno (10%) tuvo mayor actividad de agua. En

cuanto al índice de blancura las fibras de la pulpa de café blanqueada con peróxido de hidrógeno (10%) presentó mayor porcentaje (67.61%), también en la luminosidad (80.21).

Tabla 1

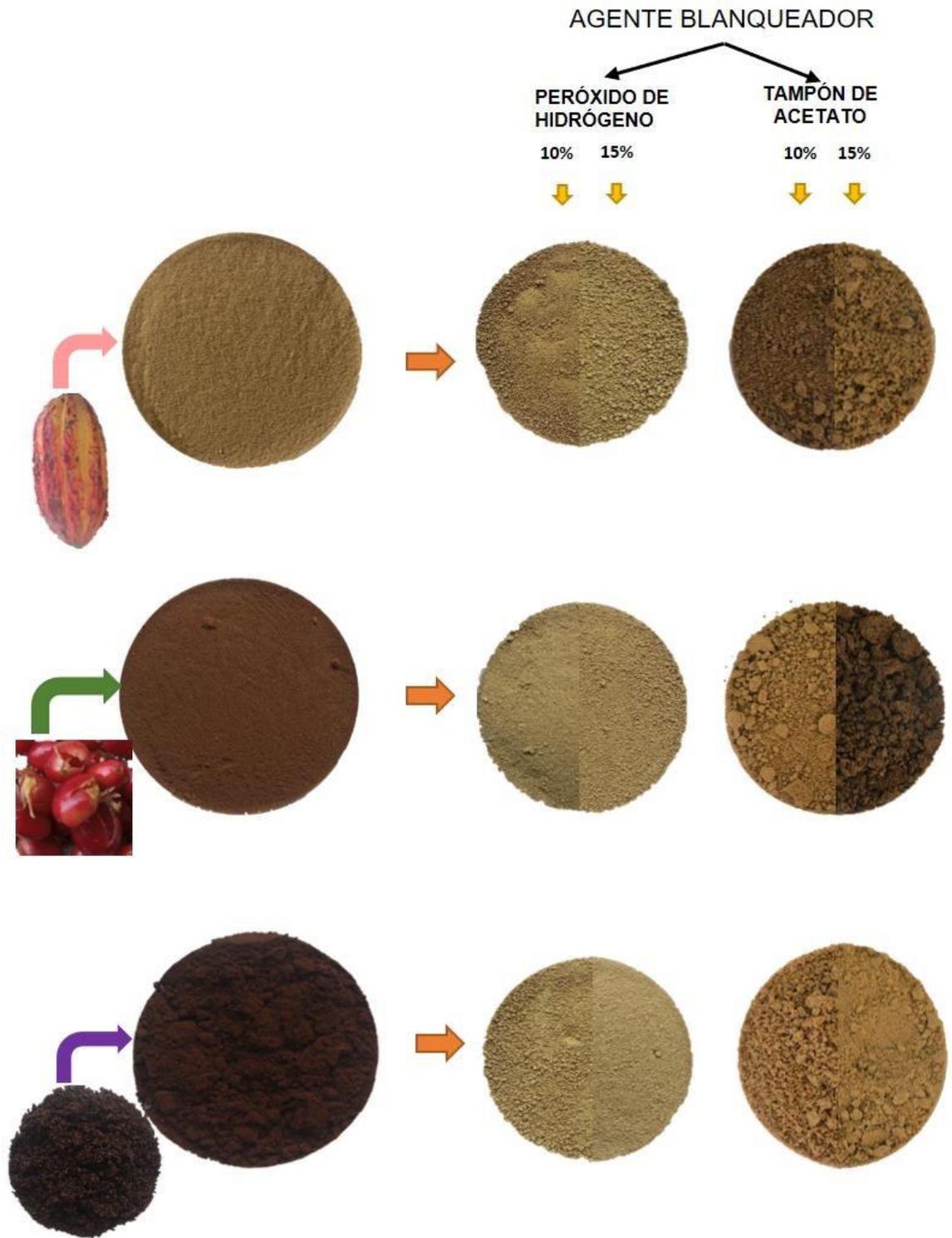
Análisis fisicoquímicos de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao

Subproducto	Tipo de solución blanqueadora	Dosis (%)	Humedad	Aw	L*	a*	Índice de b* blancura
Mazorca de cacao	H ₂ O ₂	10	10.99±1.36 ^{ab}	0.42±0.01 ^d	73.13±0.87 ^{bc}	9.95±0.07 ^{b-e}	26.68±0.25 ^{ab} 60.84±0.41 ^{ab}
	H ₂ O ₂	15	7.97±0.47 ^b	0.33±0.01 ^e	30.12±5.81 ^f	9.93±0.85 ^{c-e}	9.78±2.91 ^f 63.00±44 ^{ab}
	TA	10	13.82±1.35 ^a	0.51±0.01 ^{bc}	75.12±0.26 ^{ab}	10.58±0.24 ^{a-e}	25.36±0.15 ^c 28.63±5.18 ^e
	TA	15	7.97±0.01 ^b	0.35±0.01 ^{de}	29.53±0.01 ^f	9.57±0.77 ^{d-f}	7.94±1.13 ^f 28.41±1.05 ^e
Pulpa de café	H ₂ O ₂	10	8.31±0.01 ^{ab}	0.68±0.01 ^a	80.21±0.01 ^a	9.21±0.06 ^{e-f}	23.92±0.10 ^{c-e} 67.61±0.24 ^a
	H ₂ O ₂	15	10.59±0.01 ^{ab}	0.51±0.03 ^{b-c}	49.46±0.01 ^{d-e}	12.32±0.14 ^a	22.22±0.23 ^{c-e} 43.42±0.82 ^f
	TA	10	9.58±0.01 ^{ab}	0.51±0.02 ^{bc}	49.46±0.01 ^{d-e}	12.32±0.14 ^a	22.22±0.23 ^{c-e} 43.42±0.82 ^f
	TA	15	9.91±0.01 ^{ab}	0.49±0.03 ^{cd}	58.51±0.01 ^{de}	11.65±0.67 ^{-c}	24.30±0.85 ^{cd} 50.51±0.71 ^{de}
Posos gastados de café	H ₂ O ₂	10	12.06±0.21 ^{ab}	0.58±0.01 ^b	77.01±0.01 ^{ab}	8.37±0.14 ^f	26.42±1.24 ^{ab} 63.92±0.22 ^{ab}
	H ₂ O ₂	15	10.87±0.01 ^{ab}	0.47±0.03 ^d	47.99±0.02 ^{de}	11.66±0.08 ^{a-c}	19.53±1.42 ^{d-e} 57.57±6.68 ^{ab}
	TA	10	12.27±0.01 ^{ab}	0.53±0.04 ^{bc}	66.4±0.01 ^{cd}	9.97±1.13 ^{b-e}	23.34±2.88 ^{c-e} 43.18±2.06 ^f
	TA	15	9.92±0.02 ^{ab}	0.43±0.03 ^d	46.04±0.01 ^e	11.90±0.59 ^{ab}	19.01±1.20 ^e 41.55±1.87 ^f

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar por cada 5 g de muestra. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ((p <0.05).

Figura 1

Fibras celulósicas extraídas de subproductos de café y cacao



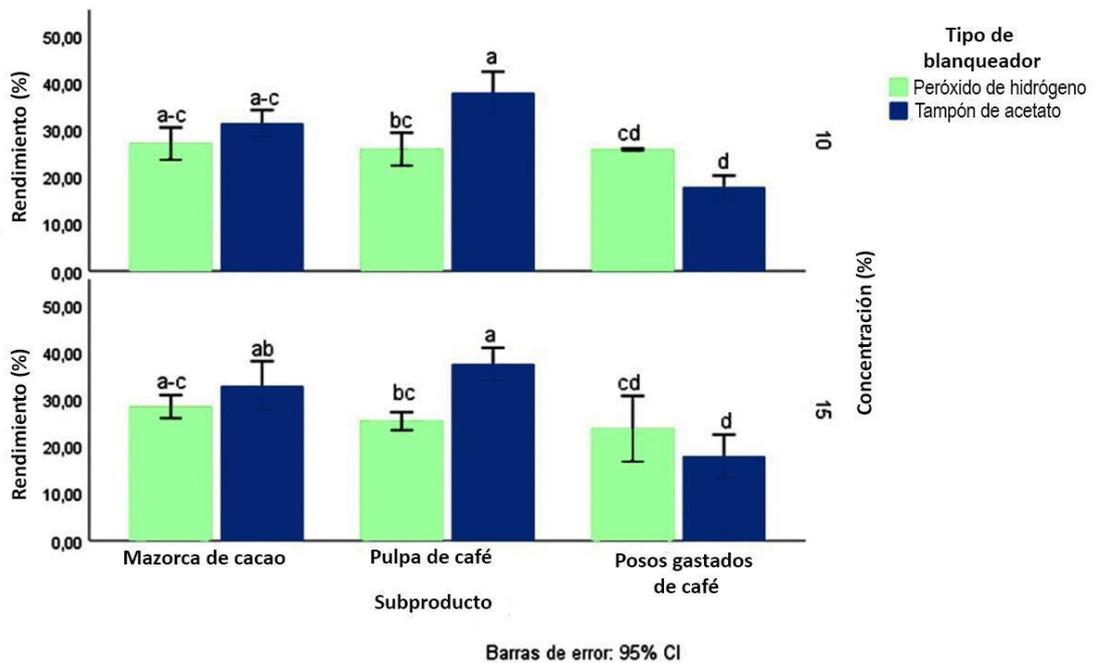
Rendimiento de las fibras celulósicas

Las fibras celulósicas obtenidas de posos gastados de café tuvieron un mayor rendimiento (37.89%), respecto los de pulpa de café (17.89%) y de mazorca de cacao (32.85%). La

solución blanqueadora influyó significativamente en el rendimiento, teniendo los valores más altos cuando se empleó tampón de acetato. Por otro lado, la dosis de solución blanqueadora no influyó significativamente en el rendimiento (Figura 2).

Figura 2

Rendimiento de extracción de fibras celulósicas de subproductos café y cacao



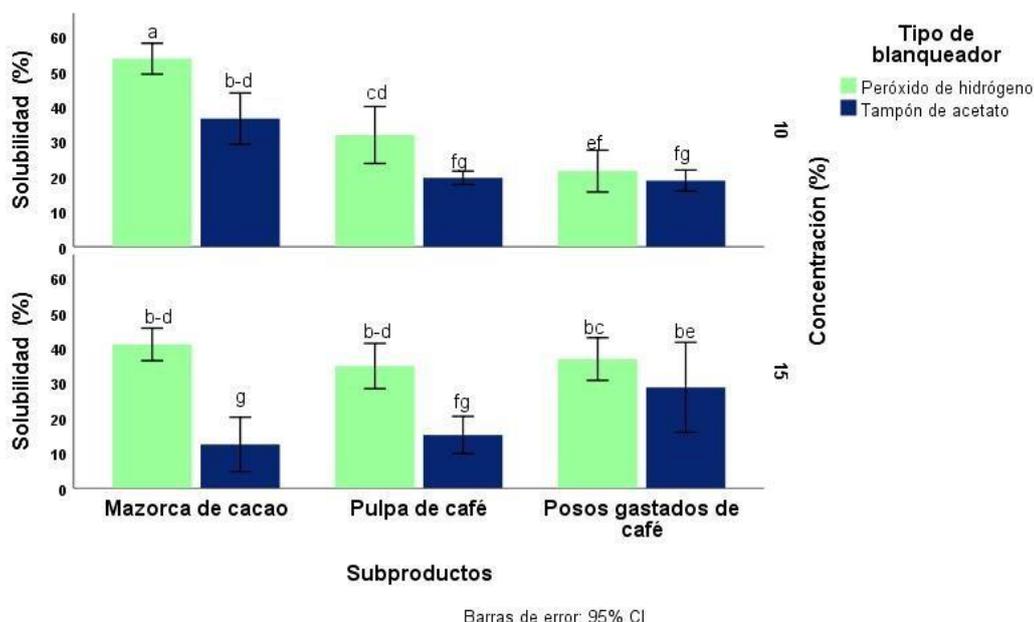
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Solubilidad

En la figura 3 se observa los valores de solubilidad de las fibras celulósicas (mazorca de cacao, pulpa y posos gastados de café), observándose que las soluciones blanqueadoras tuvieron efecto significativo, demostrando que, con la solución blanqueadora de peróxido de hidrógeno (10%) en la mazorca de cacao se obtienen fibras con mayor solubilidad.

Figura 3

Solubilidad de fibras celulósicas de subproductos de café y cacao



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

Composición química de las fibras celulósicas

El mayor contenido de lignina tuvo las fibras obtenidas de mazorca de cacao (51.68 ± 2.87) blanqueadas con tampón de acetato (10%). En cambio, en las fibras de mazorca de cacao blanqueadas con peróxido de hidrógeno (10%) tuvieron mayor contenido de holocelulosa ($60.98 \pm 0.71\%$), valores menores se obtuvo con las fibras de posos gastados de café ($58.84 \pm 2.89\%$) blanqueadas con peróxido de hidrógeno (10%). El contenido de celulosa se observó en mayor cantidad en la pulpa de café blanqueada con tampón de acetato (10%) (Tabla 2).

Tabla 2

Composición química De las fibras celulósicas

Subproducto	Tipo de solución blanqueadora	Dosis (%)	Lignina	Holocelulosa	Celulosa
-------------	----------------------------------	-----------	---------	--------------	----------

	H ₂ O ₂	10	29.14±1.53 ^{b-c}	60.98±0.71 ^a	39.02±0.71 ^d
	H ₂ O ₂	15	17.65±2.04 ^{e-f}	59.22±3.25 ^a	40.78±3.25 ^d
Mazorca de cacao					
	TA	10	51.68±2.87 ^a	55.34±5.64 ^{a-c}	44.66±5.64 ^{c-d}
	TA	15	28.33±0.46 ^{b-d}	57.45±2.88 ^{a-b}	42.55±2.88 ^{c-d}
		10	13.19±3.39 ^f	43.20±0.69 ^{c-e}	59.05±3.87 ^{a-c}
	H ₂ O ₂	15	45.17±3.06 ^a	46.44±3.63 ^{b-d}	53.54±3.63 ^{a-d}
	H ₂ O ₂				
Pulpa de café					
	TA	10	33.46±0.34 ^b	31.01±1.64 ^e	69.00±1.64 ^a
	TA	15	17.73±0.9 ^{e-f}	36.82±6.89 ^{d-e}	63.18±6.89 ^{a-b}
	H ₂ O ₂	10	18.42±1.90 ^{e-f}	58.84±2.89 ^a	41.16±2.89 ^d 42.28±3.3 ^{c-d}
	H ₂ O ₂	15	16.28±2.64 ^{e-f}	57.72±3.30 ^{a-b}	
Posos gastados de café					
	TA	10	21.59±3.72 ^{c-e}	53.12±2.01 ^{a-c}	46.88±2.0 ^{b-d}
	TA	15	20.63±0.59 ^{d-f}	34.04±0.28 ^e	58.54±3.40 ^{a-c}

Nota. Las letras diferentes entre columnas indican grupos estadísticamente diferentes según Tukey ($p < 0.05$).

Propiedades calorimétricas

Se aplicó calorimetría diferencial de barrido (DSC), para evaluar el rendimiento térmico de las fibras celulósicas con diferentes proporciones de blanqueadoras (Mazorca de cacao, pulpa y posos gastados de café). Los parámetros de fusión de estas muestras y termogramas correspondientes se muestran en la Tabla 3 y figura 4, respectivamente. Las fibras celulósicas de la pulpa de café blanqueadas con tampón de acetato (15%) alcanzó temperatura mayor de punto de fusión $173.14 \pm 2.94^\circ\text{C}$.

Tabla 3

Propiedades calorimétricas de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao

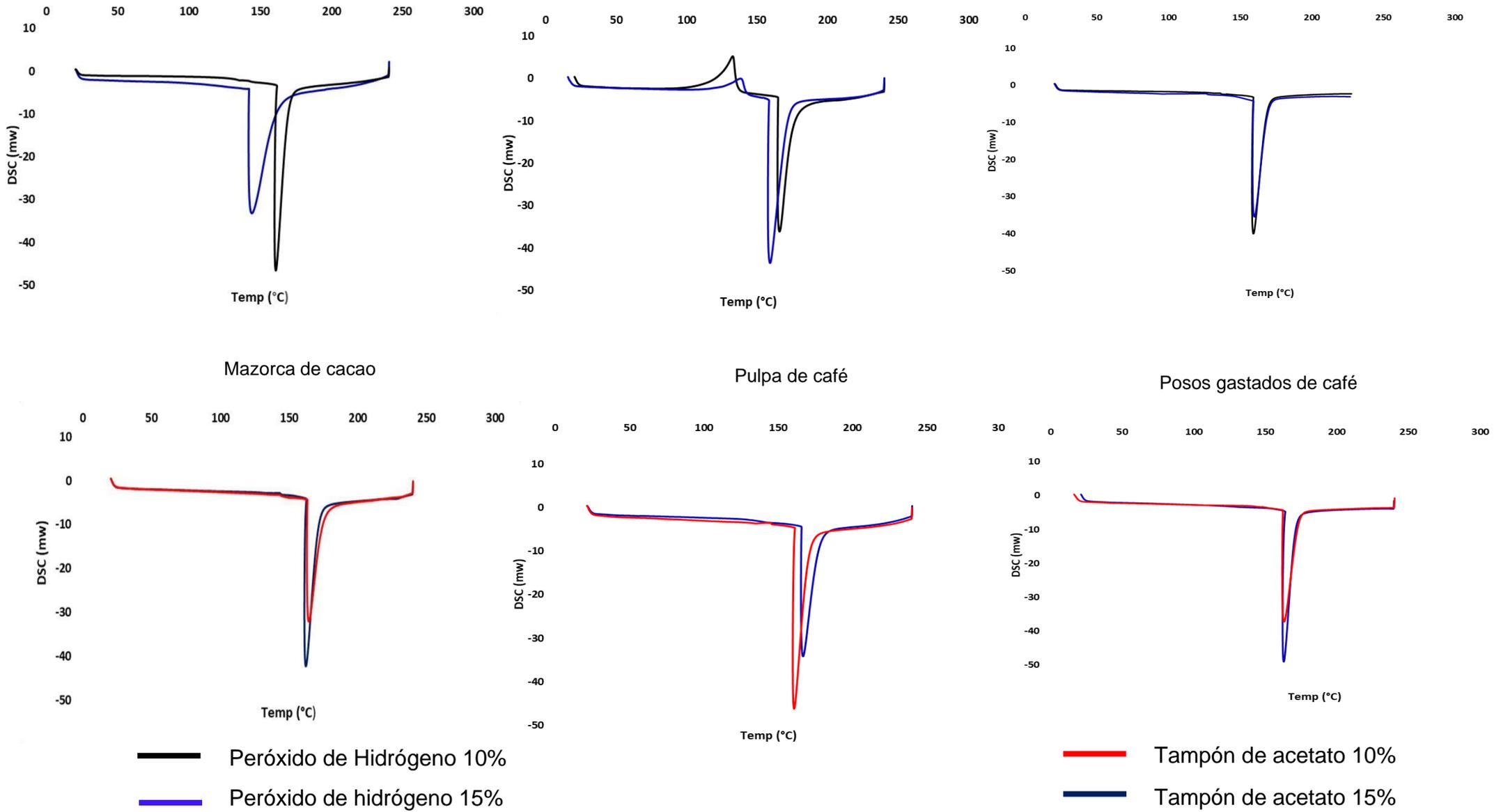
Subproductos	Tipo de solución blanqueadora	Dosis (%)	To (°C)	Tp(°C)	Te(°C)	ΔH (J/g)
--------------	-------------------------------	-----------	---------	--------	--------	----------

Mazorca de cacao	H ₂ O ₂	10	153.52±4.85	155±7.72	166.73±4.22	-180.6±9.3
	H ₂ O ₂	15	144.70±3.48	146.8±2.44	158.54±1.56	-294.10±4.80
	TA	10	163.78±2.54	164±1.95	173.06±1.65	-158.30±16.02
	TA	15	167.70±3.48	165±0.57	173.75±0.42	-193.20±67.7
Pulpa de café	H ₂ O ₂	10	153.62±15.14	157.3±12.33	164.25±15.22	-207.8±36.6
	H ₂ O ₂	15	160.77±3.93	160.60±1.13	170.90±2.76	-174.10±11.20
	TA	10	153.86±15.31	170.90±2.76	160.60±1.13	-239.01±12.9
	TA	15	164.20±4.04	173.14±2.94	173.14±2.94	-195.2±7.9
Posos gastados de café	H ₂ O ₂	10	161.91±2.69	162.9±2.74	171.16±2.05	-167.18±13.5
	H ₂ O ₂	15	164.66±1.25	160.8±1.93	173.64±6.78	-167.8±0.06
	TA	10	155.80±2.51	157.1±0.01	169.01±4.19	-170.6±4.7
	TA	15	161.13±7.29	158.6±3.68	165.87±1.59	-165.5±0.8

Nota. Las letras diferentes entre columnas indican grupos estadísticamente diferentes según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 4.

Termograma DSC del punto de fusión de las fibras celulósicas de subproductos de café y cacao



IV. DISCUSIÓN

Los valores de humedad en las fibras celulósicas extraídas van desde $7.97\pm 0.47\%$ hasta $13.82\pm 1.35\%$. Resultados parecidos a los reportados por Čermák et al (2022), quienes encontraron valores similares que oscilan entre 5.8% y 15% de humedad.

La actividad de agua de las fibras celulósicas los valores encontrados oscilaron desde 0.35 ± 0.01 hasta 0.68 ± 0.01 , valores inferiores a los que se necesita para el crecimiento de mohos (por encima de 0.78) y *Salmonella* (a partir de 0.92), estos últimos influyen en las reacciones químicas de degradación microbiológica que reducen la vida útil del material (Carrillo et al, 2017).

Se observaron diferencias significativas en el colorímetro tanto entre los tipos de blanqueadores como en las concentraciones, mostrando mayor índice de blancura y cristalinidad en las fibras celulósicas de pulpa de café blanqueadas con peróxido de hidrógeno (10%). Este último oxida compuestos al momento del blanqueo como la lignina, que brinda la coloración oscura a la fibra (García-Alcocer et al, 2019). Por ello el rendimiento de extracción de las fibras celulósicas es menor cuando se emplea peróxido de hidrógeno, pierde más del 65% de la muestra inicial. La lignina es una macromolécula amorfa que no muestra orientación molecular, esta afecta la morfología y la cristalinidad de la celulosa y esto ocurre cuando su concentración es mayor al 35%; la fibra celulósica de la mazorca de cacao blanqueada con tampón de acetato (10%) tuvo hasta 51.68% de lignina, esto hace que la lignina se convierta en componente amorfo predominante y provoca un pequeño aumento de celulosa amorfa (Liu et al, 2023).

Se observó un aumento significativo en la solubilidad en agua en las fibras de los subproductos, esta se da por la sustitución de grupos de carboximetilo en lugar de los hidroxilos en la estructura de la celulosa indicando que las fibras de mazorca de cacao blanqueadas con peróxido de hidrógeno son hidrofílicas (Kaewprachu et al, 2022). Por otro lado, las fibras de los subproductos blanqueadas con tampón de acetato muestran menor solubilidad, debido a la insolubilidad de las fibras celulósicas en el acetato (Gacén & Cayuela, 2010).

Las fibras blanqueadas con tampón de acetato a diferencia del peróxido de hidrógeno tuvieron menor contenido de hemicelulosa debido a que es más sensible a la acción del hidróxido de sodio en comparación con la lignina, celulosa y holocelulosa (Obi et al,

2013). Por otro lado, el contenido de celulosa en fibras blanqueadas con tampón de acetato es mayor al peróxido de hidrógeno, esto es debido a la hidrólisis alcalina que tiene un efecto significativo en condiciones óptimas (Costa de Araujo et al, 2017). Por otro lado, la holocelulosa presentó concentraciones elevadas (34.04% - 60.98%) en las fibras celulósicas de los subproductos de café y cacao las cuales se perfilan como importantes fuentes de carbohidratos, permitiendo considerarlos fundamentales en otras tecnologías como la producción de productos químicos como polímeros (Cabrera et al, 2016).

En las curvas de DSC se encontró temperaturas de pico en el punto de fusión que van desde 146.8 ± 2.44 hasta 173.14 ± 2.94 °C resultados superiores los que reportaron Belouadah et al (2021). Si bien es cierto, se observó picos exotérmicos en las fibras celulósicas de pulpa de café blanqueadas con peróxido de hidrógeno, esto se debe a la descomposición de las fibras tanto como de la hemicelulosa y la celulosa (Chand & Fahim, 2021). Por otro lado, las fibras celulósicas de los subproductos de café y cacao que mostraron puntos de fusión elevados a 150°C, estas permiten que las fibras celulósicas sean adecuadas para usar como elementos de refuerzos para biocompuestos que llegan a operar hasta 315 ± 1 °C (Lule et al., 2023).

V. CONCLUSIÓN

Se extrajeron fibras celulósicas de subproducto de café y cacao, con potencial a ser usadas en la elaboración de biopolímeros. Las fibras celulósicas presentan características fisicoquímicas, calorimétricas y colorimétricas que tienen amplias aplicaciones en la industria de envases de alimentos. Las fibras celulósicas de los posos gastados de café presentaron mayor rendimiento de extracción con tampón de acetato (10%), siendo un indicador de su posible escalamiento de producción a nivel industrial. El subproducto, la solución blanqueadora y dosis de solución de extracción influyeron en las propiedades de las fibras celulósicas, variando según cada propiedad.

VI. RECOMENDACIONES

Desarrollar envases en base a fibras celulósicas extraídas de pulpa de café, posos gastados de café y mazorca de cacao, para dar aprovechamiento a los residuos agroindustriales y caracterizar las propiedades de los biopolímeros elaborados con fibras celulósicas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azmin, S. N. H. M., Hayat, N. A. binti M., & Nor, M. S. 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(4), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003>
- Behera, L., Mohanta, M., & Thirugnanam, A. (2022). Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Enviromal Technology & Innovation*, 25, 102180. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>
- Benitez, V., Rebollo-Hernanz, M., Hernanz, S., Chantres, S., Aguilera, Y., & MartinCabrejas, 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>
- Beroual, M., Trache, D., Mehelli, O., Boumaza, L., Tarchoun, A. F., Derradji, M., & Khimeche, K. (2021). Effect of the Delignification Process on the Physicochemical Properties and Thermal Stability of Microcrystalline Cellulose Extracted from Date Palm Fronds. *Waste and Biomass Valorization*, 12(5), 2779–2793. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01198-9>
- Copetti, M. V., Iamanaka, B. T., Frisvad, J. C., Pereira, J. L., & Taniwaki, M. H. (2011). Mycobiota of cocoa: From farm to chocolate. *Food Microbiology*, 28(8), 1499–1504. <https://doi.org/10.1016/J.FM.2011.08.005>
- Deb Dutta, S., Patel, D. K., Ganguly, K., & Lim, K. T. (2021). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from coffee grounds for tissue engineering. *Materials Letters*, 287, 129311. <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2021.129311>
- El Achaby, M., El Miri, N., Aboukas, A., Zahouily, M., Bilal, E., Barakat, A., & Solhy, A. (2017). Processing and properties of eco-friendly bio-nanocomposite films filled with cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse. *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 340–352. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.12.040>

- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee byproducts. *Food Research International*, 46(2), 488–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Fagerstedt, K. V., Saranpää, P., Tapanila, T., Immanen, J., Serra, J. A. A., & Nieminen, K. (2015). Determining the composition of lignins in different tissues of silver birch. *Plants*, 4(2), 183–195. <https://doi.org/10.3390/plants4020183>
- Freixo, R., Casanova, F., Ribeiro, A. B., Pereira, C. F., Costa, E. M., Pintado, M. E., & Ramos, Ó. L. (2023). Extraction methods and characterization of cellulose fractions from a sugarcane by-product for potential industry applications. *Industrial Crops and Products*, 197, 116615. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.116615>
- 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>
- Jiang, J., Tang, Q., Pan, X., Xi, Z., Zhao, L., & Yuan, W. (2020). Structure and Morphology of Thermoplastic Polyamide Elastomer Based on Long-Chain polyamide 1212 and Renewable Poly (trimethylene glycol). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59(39), 17502–17512. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c01334>
- 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>
- Kaewprachu, P., Jaisan, C., Rawdkuen, S., Tongdeesoontorn, W., & Klunklin, W. (2022). Carboxymethyl cellulose from Young Palmyra palm fruit husk: Synthesis, characterization, and film properties. *Food Hydrocolloids*, 124, 107277. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.107277>
- Liu, Y., Ahmed, S., Sameen, D. E., Wang, Y., Lu, R., Dai, J., Li, S., & Qin, W. (2021). A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based for food packaging application. *Trends in Food Science and Technology*, 112(January), 532–546. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.016>

- Lopez- Martinez, Bolino- Lopez, Veleza L, & Solorzano -Valencia. (2016). Obtención de celulosa a partir de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.).
- Marichelvam, M. K., Manimaran, P., Sanjay, M. R., Siengchin, S., Geetha, M., Kandakodeeswaran, K., Boonyasopon, P., & Gorbatyuk, S. (2022). Extraction and development of starch-based bioplastics from *Prosopis Juliflora* Plant: Eco-friendly and sustainability aspects. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100296. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100296>
- Martins, A. J., Cerqueira, M. A., Fasolin, L. H., Cunha, R. L., & Vicente, A. A. (2016). Beeswax organogels: Influence of gelator concentration and oil type in the gelation process. *Food Research International*, 84, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.035>
- Mayakun, J., Klinkosum, P., Chaichanasongkram, T., Sarak, S., & Kaewtatip, K. (2022). Characterization of a new natural cellulose fiber from *Enhalus acoroides* and its potential application. *Industrial Crops and Products*, 186, 115285. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115285>
- Navya, P. V., Gayathri, V., Samanta, D., & Sampath, S. (2022). Bacterial cellulose: A promising biopolymer with interesting properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2208(July), 435–461. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.056>
- Oussou, K. F., Guclu, G., Kelebek, H., & Selli, S. (2023). Valorization of cocoa, tea and coffee processing by-products-wastes. In *Advances in Food and Nutrition Research*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2023.03.003>
- Pająk, P., Przetaczek-Rożnowska, I., & Juszczak, L. (2019). Development and physicochemical, thermal and mechanical properties of edible films based on pumpkin, lentil and quinoa starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 441–449. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.074>
- Pecchi, M., Cascioli, A., Maag, A. R., Goldfarb, J. L., & Baratieri, M. (2022). Uncovering the transition between hydrothermal carbonization and liquefaction using differential scanning calorimetry. *Fuel Processing Technology*, 235, 107349.

<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107349>

Peshev, D., Mitev, D., Peeva, L., & Peev, G. (2018). Valorization of spent coffee grounds– A new approach. *Separation and Purification Technology*, 192(October 2017), <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.021>

Rizwan, M., Gilani, S. R., Durrani, A. I., & Naseem, S. (2021a). Cellulose extraction of *Alstonia scholaris*: A comparative study on efficiency of different bleaching reagents for its isolation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191(October), 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.155>

Rizwan, M., Gilani, S. R., Durrani, A. I., & Naseem, S. (2021b). Cellulose extraction of *Alstonia scholaris*: A comparative study on efficiency of different bleaching reagents for its isolation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 964–972. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.09.155>

Rizwan, M., Gilani, S. R., Durrani, A. I., & Naseem, S. (2021c). Cellulose extraction of *Alstonia scholaris*: A comparative study on efficiency of different bleaching reagents for its isolation and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 964–972. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.155>

Roy, S., Kim, H.-J., & Rhim, J.-W. (2021). Synthesis of Carboxymethyl Cellulose and Agar-Based Multifunctional Films Reinforced with Cellulose Nanocrystals and Shikonin. *ACS Applied Polymer Materials*, 3(2), 1060–1069. <https://doi.org/10.1021/acsapm.0c01307>

Sato, M. K., de Lima, H. V., Costa, A. N., Rodrigues, S., Pedroso, A. J. S., & de Freitas Maia, C. M. B. (2019). Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. *Waste Management*, 96, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.022>

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>

- Song, K., Zhu, X., Zhu, W., & Li, X. (2019). Preparation and characterization of cellulose nanocrystal extracted from *Calotropis procera* biomass. *Bioresources and Bioprocessing*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-019-0279-z>
- Sung, S. H., Chang, Y., & Han, J. (2017a). 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>
- Sung, S. H., Chang, Y., & Han, J. (2017b). 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>
- Tarchoun, A. F., Trache, D., & Klapötke, T. M. (2019). Microcrystalline cellulose from *Posidonia oceanica* brown algae: Extraction and characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 837–845. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.176>
- Tarchoun, A. F., Trache, D., Klapötke, T. M., Krumm, B., & Kofen, M. (2021). Synthesis and characterization of new insensitive and high-energy dense cellulosic biopolymers. *Fuel*, 292(January). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120347>
- Tran, Q. T., Do, T. H., Ha, X. L., Duong, T. T. A., Chu, M. N., Vu, V. N., Chau, H. D., Tran, T. K. N., & Song, P. (2022). Experimental Design, Equilibrium Modeling and Kinetic Studies on the Adsorption of Methylene Blue by Adsorbent: Activated Carbon from Durian Shell Waste. *Materials*, 15(23), 8566. <https://doi.org/10.3390/ma15238566>
- Veloso, M. C. R. de A., Pires, M. R., Villela, L. S., Scatolino, M. V., Protásio, T. de P., Mendes, L. M., & Guimarães Júnior, J. B. (2020). Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. *Waste Management*, 118, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.019>

Vijayakumar, S., Chen, J., Amarnath, M., Tungare, K., Bhorl, M., Divya, M., GonzálezSánchez, Z. I., Durán-Lara, E. F., & Vaseeharan, B. (2021). Cytotoxicity, phytotoxicity, and photocatalytic assessment of biopolymer cellulose-mediated silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 628(July), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127270>

ANEXOS

Figura 5

Recepción de muestras de cacao



Figura 6

Troceado de mazorca de cacao



Figura 7

Mazorca de cacao deshidratado



Figura 8

Pulpa de café deshidratado



Figura 9

Mazorca de cacao molida /tamizada



Figura 10

Pulpa de café molida/tamizada

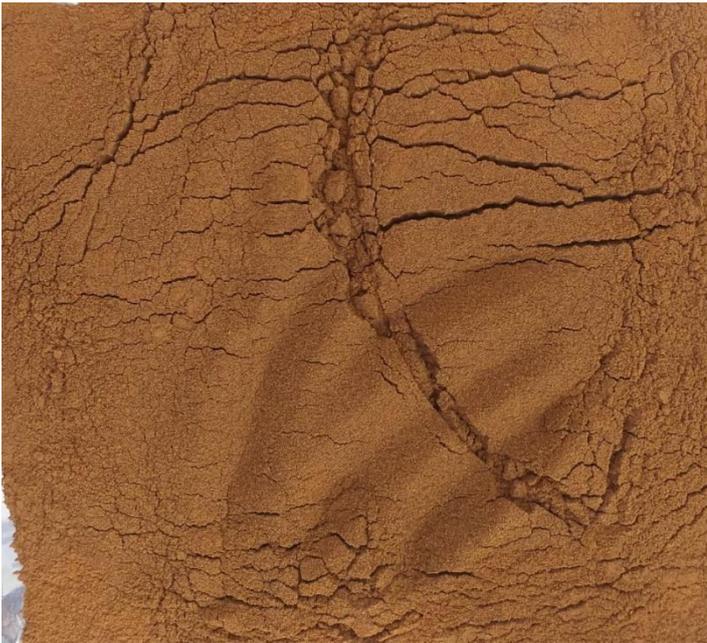


Figura 11

Tratamiento alcalino



Figura 12

Evaluación de lignina de subproductos de café y cacao



Figura 13

Evaluación de holocelulosa de subproducto de café y cacao

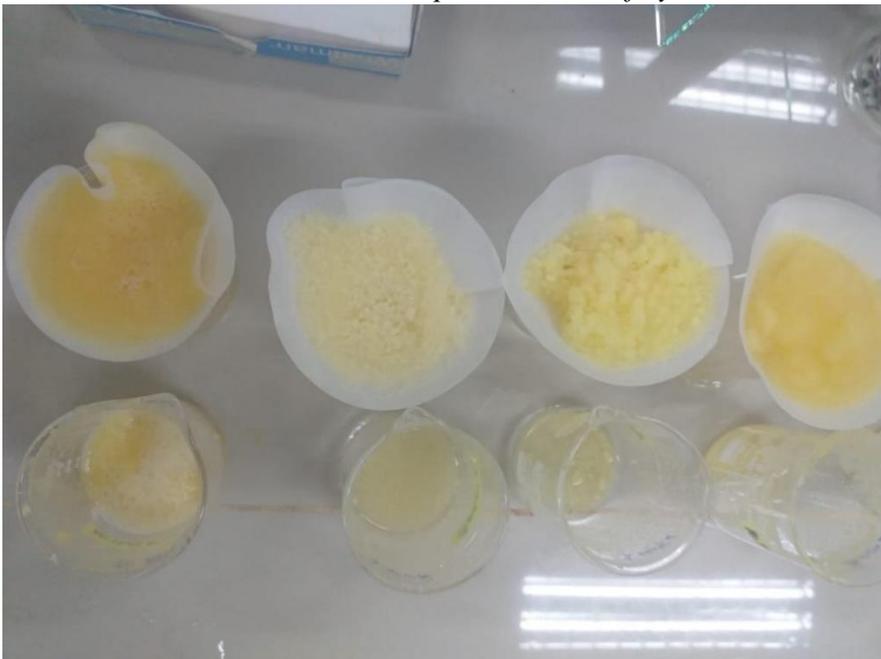


Figura 14

Evaluación de hemicelulosa de subproductos de café y cacao



Figura 15

Celulosa de subproductos de café y cacao



Figura 16

Evaluación DSC de subproductos de café y cacao

