

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE
PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y COMPUESTOS
CELULÓSICOS DEL CAFÉ (*Coffea arabica*)**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**AUTORES : Bach. Karla Gretel Cabrejos Castillo
Bach. Jackeline Elizabeth Maluquis Sánchez**

**ASESOR : M. Cs. Adán Díaz Ruiz
Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : Desarrollo y Caracterización de Productos

JAÉN-PERÚ, DICIEMBRE 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDAD
ES.pdf**

AUTOR

**Karla Gretel Cabrejos Castillo Jackeline
Elizabeth Maluquis Sánchez**

RECUENTO DE PALABRAS

11131 Words

RECUENTO DE CARACTERES

58274 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

68 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Feb 1, 2024 9:07 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Feb 1, 2024 9:09 AM GMT-5

● **7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
INGENIERO EN SISTEMAS DE INGENIERÍA
INGENIERO EN SISTEMAS DE INGENIERÍA
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2019-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 05 de diciembre del año 2023, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Juan Dario Rios Mera

Secretario: M.Sc. Yuriko Sumiyo Murillo Domen

Vocal: M.Sc. Eliana Milagros Cabrejos Barrios, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) Y COMPUESTOS CELULÓSICOS DEL CAFÉ (*Coffea arabica*)".

presentado por las tesis **Jackeline Elizabeth Maluquis Sánchez** y **Karla Gretel Cabrejos Castillo** de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:


(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:


- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 11:10 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Jaén, 05 de diciembre de 2023



Dr. Juan Dario Rios Mera
Presidente



M.Sc. Yuriko Sumiyo Murillo Domen
Secretario



M.Sc. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Vocal

Índice

Índice de Tablas	6
Índice de Figuras.....	7
Índice de Anexos.....	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MATERIALES Y MÉTODOS	16
2.1. Materiales, población, muestra y muestreo	16
2.1.1. Materiales	16
2.1.2. Objeto de estudio	16
2.1.3. Ubicación	16
2.1.4. Muestra biológica	16
2.1.5. Muestreo.....	17
2.2. Extracción de almidón de plátano verde.....	17
2.3. Extracción de celulosa de cascarilla de café pergamino	20
2.4. Formulación del bioplástico	23
2.5. Determinación de las propiedades mecánicas del bioplástico	24
2.6. Diseño experimental	25
2.7. Análisis de datos.....	26
III. RESULTADOS	27
3.1. Rendimiento de la extracción de almidón de plátano verde (<i>M. paradisiaca</i>). 27	
3.2. Rendimiento de extracción de compuestos celulósicos de la cascarilla de café pergamino (<i>Coffea arabica</i>).....	27

3.3. Bioplásticos con diferentes concentraciones de almidón y compuestos celulósicos	28
3.4. Determinación de propiedades mecánicas del bioplástico	30
3.4.1. Tracción.....	30
3.4.2. Elongación.....	33
3.4.3. Flexión.....	36
3.4.4. Comparación de medias Tukey para las variables respuesta Tracción, Elongación y flexión.....	38
IV. DISCUSIÓN	41
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones.....	44
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	45
DEDICATORIA	48
AGRADECIMIENTO	48
DEDICATORIA	49
AGRADECIMIENTO	49
VII. ANEXOS	50

Índice de Tablas

Tabla 1	Formulaciones de bioplástico para cada tratamiento.....	21
Tabla 2	Diseño experimental de la investigación.....	23
Tabla 3	Repeticiones y promedio de los valores del indicador tracción.....	28
Tabla 4	Análisis de varianza ANOVA para el indicador tracción.....	30
Tabla 5	Comparaciones de medias Tukey para el indicador tracción.....	30
Tabla 6	Repeticiones y promedio de los valores del indicador elongación.....	31
Tabla 7	Análisis de varianza ANOVA para el indicador elongación.....	33
Tabla 8	Comparaciones de medias Tukey para el indicador elongación.....	33
Tabla 9	Repeticiones y promedio de los valores del indicador flexión.....	34
Tabla 10	Análisis de varianza ANOVA para el indicador flexión.....	35
Tabla 11	Comparaciones de medias Tukey para el indicador flexión.....	35
Tabla 12	Comparaciones de medias para las diferentes respuestas al evaluar la concentración de almidón.....	36
Tabla 13	Comparaciones de medias para las diferentes respuestas al evaluar la concentración de celulosa.....	36
Tabla 14	Comparaciones de medias de Tukey para las respuestas al evaluar la interacción concentración de almidón – concentración celulosa.....	37
Tabla 15	Porcentaje de rendimiento y humedad del almidón extraído de plátano verde (<i>Musa paradisiaca</i>).....	48
Tabla 16	Porcentaje de rendimiento y humedad de celulosa extraída de la cascarilla de café pergamino (<i>Coffea arabica</i>).....	49

Índice de Figuras

Figura 1	Flujograma de obtención de almidón de plátano verde.....	17
Figura 2	Flujograma de extracción de celulosa de cascarilla de café pergamino.....	20
Figura 3	Flujograma de elaboración de bioplásticos.....	22
Figura 4	Prueba de Lugol.....	25
Figura 5	Interacción - Concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la tracción.....	29
Figura 6	Interacción - concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la elongación.....	32
Figura 7	Interacción - concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la flexión.....	34

Índice de Anexos

Anexo 1	Extracción de almidón de plátano verde (<i>Musa paradisiaca</i>).....	48
Anexo 2	Extracción de compuestos celulósicos de la cascarilla de café pergamino (<i>Coffea arabica</i>).....	49
Anexo 3	Supuestos para la aplicación de estadística paramétrica.....	50
Anexo 4	Análisis estadístico para el experimento factorial 3 x 3.....	53
Anexo 5	ANOVA a las interacciones CA:CC.....	58
Anexo 6	Galería de fotos del proceso de la extracción del almidón.....	61
Anexo 7	Galería de fotos del proceso de extracción de la cascarilla de café pergamino.....	64
Anexo 8	Galería de fotos de la elaboración del bioplástico.....	66
Anexo 9	Galería de fotos de la realización de las pruebas mecánicas.....	67

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue realizar la caracterización de las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido con almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) y compuestos celulósicos de la cascarilla de café (*Coffea arabica*). La investigación se realizó en cuatro etapas: extracción de almidón, extracción de celulosa, elaboración de bioplástico y pruebas mecánicas. En la etapa de producción del bioplástico se utilizó almidón en las concentraciones de 9, 12 y 15 % y celulosa en las concentraciones de 2, 4 y 6 % mezclándolos con glicerina, ácido acético, cloruro de calcio y agua destilada. Se caracterizó las propiedades mecánicas tales como tracción, elongación y flexión. El bioplástico con mayor tracción fue la formulación F9 (15% almidón, 6% celulosa) con $2.23 \text{ N} \pm 0.242$ y con menor tracción la formulación F1 (9% almidón, 2% celulosa) con $0.17 \text{ N} \pm 0.069$; la formulación F7 (15% almidón, 2% celulosa) presentó la mayor elongación de $10.3 \text{ cm} \pm 1.528$ y mayor flexión $13.3 \text{ cm} \pm 1.155$; y la formulación F3 (9% almidón, 6% celulosa) tuvo la menor elongación de $3.33 \text{ cm} \pm 0.577$ y menor flexión de $9.33 \text{ cm} \pm 1.155$. El aumento de la concentración de almidón favorece a la tracción, elongación y flexión, sin embargo, el aumento de la concentración de celulosa solo favorece a la tracción, desfavorece a la elongación y es indiferente para la flexión.

Palabra clave: Extracción de almidón, extracción de celulosa, elasticidad, tracción, flexión.

ABSTRACT

The objective of the research was to characterize the mechanical properties of the bioplastic obtained with banana starch (*Musa paradisiaca*) and cellulosic compounds from coffee husks (*Coffea arabica*). The research was carried out in four stages: starch extraction, cellulose extraction, bioplastic production and mechanical tests. In the bioplastic production stage, starch was used in concentrations of 9, 12 and 15% and cellulose in concentrations of 2, 4 and 6%, mixing them with glycerin, acetic acid, calcium chloride and distilled water. Mechanical properties such as traction, elongation and bending were characterized. The bioplastic with the highest traction was the F9 formulation (15% starch, 6% cellulose) with $2.23 \text{ N} \pm 0.242$ and the F1 formulation (9% starch, 2% cellulose) with the lowest traction was the F1 formulation (9% starch, 2% cellulose) with $0.17 \text{ N} \pm 0.069$; Formulation F7 (15% starch, 2% cellulose) presented the greatest elongation of $10.3 \text{ cm} \pm 1.528$ and greatest flexion of $13.3 \text{ cm} \pm 1.155$; and formulation F3 (9% starch, 6% cellulose) had the lowest elongation of $3.33 \text{ cm} \pm 0.577$ and the lowest bending of $9.33 \text{ cm} \pm 1.155$. The increase in starch concentration favors traction, elongation and flexion, however, the increase in cellulose concentration only favors traction, disfavors elongation and is indifferent to flexion.

Keyword: Starch extraction, cellulose extraction, elasticity, traction, bending.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la contaminación por plásticos se ha convertido en una de las principales preocupaciones debido a que generan impactos desfavorables en el medio ambiente porque su proceso de degradación tarda entre 100 a 1000 años. Estos polímeros son fabricados a partir de los derivados del petróleo y por lo tanto son altamente resistentes a la degradación, ante esta problemática surgen nuevas alternativas de tecnología que permiten la obtención de nuevos productos biodegradables a partir de biopolímeros naturales tales como el almidón, celulosa, lignina y otros biopolímeros que se pueden obtener de residuos agrícolas (Osorio y Rubiano, 2019).

En la actualidad se están desarrollando investigaciones en búsqueda de materiales que sustituyan a los plásticos convencionales, estos materiales son denominados bioplásticos que podrán constituir una nueva generación de plástico que reduzca significativamente el impacto ambiental en términos de efecto invernadero y la formación de nanopartículas de plásticos que están llegando al mar afectando a diversos organismos, generando ventajas positivas en el medio ambiente con una degradación más rápida (Ortega, 2019).

A nivel nacional, según SERVINDI, (2022) entre los residuos sólidos en el Perú, los plásticos son el segundo componente de mayor importancia, los cuales se han incrementado alrededor de 21 millones de toneladas de basura o residuo sólido. De ese total, casi el 40% termina en río, lagos, quebradas, mares o botaderos por todo el país, esto puede dañar a largo plazo la biodiversidad, la economía y, potencialmente nuestra salud.

El café es un producto bandera que cada año gana nuevos mercados a nivel mundial llegando a un total de 44 países, los principales destinos son Estados Unidos, Alemania, Bélgica, España y otras naciones europeas por su alta calidad (Andina, 2023).

En la provincia de Jaén el 65% de pobladores se dedica al cultivo de café, constituyéndose la principal actividad económica para muchas familias. La mayor parte de café producido es para exportación, sin embargo, una parte son procesadas por agroindustrias. Vargas y Pérez (2018) indican que la producción de café genera productos de desecho como parte de la cadena de producción; todo proceso productivo en la agroindustria, sin importar la escala, genera residuos agroindustriales a diferentes niveles.

Los residuos agroindustriales poseen un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen elaboración de nuevos productos, aportar valor agregado y recuperar condiciones ambientales (Vargas y Pérez, 2018). Los residuos del café tiene un alto contenido de celulosa y desempeñan un papel importante para la obtención de un bioplástico cuya utilización contribuiría a la disminución de la contaminación ambiental generada por los plásticos (Cedeño y Zambrano, 2021).

Diversos autores han señalado a diferentes especies de plátano verde, entre los más comunes plátano bellaco o macho como una buena materia prima para la obtención de almidón, ya que es el principal componente del plátano antes de llegar a su maduración y constituye del 70 al 80% de la materia seca (Pinzón et al., 2013).

El plátano verde y la cascarilla del café se presentan como alternativa para la producción de bioplásticos debido a que contienen polímeros de origen vegetal, pues los residuos de la fruta representan una fuente para la obtención de almidón y de la cascarilla de café se obtiene celulosa. Actualmente los plásticos biodegradables tienen un uso principal en el mercado de envases, gracias a su preservación y protección de productos alimenticios o cualquier otro tipo, lo cual se ve reflejado en la disminución de plásticos derivados del petróleo (Lema y Manzo, 2021).

Jannah et al., (2019) determinaron el efecto de un polímero de soporte, como la quitosana, en las propiedades mecánicas de los bioplásticos. Las etapas de esta investigación fueron la extracción de celulosa del salvado de arroz mediante el método de maceración, la optimización de la concentración de hipoclorito de sodio (NaClO) como agente blanqueador y la fabricación de bioplásticos con diversos tratamientos. El estudio mostró que la concentración óptima de NaClO fue del 2.0%, con un contenido de celulosa del 59.2% en

forma de polvo blanco. Concluyeron que el mejor bioplástico fue el de la celulosa-sorbitol-quitosana (CSQ) con una resistencia a la tracción de 0.060 Kg-f/cm² y una elongación del 4.75%. La interacción entre la celulosa del salvado de arroz, la adición de relleno y el plastificante afectó la calidad del bioplástico.

Rojas y Hernández (2022) obtuvieron vasos desechables empleando la pulpa de café, evaluaron inicialmente dos concentraciones diferentes de NaOH para determinar cuál de ellas generaba un mayor porcentaje de extracción de alfa celulosa. Encontraron que la concentración óptima fue 60 g/L de NaOH durante 1 h y 30 min, con un rendimiento promedio de extracción de alfa celulosa del 57.23%. A partir de esta extracción, se obtuvo una pasta de pulpa de café que fue moldeada y luego prensada para aplicar tecnológicamente la celulosa obtenida en el diseño del vaso. Este vaso tiene la finalidad de ser utilizado para bebidas, brindando así una posible aplicación para este producto derivado de la industria cafetera.

Meza (2016) desarrolló un bioplástico utilizando residuos de papa de la variedad 'Yungay' y evaluó su biodegradabilidad. La investigación se realizó en tres etapas: la extracción de almidón, la elaboración del bioplástico y la realización de pruebas de biodegradabilidad para el bioplástico. En la primera etapa, se utilizó el método de decantación, se trabajó con residuos, se procesaron 20 kg de papas para evaluar sus características y para elaborar el bioplástico. En la segunda etapa, se empleó la metodología basada en la hidrólisis química del almidón para lograr su polimerización. Se añadieron plastificantes como agua y glicerol, y se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de los bioplásticos fabricados con diferentes cantidades de aditivos. Se concluyó que el bioplástico más resistente estuvo compuesto por 5 mL de glicerina, 3 mL de ácido acético, 10 g de almidón, 60 mL de agua destilada y elaborado a 150 °C. Dicho material alcanzó un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99 % en el ensayo de tracción.

Ortega (2019) desarrolló un bioplástico utilizando paja de arroz y residuos de granos de arroz, la extracción de la celulosa de la paja se llevó a cabo mediante la eliminación de hemicelulosa y lignina, utilizando hidrólisis básica con hidróxido de sodio (NaOH) al 10 %, y luego se blanqueó la pulpa utilizando hipoclorito de sodio (NaClO) al 1 %. Para obtener el almidón, los residuos de granos de arroz se trituraron, se mezclaron con agua, se permitió que la mezcla sedimentara, se filtró y finalmente se secó el almidón. Los porcentajes de

recuperación obtenidos fueron aproximadamente $42.06\% \pm 3.21\%$ para la celulosa y $47.44\% \pm 7.09\%$ para el almidón. En la etapa de elaboración del bioplástico, se crearon dos formulaciones con diferentes proporciones de almidón y celulosa. Estos componentes se mezclaron con ácido acético, glicerina y agua, y luego se procedió a la obtención de los resultados correspondientes. Se concluyó que el mejor bioplástico fue la formulación con 20 g de almidón, 4 g de celulosa, 10 mL de glicerina, 5 mL de ácido acético y 61 mL de agua destilada.

El uso excesivo de los plásticos en las industrias cada vez es mayor, por esta razón se busca nuevas alternativas, es el caso de la cascarilla, residuo del café, el cual tiene un alto contenido de celulosa, desempeñando un papel importante para la obtención de bioplásticos, disminuyendo así la contaminación ambiental generada tanto por los residuos como por los plásticos convencionales. Actualmente los bioplásticos tienen la ventaja de degradarse fácilmente, debido a que provienen de fuentes renovables como lo son, lípidos, proteínas y polisacáridos, destacando por su abundancia en la naturaleza y facilidad en el proceso de plastificación. Una de estas nuevas alternativas, sería el uso de bioplásticos, que son polímeros naturales obtenidos a partir de residuos agrícolas como la celulosa (presente en la mayoría de las cascaras de frutos) y el almidón. Además, son 100% degradables y versátiles.

El uso de polímeros naturales provenientes de residuos agroindustriales del café y plátano son de importancia para la obtención de bioplásticos, permitiendo de esta manera disminuir la acumulación de desechos y generar ingresos extras tanto a productores como a las agroindustrias. Estos bioplásticos fácilmente podrían ser usados como insumos alternativos para la elaboración de envases y empaques para alimentos.

Ante la problemática descrita, la presente investigación propone una solución dando un valor agregado a estas materias primas con la finalidad de reducir el impacto generado por el plástico derivado del petróleo a través de la obtención de un bioplástico obtenido de desechos de café. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Se obtendrá bioplástico con buenas características mecánicas a partir de residuos celulósicos de cascarilla de café y almidón de plátano?

El objetivo de la investigación fue caracterizar las propiedades mecánicas del bioplástico de almidón de plátano (*M. paradisiaca*) y compuestos celulósicos de la cascarilla de café pergamino (*C. arabica*) y los objetivos específicos fueron: a) determinar el rendimiento de extracción de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*), b) determinar el rendimiento de extracción de los compuestos celulósicos de la cascarilla del café (*Coffea arabica*) pergamino, c) formular bioplásticos con diferentes concentraciones de almidón y compuestos celulósicos, d) determinar las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales, población, muestra y muestreo

2.1.1. Materiales

Para la realización de la investigación se utilizó como materia prima cascarilla de café pergamino (*C. arabica*) recolectada en el distrito de Chirinos en la temporada de cosecha del mes de Julio del 2022 y plátano verde (*M. paradisiaca*) recolectada del distrito de Huabal en la cosecha del mes de Julio del 2022.

Los insumos que se emplearon para la extracción del almidón de plátano y compuestos celulósicos de cascarilla café pergamino fueron: hipoclorito de sodio, metabisulfito de sodio, hidróxido de sodio y para la elaboración del bioplastico se utilizó: plastificante (glicerina), disolvente (agua), aditivo (cloruro de calcio) y conservante (ácido acético).

2.1.2. Objeto de estudio

La investigación se desarrolla dentro del campo de biopolímeros naturales derivados a partir de productos agrícolas y residuos agroindustriales, con el propósito de elaborar nuevos materiales que pueden ser utilizados dentro de la misma industria alimentaria o en otros campos.

2.1.3. Ubicación

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad de Jaén.

2.1.4. Muestra biológica

Constituida por 2 kg de cascarilla de café pergamino adquirida en la Cooperativa Churupampa – Chirinos procedente de la producción del mes de Julio del 2022 y 47 kg de plátano verde procedente de la chacra del Sr. Simión Maluquis Guevara del Distrito de Huabal recolectado en el mes de Julio 2022.

2.1.5. Muestreo

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia.

2.2. Extracción de almidón de plátano verde

- **Recepción de la materia prima**

El plátano verde procedente de la localidad de Huabal, se recepcionó y acondicionó en jabas de madera, para luego ser transportadas a la ciudad de Jaén, se almacenó en refrigeración (Bosch /ECO-TT4617/Perú) durante un día a una temperatura de 10 °C, hasta el momento de su proceso.

- **Lavado 1 y desinfección**

Los plátanos se colocaron en un tazón de acero inoxidable limpio de 3 L de capacidad y se lavaron con agua corriente de la red pública para eliminar restos de tierra y otros materiales. Luego se colocaron en inmersión, en un balde de plástico limpio de 20 L en una solución de hipoclorito de sodio al 1% p/v (50 ppm), durante 10 minutos como mínimo. Luego se extrajeron y se colocaron en escurridores de acero inoxidable y se dejaron secar a temperatura ambiente, como se observa en la Figura 8, del Anexo 6.

- **Pelado**

Con un cuchillo de acero inoxidable limpio y desinfectado se separó la cáscara de la pulpa, en un vaso de precipitación se preparó la solución de metabisulfito de sodio al 0.5% diluyéndolo en agua destilada, luego se añadió al recipiente de acero inoxidable limpio de 3 L de capacidad y se agregó la pulpa, como se puede observar en la Figura 9, del Anexo 6.

- **Cortado**

Se cortó el plátano en rodajas de aproximadamente 5 mm de espesor, luego se añadió al recipiente de acero inoxidable limpio de 3 L de capacidad que contenía solución de metabisulfito de sodio para evitar el pardeamiento de la pulpa, como se puede observar en la Figura 10 y 11, del Anexo 6.

- **Licuadao**

En una licuadora industrial (Croydon/TC25-26339/Brasil) se puso las rodajas de plátano con la solución de bisulfito de sodio y se licuó la muestra hasta obtener una pasta fina. Se añadió agua destilada en una proporción respecto a la materia prima 1:2, como se puede observar en la Figura 12, del Anexo 6.

- **Filtrado**

Con una tela organza de 40 x 40 cm previamente limpia, se filtró la mezcla en un balde de 5 L con la finalidad de separar el almidón, que es arrastrado junto con el agua lechosa, de las fibras, tal como se puede observar en la Figura 13 y 14, del Anexo 6.

- **Decantado**

En un balde de plástico de 5 L de capacidad limpio y desinfectado, se colocó la muestra filtrada y se dejó a decantar en una refrigeradora (Bosch/ECO-TT4617/Perú) a 6 °C por 1 h, como se puede observar en la Figura 15, del Anexo 6.

- **Lavado 2**

Se decantó el sobrenadante y se añadió agua destilada, agitándolo durante 10 minutos y se llevó a refrigeración a 6 °C por 24 horas, este procedimiento se repitió hasta que el agua sobrenadante sea clara y transparente tal como se puede observar en la Figura 16, del Anexo 6.

- **Secado**

En una placa Petri se colocó el sólido decantado y luego se llevó a la estufa (Kertlab/TC25-26339-7/USA) a una temperatura de 60 °C por 24 horas, como se puede observar en la Figura 17 y 18, del Anexo 6.

- **Molido**

Se retiró la pasta sólida seca de la estufa, se trituroó en un mortero hasta obtener polvos finos y luego se volvió a colocar en la estufa a 60 °C hasta que su humedad sea inferior al 14% el cual se determinó mediante un analizador de humedad (Sartorius/MA35/Alemania), como se puede observar en la Figura 19 y 20, del Anexo 6.

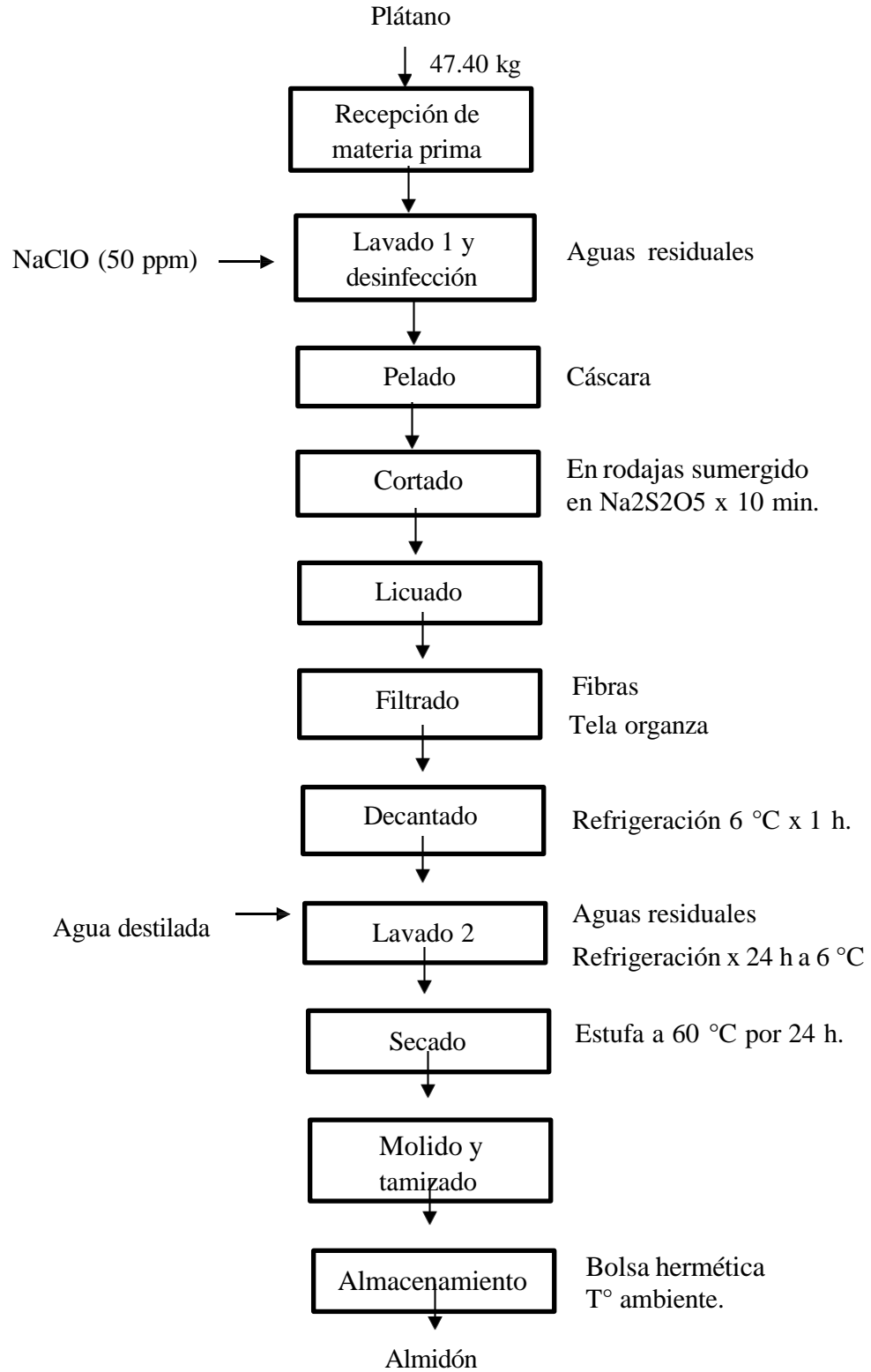
- **Prueba de identificación de almidón**

Según la Farmacopea de Estados Unidos (USP) y el Formulario Nacional (NF) USP NF25 encontrado en la investigación de (Iguardia, 2013) se realizaron los siguientes pasos para la prueba de Lugol.

Se diluyó 1 g de almidón de plátano en 50 mL de agua destilada y se hirvió por un minuto. Luego se dejó enfriar. Se adicionó 1 mL de la solución en una luna de reloj y se añadió tres gotas de reactivo de Lugol. Se observó la coloración azul intenso al mezclar con la solución, que confirmó la presencia de almidón, como se observa en la Figura 21, del Anexo 6.

Figura 1

Flujograma de extracción de almidón de plátano



2.3. Extracción de celulosa de cascarilla de café pergamino

Se empleó el método desarrollado por Ortega (2019) con algunas modificaciones.

- **Recepción de materia prima**

La cascarilla de café pergamino procedente de la localidad de Chirinos, se recibió en un saco limpio, para luego ser transportada a la ciudad de Jaén.

- **Lavado 1**

La cascarilla de café pergamino se colocó en un balde limpio de 20 litros de capacidad y se lavó con abundante agua corriente de la red pública con la finalidad de eliminar tierra y otras impurezas, como se observa en la Figura 22, del Anexo 7.

- **Secado 1**

Se colocó la cascarilla lavada en escurridores de acero inoxidable a temperatura ambiente para eliminar el exceso de agua, como se observa en la Figura 23, del Anexo 7.

- **Secado 2**

La cascarilla escurrida se puso en placas Petri limpias de 14 cm de diámetro y se llevó a secar en una estufa a 65 °C por un lapso de 24 horas, como se observa en la Figura 24, del Anexo 7.

- **Molienda**

La cascarilla seca se molió empleando un molino eléctrico para reducir su tamaño, luego se tamizó (tamiz de ensayo estándar N° 60 de 250 micras), el producto obtenido se almacenó en bolsas herméticas a temperatura ambiente.

- **Extracción de celulosa**

En una balanza analítica (Ohaus/PAJ12102/Perú) se pesó 70 g de cascarilla tamizada, se colocó en un vaso de precipitados de 800 mL. se agregó 560 mL de hidróxido de sodio al 10 % (p/v) para eliminar la hemicelulosa, lignina y otras sustancias; la mezcla se calentó a 60 °C con agitación magnética durante 4 horas, como se puede observar en la Figura 25, del Anexo 7.

- **Reposo y decantación**

Se dejó reposar la mezcla durante 20 minutos, se decantó el líquido sobrenadante con la finalidad de separar la fibra de celulosa.

A la celulosa decantada se le añadió 600 mL agua destilada, se agitó durante 10 min, se dejó en reposo durante 2 h. Al término del cual, se decantó el líquido

sobrenadante. Este proceso se repitió 3 veces, como se observa en la Figura 26, del Anexo 7.

- **Blanqueamiento de la fibra de celulosa**

La fibra de celulosa obtenida fue sometida a un proceso de blanqueamiento utilizando 800 mL de hipoclorito de sodio al 2% (p/v), se agitó 20 min en un agitador magnético (Velp/F2053C162/Perú). Este proceso se repitió de manera iterativa hasta lograr la completa decoloración de la fibra de celulosa, como se observa en la Figura 27 y 28, del Anexo 7.

- **Lavado 2**

La fibra de celulosa se lavó mediante decantación hasta su neutralización del líquido sobrenadante (pH 7).

- **Secado 3**

La fibra de celulosa obtenida se colocó en placas Petri limpias de 14 cm de diámetro y se secó en la estufa (Kertlab/TC25-26339-7/USA) durante 19 horas a 60 °C, como se observa en la Figura 29, del Anexo 7.

- **Molido y tamizado**

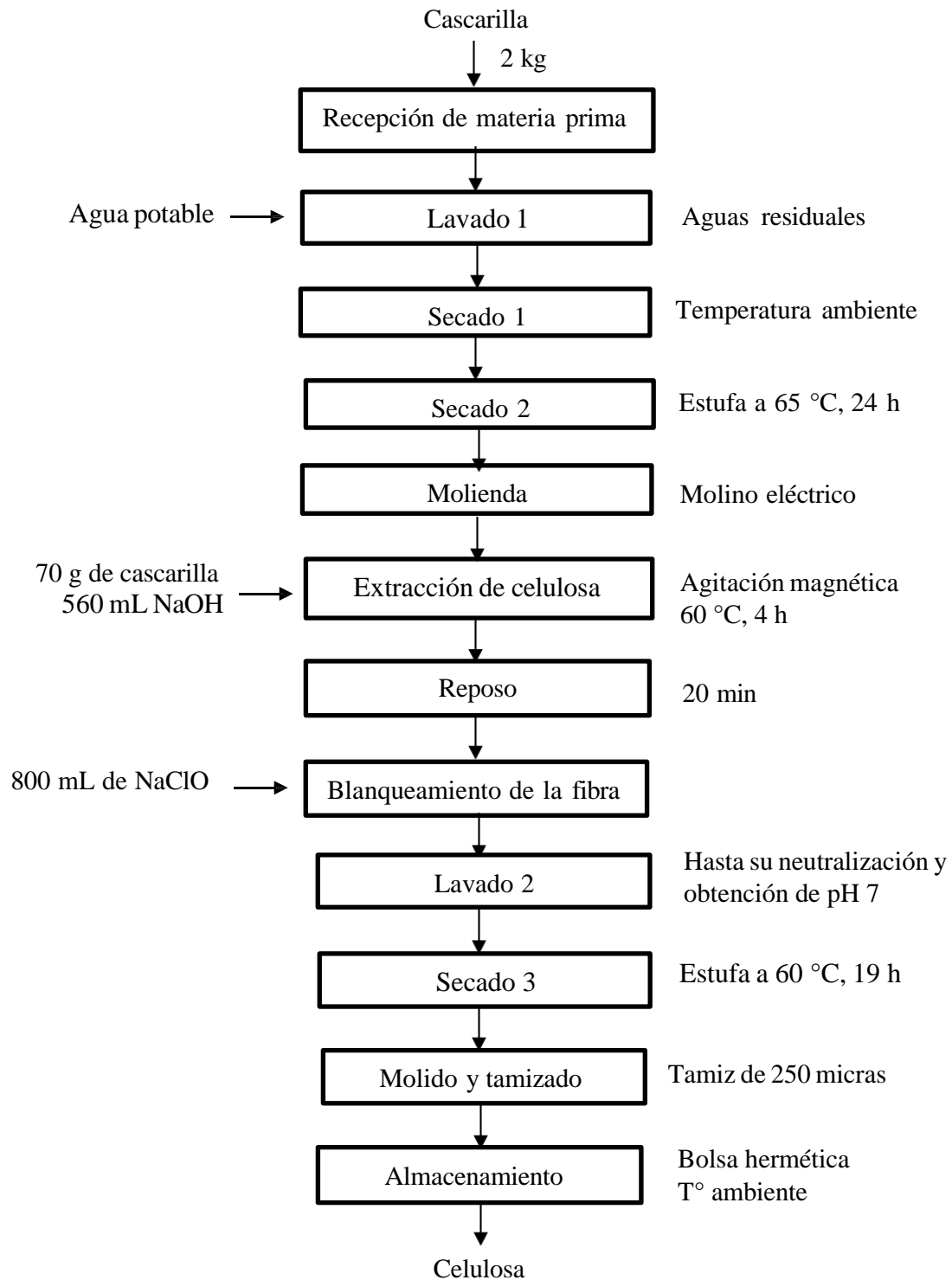
Se redujo el tamaño de la fibra de celulosa en un mortero de porcelana y se tamizó (tamiz de ensayo estándar N° 60 de 250 micras) y se registró su peso, como se observa en la Figura 30 y 31, del Anexo 7.

- **Almacenado**

La fibra de celulosa se almacenó en bolsa hermética a temperatura ambiente para su procesamiento.

Figura 2

Flujograma de extracción de celulosa de cascarilla de café pergamino



2.4. Formulación del bioplástico

Se realizaron 9 formulaciones tal como se muestra en la Tabla 1, con 3 repeticiones para cada uno.

Tabla 1

Formulaciones de bioplástico para cada tratamiento.

Formulación	Almidón (g)	Celulosa (g)	Agua Destilada (mL)	Ácido acético (mL)	Glicerina (mL)	CaCl ₂ (g)
F-1	9	2	77	1	10	1
F-2	9	4	75	1	10	1
F-3	9	6	73	1	10	1
F-4	12	2	74	1	10	1
F-5	12	4	72	1	10	1
F-6	12	6	70	1	10	1
F-7	15	2	71	1	10	1
F-8	15	4	69	1	10	1
F-9	15	6	67	1	10	1

- Mezclado

En un vaso de precipitado de 250 mL se mezcló almidón de plátano con agua destilada mediante agitación constante empleando un agitador magnético hasta obtener una suspensión uniforme. Se añadió glicerina, ácido acético y cloruro de calcio.

- Calentamiento

Se calentó la mezcla a 80 °C en agitación constante hasta la gelificación del almidón, en ese instante se añadió la celulosa en suspensión con agua destilada y se continuó con el calentamiento (aproximadamente 30 min) hasta formar una mezcla fluida uniforme, tal como se observa en la Figura 44, del Anexo 8.

- Moldeado

Se colocó la mezcla en las placas Petri previamente envueltas la con plástico film con la finalidad de retirar con facilidad el bioplástico.

- Secado

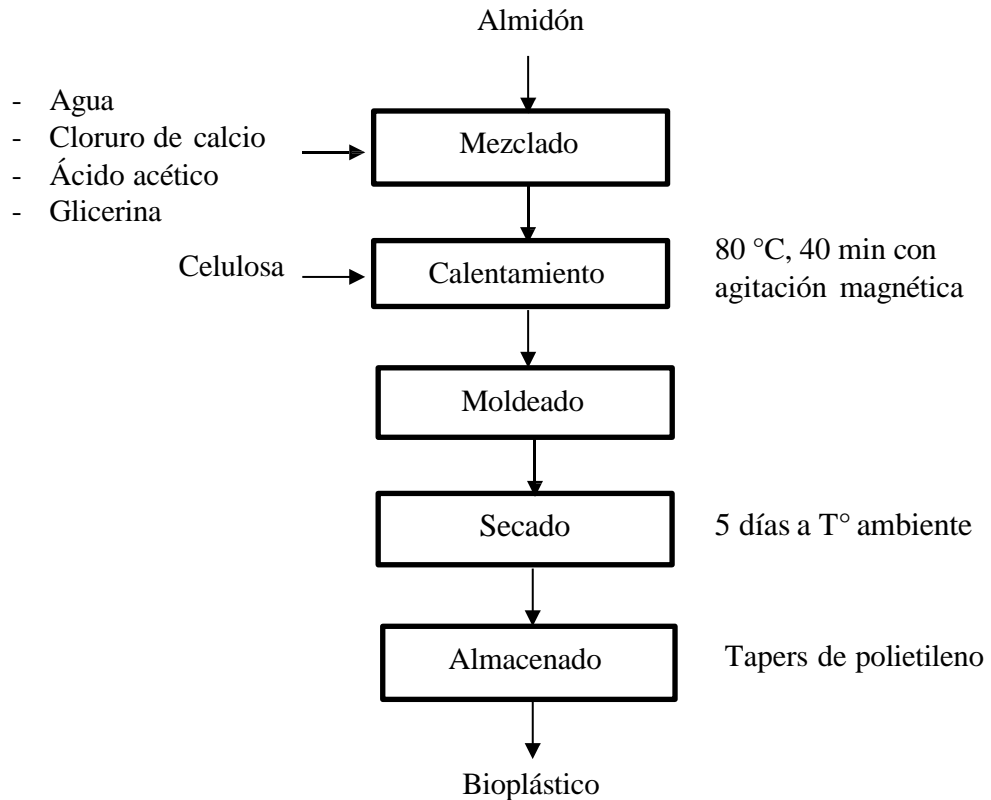
Se dejó secar el bioplástico formado durante cinco días a temperatura ambiente.

- Almacenado

Se separó el bioplástico de las placas Petri con mucho cuidado para evitar su deterioro y luego se acondicionaron en tapers de polietileno.

Figura 3

Flujograma de elaboración de bioplásticos



2.5. Determinación de las propiedades mecánicas del bioplástico

Las propiedades mecánicas elongación y flexión se evaluaron siguiendo el método propuesto por Guerrero (2020) con ligeras modificaciones.

a) Elongación

Esta propiedad mecánica se midió en un instrumento que se muestra en la figura 37, en el cual se fijó una base de mezanine y 2 sujetadores mecánicos, los bioplásticos fueron cortados en forma rectangular con dimensiones de 12 cm x 1.5 cm, se colocó las muestras fijando con un sujetador mecánico uno de los extremos, se procedió a jalar del extremo libre lentamente hasta la ruptura y se registró la distancia alcanzada, como se observa en la Figura 38, del Anexo 9.

b) Flexión

Esta propiedad mecánica se procedió a medir con un instrumento que se muestra en la figura 39, en el cual se fijó la muestra de bioplástico por sus extremos en dos sujetadores mecánicos separados entre sí 10 cm y con la ayuda de un gancho

en el centro de la tira del bioplástico se jaló hasta el instante de su ruptura y se registró la distancia desplazada, como se observa en la Figura 40, del Anexo 9.

c) **Tracción**

El instrumento donde se determinó la prueba mecánica fue elaborado utilizando una caja rectangular, en la base se fijó un sujetador mecánico que fijó un extremo la muestra. En la parte superior se colocó una balanza de triple brazo (MB2610/Schoolab/China). Por debajo del platillo de la balanza, se extiende a través de un agujero ubicado a 10 cm del lado izquierdo, un gancho que tendrá un sujetador para fijar el otro extremo de la muestra. Las muestras de bioplástico fueron cortadas con dimensiones de 12 cm x 1.5 cm. Se colocaron las muestras por los extremos en los sujetadores, tal como se muestra en la Figura 41. Luego se equilibró la balanza, de tal manera que la muestra se estabilice (la aguja marque cero). Luego se movieron las pesas hasta que se produzca la ruptura y se registró el peso (fuerza) empleado en el proceso. Figura 42, Anexo 9.

2.6. **Diseño experimental**

La investigación tuvo un arreglo bifactorial 3x3, es decir, se trabajó con dos factores de estudio: A y C (A: concentración de almidón y C: concentración de celulosa) con tres niveles cada uno, resultando nueve tratamientos. Todos los tratamientos fueron realizados con 3 repeticiones, constituyendo 27 unidades experimentales.

Tabla 2

Diseño experimental de la investigación.

Tratamiento	Almidón (A)	Celulosa (C)
F-1	A1	C1
F-2	A1	C2
F-3	A1	C3
F-4	A2	C1
F-5	A2	C2
F-6	A2	C3
F-7	A3	C1
F-8	A3	C2
F-9	A3	C3

Leyenda:**A: Almidón**

A1: Concentración de almidón al 9%.

A2: Concentración de almidón al 12%.

A3: Concentración de almidón al 15%.

C: Celulosa

C1: Concentración de celulosa al 2%.

C2: Concentración de celulosa al 4%.

C3: Concentración de Celulosa al 6%.

2.7. Análisis de datos

Se realizó el análisis varianza ANOVA y la prueba de comparación de medias Tukey al 95 % de confianza, el software utilizado fue el de desarrollo integrado para R (4.2.2), RStudio (2022.12.0 Build 353) y se usó la librería ‘agricolae’ desarrollada por De Mendiburu (2023)

III. RESULTADOS

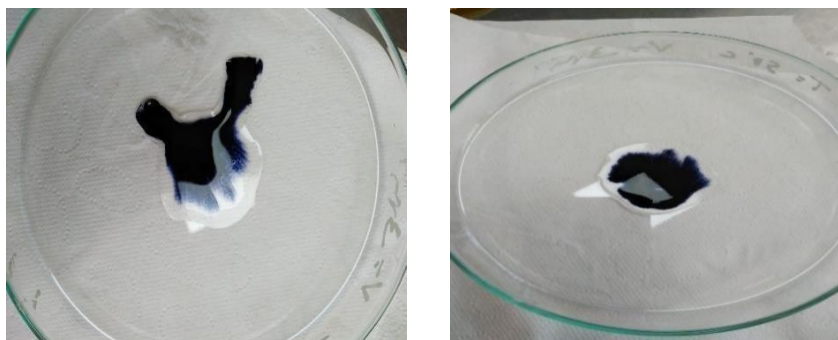
3.1. Rendimiento de la extracción de almidón de plátano verde (*M. paradisiaca*)

Se empleó 47.40 kg de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) y se obtuvo 2.323 kg de almidón con un rendimiento de 10.42% y 10.44% de humedad tal como se muestra en la Tabla 3.

Así mismo se realizó la prueba de Lugol para confirmar la presencia de almidón dando reacción positiva que se manifestó mediante la aparición de color azul intenso tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Prueba de Lugol.



3.2. Rendimiento de extracción de compuestos celulósicos de la cascarilla de café pergamino (*Coffea arabica*)

Se utilizó 2 kg de cascarilla de café pergamino, del cual se obtuvo 490 g de cascarilla en polvo tamizado con tamiz de 250 micras, obteniéndose 137.67 g de celulosa que representa un rendimiento de 28.10% respecto a la cascarilla tratada químicamente con una humedad de 10,40%, tal como se observa en la Tabla 3.


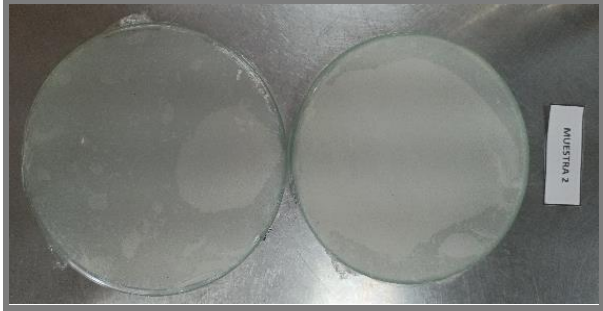
Tabla 3

Porcentaje de rendimiento y humedad de celulosa extraída de la cascarilla de café pergamino (Coffea arabica)

N° Muestra	Cascarilla (g)	Celulosa Obtenida (g)	Rendimiento (%)	Humedad (%)
1	70.0	20.60	29.43	10.40
2	70.0	19.95	28.50	10.00
3	70.0	19.50	27.86	11.30
4	70.0	21.20	30.29	9.00
5	70.0	20.50	29.29	10.20
6	70.0	18.80	26.86	11.00
7	70.0	17.12	24.46	10.90
Total	490.0	137.67	28.10	10.40

3.3. Bioplásticos con diferentes concentraciones de almidón y compuestos celulósicos

Se preparó nueve formulaciones de acuerdo como se detalla en la Tabla 1.

	Imagen	Descripción
F1		Trasparente con una apariencia lisa
F2		Trasparente con una apariencia lisa

F3



Blanco lechoso con grumos y una
apariciencia ligeramente áspera.

F4



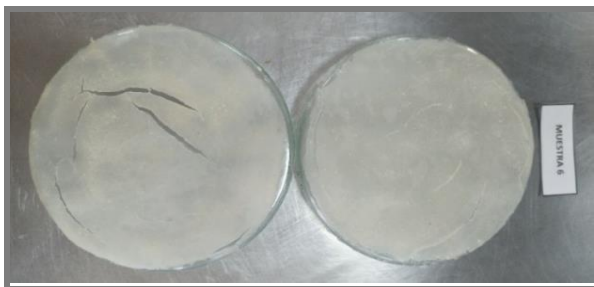
Transparente con una apariciencia
uniforme

F5



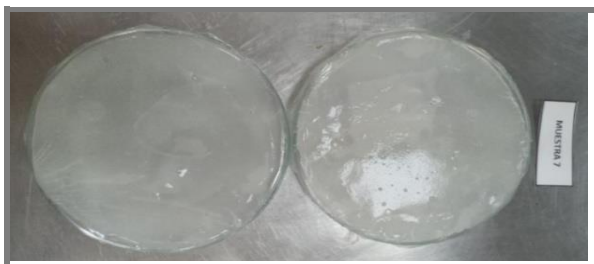
Transparente con una apariciencia
uniforme.

F6



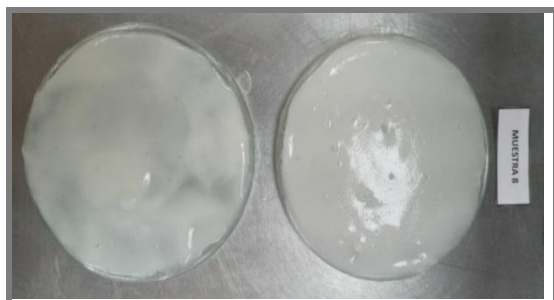
Blanco lechoso, visiblemente
quebradiza con una apariciencia
áspera.

F7



Lechoso traslúcido

F8



Blanco lechoso y fibras visibles.

F9



Blanco lechosos, fibras visibles.

3.4. Determinación de propiedades mecánicas del bioplástico

3.4.1. Tracción

En la Tabla 4 se muestran los valores de las mediciones de la tracción de las nueve formulaciones y sus repeticiones, así como sus promedios. Se observa que la formulación F1 (CA: 9%/CC: 2%) tiene el menor valor con $0.170 \text{ N} \pm 0.069$ y la formulación F9 (CA: 15%/CC: 6%) el mayor valor de $2.225 \text{ N} \pm 0.242$.

Tabla 4

Repeticiones y promedio de los valores del indicador tracción.

Formulación	R1	R2	R3	Promedio (N)
F1	0.235	0.176	0.098	0.170 ± 0.069
F2	0.286	0.343	0.325	0.318 ± 0.029
F3	0.382	0.34	0.392	0.371 ± 0.028
F4	1.17	1.162	0.568	0.967 ± 0.345
F5	1.725	1.758	1.735	1.739 ± 0.017
F6	1.722	1.848	1.765	1.778 ± 0.064
F7	1.961	1.668	2.157	1.929 ± 0.246
F8	1.559	1.529	1.569	1.552 ± 0.021
F9	2.255	1.97	2.451	2.225 ± 0.242

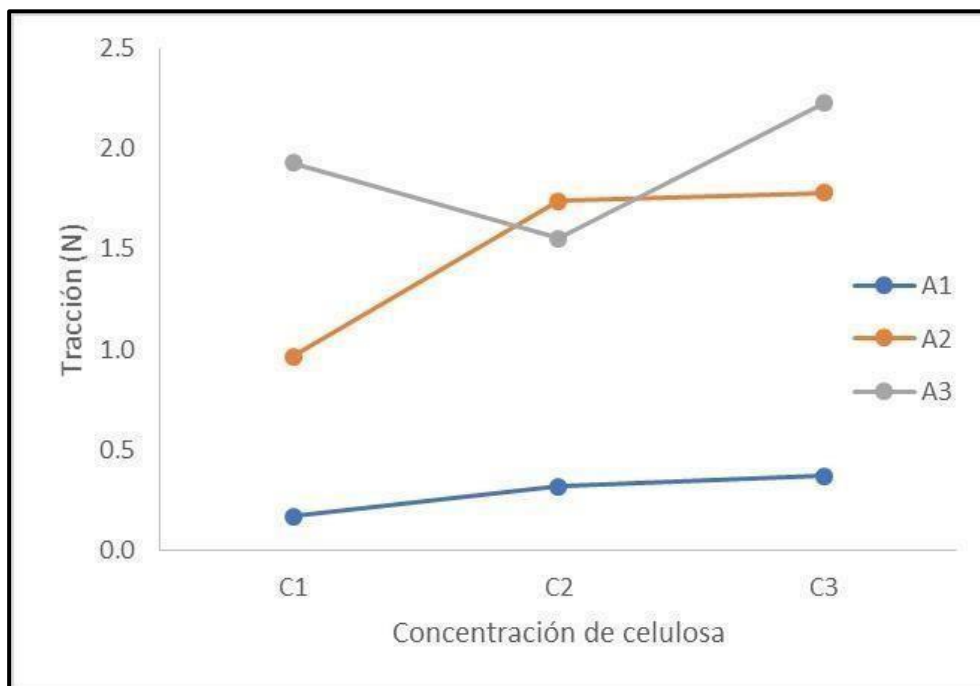
Los valores de tracción que se muestran en la tabla 4 se obtuvieron mediante conversión de gramos- fuerza (g-f) a Newton (N) utilizando la siguiente fórmula:

$$\# \square = \# \square \square \left(\frac{1 \square}{101.97 \square \square} \right) \dots \dots \dots (1)$$

En la Figura 5 se observa que el mayor valor de tracción se obtiene con la interacción A3:C3 y una menor fuerza de tracción con la interacción A1:C1. así mismo, se aprecia que a medida que aumenta las concentraciones de almidón y celulosa, aumenta el valor de la tracción.

Figura 5

Interacción - Concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la tracción.



En la Tabla 5 se muestra el análisis de varianza ANOVA para la variable respuesta tracción, se observa diferencias significativas ($p < 0,05$) de la tracción obtenida con diferentes cantidades de concentración de almidón (CA); lo mismo se observó para los valores de tracción obtenida con las diferentes cantidades de concentración de celulosa. Así mismo, el análisis de varianza en la interacción

indica que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores obtenidos de tracción. Por otro lado, el p-valor de CA en el ANOVA es menor a las demás variables; por lo cual, este indicador es el que mostró mayor impacto en el valor de la fuerza de tracción.

Tabla 5

Análisis de varianza ANOVA para el indicador tracción.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	p	Sig
CA	2	12.711	6.355	229.31	0.0000	***
CC	2	0.866	0.433	15.63	0.0001	***
CA:CC	4	1.139	0.285	10.28	0.0002	***
Residuals	18	0.499	0.028			

Nota. CA: concentración de almidón; CC: concentración de celulosa

En la Tabla 6 se observa que el indicador tracción para cada concentración de almidón y celulosa se forman grupos diferentes, esto significa que la variable respuesta tracción está siendo influenciada por la formulación del bioplástico, sin embargo, también observamos que las formulaciones con concentración C1 (2%) y C2 (4%) de celulosa que comparten el mismo grupo (b), que a pesar de presentar diferencias estadísticas ($p < 0,05$), tienen comportamientos similares para la tracción.

Tabla 6

Comparaciones de medias Tukey para el indicador tracción.

<u>Concentración de almidón</u>			<u>Concentración de celulosa</u>		
	<u>Variable</u>	<u>Grupos</u>		<u>Variable</u>	<u>Grupos</u>
A3	1.9021111	a	C3	1.458333	A
A2	1.4947778	b	C2	1.203222	B
A1	0.2863333	c	C1	1.021667	B

Nota. A: almidón; C: celulosa

3.4.2. Elongación

Los valores de las mediciones de la elongación se muestran en la Tabla 7. Se observa que la formulación F3 (CA:9 g/CC: 6 g) tiene el menor valor y la formulación F7 (CA: 15 g/CC: 2 g) el mayor valor.

Tabla 7

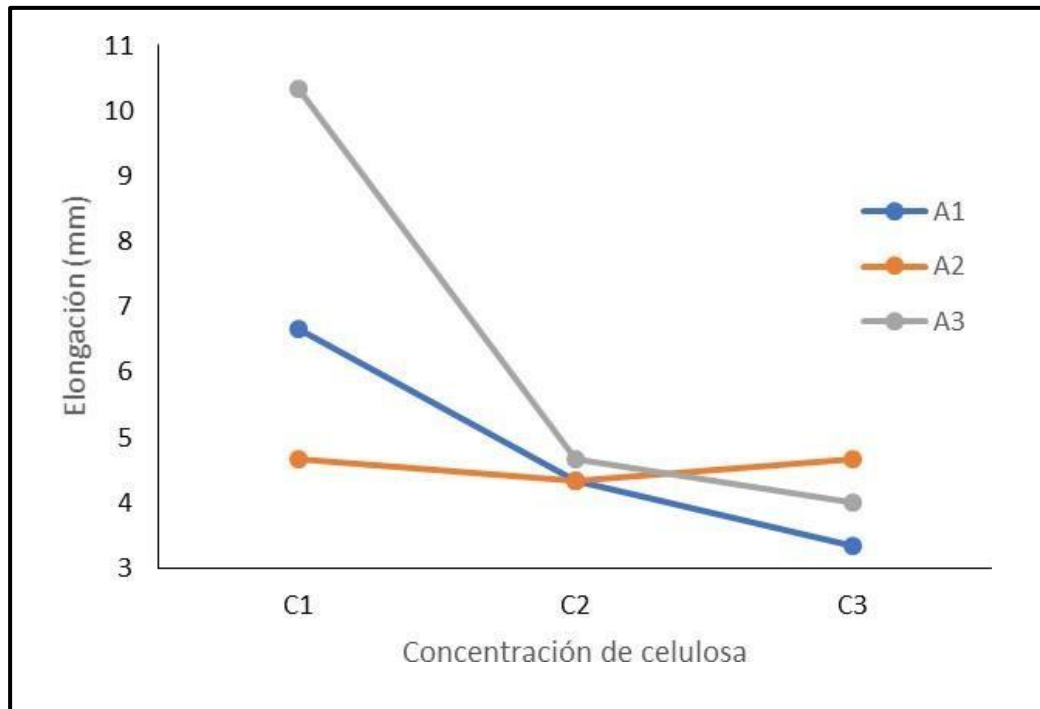
Repeticiones y promedio de los valores del indicador elongación.

Formulación	R1	R2	R3	Promedio (cm)
F1	6.00	7.00	7.00	6.667 ± 0.577
F2	5.00	4.00	4.00	4.333 ± 0.577
F3	3.00	3.00	4.00	3.333 ± 0.577
F4	4.00	5.00	5.00	4.667 ± 0.577
F5	5.00	4.00	4.00	4.333 ± 0.577
F6	4.00	5.00	5.00	4.667 ± 0.577
F7	9.00	10.0	12.0	10.333 ± 1.528
F8	5.00	5.00	4.00	4.667 ± 0.577
F9	4.00	4.00	4.00	4.000 ± 0.000

En la Figura 6 se observa que el mayor valor de elongación se obtiene con la interacción A3:C1 y una menor fuerza de elongación con la interacción A1:C3. así mismo, se aprecia que a medida que aumenta las concentraciones de celulosa, disminuye el valor de la elongación.

Figura 6

Interacción - concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la elongación.



En la Tabla 8 se muestra el análisis de varianza ANOVA para la variable respuesta elongación, se observa diferencias significativas ($p < 0,05$) de la elongación obtenida con diferentes cantidades de concentración de almidón (CA); lo mismo se observa para los valores de elongación obtenida con las diferentes cantidades de concentración de celulosa. Así mismo, el análisis de varianza en la interacción indica que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores obtenidos de elongación. Por otro lado, el p-valor de CC en el ANOVA es menor a las demás variables; por lo cual, este indicador es el que mostró mayor impacto en el valor de la elongación.

Tabla 8*Análisis de varianza ANOVA para el indicador elongación.*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	p	Sig
CA	2	16.89	8.444	16.29	9.17e ⁻⁵	***
CC	2	54.89	27.444	52.93	2.89e ⁻⁸	***
CA:CC	4	35.56	8.889	17.14	5.90e ⁻⁶	***
Residuals	18	9.33	0.519			

Nota. CA: concentración de almidón; CC: concentración de celulosa

En la Tabla 9 se observa que el indicador elongación para cada concentración de almidón y celulosa se forman dos grupos diferentes, esto significa que la variable respuesta elongación está siendo influenciada por la formulación del bioplástico, sin embargo, también observamos que las formulaciones con concentración A1 (9%) y A2 (12%) de almidón comparten el mismo grupo (b), lo que significa que estas formulaciones presentan comportamientos similares. Lo mismo ocurre con las formulaciones con concentraciones de C2 (4%) y C3 (6%) de celulosa que comparten el mismo grupo (b), que a pesar de presentar diferencias estadísticas ($p < 0,05$), tienen comportamientos similares para la elongación.

Tabla 9*Comparaciones de medias Tukey para el indicador Elongación.*

Concentración de almidón			Concentración de celulosa		
	Variable	grupos		Variable	grupos
A3	6.333333	a	C1	7.222222	a
A1	4.777778	b	C2	4.444444	b
A2	4.555556	b	C3	4.000000	b

Nota. A: almidón; C: celulosa

3.4.3. Flexión

En la Tabla 10 se muestran los valores de mediciones de la flexión. Se observa que la formulación F3 tiene la menor flexión y la formulación F7 el mayor valor.

Tabla 10

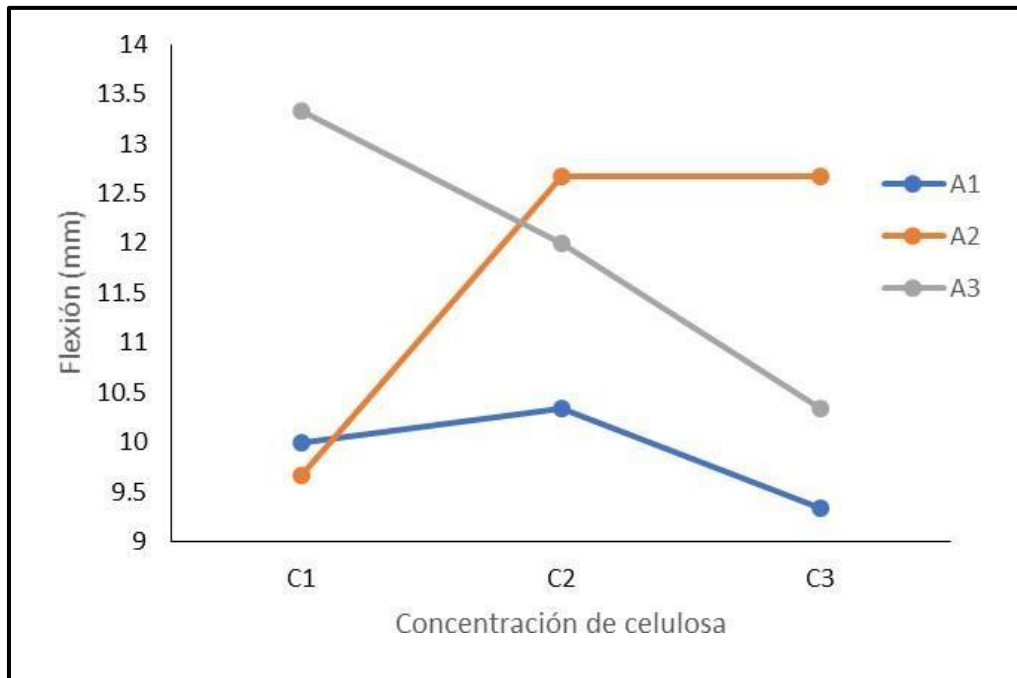
Repeticiones y promedio de los valores del indicador Flexión.

Formulación	R1	R2	R3	Promedio (cm)
F1	9.00	11.0	10.0	10.000 ± 1.000
F2	11.0	10.0	10.0	10.333 ± 0.577
F3	10.0	8.00	10.0	9.333 ± 1.155
F4	12.0	8.00	9.00	9.667 ± 2.082
F5	13.0	12.0	13.0	12.667 ± 0.577
F6	11.0	13.0	14.0	12.667 ± 1.528
F7	12.0	14.0	14.0	13.333 ± 1.155
F8	11.0	12.0	13.0	12.000 ± 1.000
F9	10.0	10.0	11.0	10.333 ± 0.577

En la Figura 7 se observa que el mayor valor de flexión se obtiene con la interacción A3:C1 (F7) y una menor fuerza de flexión con la interacción A1:C3 (F3) así mismo, se aprecia que a medida que aumenta las concentraciones de Almidón y Celulosa, aumenta el valor de la flexión.

Figura 7

Interacción - concentración de almidón: concentración de celulosa con respecto a la flexión.



En la Tabla 11 se muestra el análisis de varianza ANOVA para la variable respuesta flexión, se observa diferencias significativas ($p < 0,05$) de la flexión obtenida con diferentes concentraciones de almidón (CA) y no para los valores de flexión obtenida con las distintas concentraciones de celulosa. Así mismo, el análisis de varianza en la interacción indica que existe diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores obtenidos de flexión.

Tabla 11

Análisis de varianza ANOVA para el indicador Flexión.

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F Value	p	Sig
CA	2	21.630	10.815	7.892	0.00346	**
CC	2	3.852	1.926	1.405	0.27093	
CA:CC	4	29.259	7.315	5.338	0.00516	**
Residuals	18	24.667	1.730			

Nota. CA: concentración de almidón; CC: concentración de celulosa

En la Tabla 12 se observa que para el indicador flexión para cada concentración de almidón se forman dos grupos diferentes, esto significa que la variable respuesta flexión está siendo influenciada por la formulación del bioplástico, sin embargo, también observamos que las formulaciones con concentración A2 (12%) y A3 (15%) de almidón comparten el mismo grupo (a), lo que significa que estas formulaciones presentan comportamientos similares.

Tabla 12

Comparaciones de medias Tukey para el indicador Flexión.

Concentración de almidón			Concentración de celulosa		
Variable	grupos		Variable	grupos	
A3	11.888889	a	C2	11.666667	a
A2	11.666667	a	C1	11,00000	a
A1	9.888889	b	C3	10.77778	a

Nota. A: almidón; C: celulosa

3.4.4. Comparación de medias Tukey para las variables respuesta Tracción, Elongación y flexión

En la Tabla 13 se muestra la comparación de medias Tukey para las variables respuestas para el factor de estudio concentración de almidón. Se observa que el incremento de la concentración impacta notablemente en la tracción y en menor medida en la flexión y elongación. A mayor concentración de almidón aumenta la tracción, elongación y flexión.

Tabla 13

Comparaciones de medias de Tukey para las diferentes respuestas al evaluar la concentración de almidón.

Tratamientos	Tracción	Elongación	Flexión
A1	0.286 ± 0.099^c	4.78 ± 1.56^b	9.89 ± 0.928^b
A2	1.49 ± 0.434^b	4.56 ± 0.53^b	11.7 ± 2.00^a
A3	1.90 ± 0.339^a	6.33 ± 3.12^a	11.89 ± 1.54^a

Nota. A: Concentración de almidón

En la Tabla 14 se muestra la comparación de medias Tukey para las variables respuestas para el factor de estudio concentración de celulosa. Se observa que el incremento de la concentración impacta en la tracción y elongación, pero es indiferente para la flexión.

Tabla 14

Comparaciones de medias de Tukey para las respuestas al evaluar la concentración de celulosa.

Tratamientos	Tracción	Elongación	Flexión
C1	1.02 ± 0.792 ^b	7.22 ± 2.64 ^a	11.00 ± 2.18 ^a
C2	1.20 ± 0.669 ^b	4.44 ± 0.53 ^b	11.67 ± 1.22 ^a
C3	1.46 ± 0.847 ^a	4.0 ± 0.71 ^b	10.78 ± 1.79 ^a

Nota. C: Concentración de celulosa

En la Tabla 15 se observa el resumen de las variables respuestas estudiadas. Con respecto a la fuerza de tracción, se observó un máximo del valor al aplicar la formulación 9 (A3:C3). Además, las formulaciones 6, 7 y 9 se encuentran en el mismo grupo estadístico; por lo que, podemos indicar que las formulaciones 6, 7 y 9 son similares estadísticamente ($p > 0,05$). Debido a este resultado, podemos decir que la formulación 7 (A3:C1) obtuvo los mayores valores de las variables respuestas estudiadas.

La variable respuesta tracción es favorecida por el aumento de concentración de celulosa. Sin embargo, el aumento de concentración de celulosa no es favorable para la elongación y en la flexión la concentración de celulosa no afecta la variable respuesta tracción.

Tabla 15

Comparaciones de medias de Tukey para las respuestas al evaluar la interacción concentración de almidón – concentración de celulosa.

Formulaciones	Tracción (N)	Elongación (cm)	Flexión (cm)
F1 (A1:C1)	0.17 ± 0.069 ^d	6.67 ± 0.577 ^b	10.0 ± 1.000 ^{ab}
F2 (A1:C2)	0.32 ± 0.029 ^d	4.33 ± 0.577 ^c	10.3 ± 0.577 ^{ab}
F3 (A1:C3)	0.37 ± 0.028 ^d	3.33 ± 0.577 ^c	9.33 ± 1.155 ^b
F4 (A2:C1)	0.97 ± 0.345 ^c	4.67 ± 0.577 ^{bc}	9.67 ± 2.082 ^b
F5 (A2:C2)	1.74 ± 0.017 ^b	4.33 ± 0.577 ^c	12.7 ± 0.577 ^{ab}
F6 (A2:C3)	1.78 ± 0.064 ^{ab}	4.67 ± 0.577 ^{bc}	12.7 ± 1.528 ^{ab}
F7 (A3:C1)	1.93 ± 0.246 ^{ab}	10.3 ± 1.528 ^a	13.3 ± 1.155 ^a
F8 (A3:C2)	1.55 ± 0.021 ^b	4.67 ± 0.577 ^{bc}	12.0 ± 1.00 ^{ab}
F9 (A3:C3)	2.23 ± 0.242 ^a	4.00 ± 0.000 ^c	10.3 ± 0.577 ^{ab}

Nota. A: Concentración de almidón; C: Concentración de celulosa

Se muestran las comparaciones de medias de las variables respuestas para las formulaciones, en la que se observa que la formulación F6, F7 y F9 tienen los más altos promedios para la variable tracción destacándose la formulación F9 como la mejor. En cuanto a la variable elongación el tratamiento F7 tiene el mejor promedio, así mismo, esta formulación tiene el mejor promedio para la flexión, aunque se observa que presenta un comportamiento similar a las demás formulaciones.

IV. DISCUSIÓN

Se obtuvo almidón de fécula de plátano verde (*Musa paradisiaca*) de la variedad “criollo” o “común” con un rendimiento de 10.42%, este resultado es menor que el obtenido por Mantilla, (2021), quien reportó un rendimiento de 17% de almidón de fécula de plátano verde de variedad “Dominico Hartón”. Esta diferencia puede deberse a que se trata de diferentes variedades, por otra parte, Guerrero, (2020) reportó un rendimiento de 12.5% de almidón de fécula de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) de variedad “Bellaco” cercano al resultado obtenido, así mismo, Iguardia, (2013) reportó la extracción de almidón de fécula de banano verde (*Musa sapientum*) de variedad “Cavendish” con un rendimiento de 24.03% que supera al doble del rendimiento obtenido, respaldando que la cantidad de almidón está influenciado por la variedad del fruto.

Se obtuvo un rendimiento de 28.10% de celulosa de cascarilla de café pergamino (*C. arabica*) empleando el método de hidrólisis básica, el resultado es menor que el obtenido por Bohórquez (2017) 58.83%, así mismo, Rodríguez (2022) reportó 51.01% de rendimiento de celulosa de cascarilla de café pergamino (*C. arabica L.*), mientras que Arias y Meneses, (2016) obtuvieron un rendimiento de 36.70% de celulosa y además Rojas y Hernández (2022) reportaron un rendimiento promedio de extracción de alfa celulosa del 57.23% de pulpa de café, como se observa los rendimientos reportados por las referencias y lo obtenido son diferentes, estas diferencias pueden deberse a diversos factores, tales como el método de obtención, a la variedad de café y calidad de los reactivos usados, tal como lo menciona Rodríguez, (2022).

Según los resultados, tal como se muestran en la Tabla 3, a mayor concentración de almidón aumenta la fuerza de tracción, elongación y flexión, es decir, la resistencia a la tracción, elongación y flexión es favorecido por el incremento de almidón, sin embargo, el aumento de la concentración de celulosa solo favorece a la tracción, desfavorece a la elongación y es indiferente para la flexión, tal como se muestra en la Tabla 6. Por otra parte, en la Tabla 14 se muestra la interacción de ambas variables (concentración de almidón y concentración de celulosa), observándose que la formulación 7 (almidón 15% y celulosa 2%) presenta los

mejores promedios para las variables respuestas tracción, elongación y flexión.

Los resultados obtenidos para la tracción concuerdan con los hallados por Rendón et al. (2022), indicaron que al incrementar mayor concentración de celulosa en la formulación de bioplástico a base de almidón y microcelulosa de residuos de mango, aumentó la tracción, asimismo, Agustin et al. (2014) quienes reportaron que al aumentar la concentración de celulosa nanocristalina de pajilla de arroz en la formulación de bioplástico a base de almidón comercial, incrementó significativamente la tracción, este efecto de reforzamiento aportado por la celulosa se debe a la dispersión de las fibras en el bioplástico, ya que la interacción entre el material de refuerzo y la matriz polimérica determinan las propiedades mecánicas. El mismo efecto fue reportado por Fourati et al. (2021) al añadir celulosa nanocristalina al bioplástico a base de la mezcla de adipato de butileno-co-tereftalato)/poliester y almidón termoplastico (PBAT/TPS), sin embargo, Nugroho et al. (2020) indicó que la adición de almidón, celulosa y celulosa modificada con ácidos grasos en la formulación de biopelícula disminuyó la tracción.

La elongación se ve favorecida por una menor concentración de celulosa (C1) y mayor concentración de almidón (A3). Sin embargo, una mayor concentración de celulosa (C3) y menor concentración de almidón (A1) ejerce el efecto contrario en el bioplástico. Resultados similares fueron obtenidos por Maulida et al. (2016) al añadir celulosa microcristalina en la elaboración de bioplástico a partir de almidón de cáscara de yuca, donde la elongación disminuyó con la adición de celulosa microcristalina. Posiblemente se deba a los enlaces hidrógeno entre el grupo hidroxilo (O-H) del almidón y los grupos hidroxilo y carboxilo (COOH) de la celulosa. Esta unión originó la reducción de la elongación. Asimismo, Agustin et al. (2014) y Bilo et al. (2018) determinaron que al aumentar el porcentaje de celulosa nanocristalina de pajilla de arroz en la formulación bioplástico a base de almidón, la elongación también se ve afectada.

Sin embargo, Lubis et al. (2018) determinó que a mayor concentración de almidón de fruto de Jack y menor concentración de celulosa microcristalina disminuye la elongación. La disminución en la elongación se debe a la fuerte interacción entre las sustancias que componen el bioplástico (moléculas de almidón con las fibras de la celulosa). Estos resultados son similares de los logrados en la investigación, según la Tabla 14. Una mayor concentración de celulosa no favorece la elongación debido a que hay mayor presencia de fibras en el bioplástico lo que genera que sea más compacto.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se obtuvieron 2322.64 g de almidón proveniente de 22611 g de pulpa de plátano que representa un rendimiento de extracción de almidón de plátano verde (*M. paradisiaca*) de 10.42%.

El rendimiento de extracción de compuestos celulósicos de la cascarilla del café (*C. arabica*) pergamino fue de 28.10%, que representa a 137.67 g de celulosa proveniente de 490 g de cascarilla de café pergamino.

Se elaboraron 9 formulaciones, los bioplásticos F1, F2, F4 y F5 fueron de baja consistencia y transparentes debido a la poca concentración de celulosa; F3 fue blanco lechoso y áspero, F6 fue blanco lecho y quebradizo debido a la alta proporción de celulosa. F7 fue blanco translúcido, consistente y elástico; F8 y F9 presentaron coloración blanco lechoso, fibras notables y consistentes por el alto contenido en almidón y celulosa.

La formulación F7 presentó mejores propiedades mecánicas, resistencia a la tracción, mejor elongación y flexión, que corresponde al bioplástico con una composición de 15 g de almidón y 2 g de celulosa, además, el aumento de la concentración de almidón favorece a la tracción, elongación y flexión, sin embargo, el aumento de la concentración de celulosa solo favorece a la tracción, desfavorece a la elongación y es indiferente para la flexión. Así mismo, para 15 g de almidón se necesitó 146 g de plátano, para 2 g de celulosa se necesitó 7.18 g de cascarilla de café pergamino produciéndose 41.26 g de bioplástico de la formulación F7.

5.2. Recomendaciones

A los investigadores de la Universidad Nacional de Jaén y otras universidades, que estén interesados en el desarrollo de bioplásticos:

- Realizar estudios sobre diferentes métodos de tratamientos físicos y químicos para extraer la celulosa a partir de residuos que se producen en la actividad agrícola, porque la celulosa es un material que se emplean en diversos procesos industriales, como en la industria del papel y así disminuir el uso de árboles promoviendo actividades eco-amigables con el medio ambiente.
- Controlar y monitorear la temperatura, el tiempo de gelificación y el peso de la mezcla a fin de mantener constante las concentraciones de las formulaciones de los respectivos bioplásticos para lograr las características del adecuadas.
- Estudiar las posibles aplicaciones a los bioplásticos obtenidos debido a que sus propiedades mecánicas son diversas con respecto a los tipos de formulación, estas pueden ser mejoradas de acuerdo al uso y aplicaciones que se le quiera dar al bioplástico.
- Utilizar un equipo extrusor para la elaboración de los bioplásticos, de esta forma garantiza un grosor uniforme, obteniendo resultados más precisos de sus propiedades mecánicas.

A la escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias constituir una Unidad de Investigación de Bioplásticos con el propósito de aprovechar los residuos de la actividad agroindustrial.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Agustin, M. B., Ahmmad, B., Alonzo, S. M. M., y Patriana, F. M. (2014). Bioplastic based on starch and cellulose nanocrystals from rice straw. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(24), 2205-2213. <https://doi.org/10.1177/0731684414558325>
- Andina, A. P. de N. (2023). *Café peruano: Producto de Bandera llega a 44 mercados internacionales* [Noticia]. <https://andina.pe/agencia/noticia-cafe-peruano-producto-bandera-llega-a-44-mercados-internacionales-811545.aspx>
- Arias, R., y Meneses, J. (2016). *Caracterización físico-química de los residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de biotenoil, Laboratorios de Química UNAN-Managua.*
- Bilo, F., Pandini, S., Sartore, L., Depero, L. E., Gargiulo, G., Bonassi, A., Federici, S., y Bontempi, E. (2018). A sustainable bioplastic obtained from rice straw. *Journal of Cleaner Production*, 200, 357-368. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.252>
- Bohórquez, N. (2017). *Factibilidad de la obtención de celulosa a partir de los residuos provenientes de la trilla del café.*
- Cedeño, N., y Zambrano, J. C. (2021). *Diseño de una línea de producción para la obtención de bioplásticos aprovechando los residuos de café a escala Industrial en la ciudad de Quevedo.*
- De Mendiburu, F. (2023). *Statistical Procedures for Agricultural Research.*
- Fourati, Y., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Mutjé, P., y Boufi, S. (2021). Cellulose nanofibrils reinforced PBAT/TPS blends: Mechanical and rheological properties.

International Journal of Biological Macromolecules, 183, 267-275.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.102>

Guerrero, L. (2020). *Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (Musa paradisiaca L.)*.

Iguardia, C. H. (2013). *Síntesis y Caracterización de Bioplástico a partir de Almidón de Banano Verde (Musa sapientum variedad Cavendish)*.

Jannah, M., Ahmad, A., Hayatun, A., Taba, P., y Chadijah, S. (2019). Effect of filler and plasticizer on the mechanical properties of bioplastic cellulose from rice husk. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(3), 032019.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/3/032019>

Lema, E., y Manzo, S. (2021). *Diseño de una línea de producción de bioplástico a partir de residuos del cacao con aplicación en envasado de alimentos*.

Lubis, M., Gana, A., Maysarah, S., Ginting, M. H. S., y Harahap, M. B. (2018). Production of bioplastic from jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) reinforced with microcrystalline cellulose from cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L .) using glycerol as plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309, 012100. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012100>

Mantilla, C. A. (2021). *Extracción de almidón de plátano Dominic Hartón y síntesis de biopolímeros para la evaluación de su comportamiento en pruebas de resistencia a la tracción y el agua*.

Maulida, Siagian, M., y Tarigan, P. (2016). Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 710, 012012.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/710/1/012012>

Meza, P. N. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de*

- peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio.*
- Nugroho, F. G., Nizado, N. M., y Saepudin, E. (2020). *Synthesis of citric acid crosslinked PVA/tapioca starch bioplastic reinforced with grafted cellulose.* 040040.
<https://doi.org/10.1063/5.0010357>
- Ortega, M. (2019). *Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz.* Universidad Tecnológica del Perú.
- Osorio, A. P. O., y Rubiano, K. D. R. (2019). *Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel de laboratorio.*
- Pinzón, M., García, O., y Sánchez, L. (2013). *El amidón: Alimento ancestral revestido de nanotecnología.* 11(1), 31-42.
- Rendón, R., Lorenzo, M. A., Olvera, R., y Trujillo, C. A. (2022). Bioplastic composed of starch and micro-cellulose from waste mango: Mechanical properties and biodegradation. *Polímeros*, 32(3), e2022026. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20210031>
- Rodríguez, I. (2022). *Pulpa de celulosa a partir de cascarilla de café (Coffea arabica) por el método alcalino, Laboratorio de Operaciones Unitarias Industriales (LOUI), Departamento de Química, UNAN-Managua.*
- Rojas, E. A., y Hernández, G. (2022). *Aprovechamiento tecnológico de la pulpa de café en la obtención de un producto vaso biodegradable.*
- SERVINDI. (2022). *La realidad de los residuos sólidos en el Perú | Servindi—Servicios de Comunicación Intercultural.* <https://www.servindi.org/actualidad-noticias/12/07/2022/la-realidad-de-los-residuos-solidos-en-el-peru>
- Vargas, Y. A., y Pérez, L. I. (2018). *Aprovechamiento de residuos Agroindustriales para el mejoramiento de la Calidad del Ambiente.* 14(1), 59-72.
<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.xxxx>

DEDICATORIA

A mis padres por haberme dado la fuerza y la fortaleza necesaria para lograr mis objetivos, muchos de mis logros se los debo a ellos por su enorme confianza, sacrificio y apoyo por eso y muchas cosas más les doy las infinitas gracias y a todas las personas que de alguna u otra forma me ayudaron en la realización de este proyecto.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme finalizar con éxito este sueño, agradecer infinitamente a mi familia por creer en mí desde el primer día, por su esfuerzo y su apoyo constante que han sido mi mayor motivo para lograr esta etapa de formación profesional. A mis asesores de tesis, al Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce y al M. Cs. Adán Díaz Ruiz por su paciencia y enseñanza ya que gracias a su apoyo constante pude lograr con éxito la culminación de este proyecto. Mi gratitud también a la Escuela de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén por ser un pilar fundamental en mi formación académica para ser un profesional competitivo.

Jackeline Elizabeth Maluquiz Sánchez

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos Enrique Cabrejos Montoya y Jacqueline Castillo Falla, quienes han sido mi fuente inagotable de apoyo e inspiración. A su amor incondicional, paciencia y sacrificio a lo largo de este viaje académico. A una persona muy especial, cuya constante motivación y aliento me ha impulsado a alcanzar mi meta. Finalmente, a mi propia determinación y perseverancia, recordándome a mí misma que ningún objetivo es inalcanzable si le pones esfuerzo y dedicación.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición colma siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presente.

Un profundo agradecimiento a mis padres que, con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

A mis asesores al M. Cs. Adán Díaz Ruiz y Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce por su orientación experta y paciencia inagotable; sus consejos y comentarios enriquecieron este trabajo de manera inmensurable, gracias por formar parte de este objetivo alcanzado.

Mi agradecimiento se extiende a la estimada Ing. Juanita Delgado Burga quien nos brindó su apoyo en diversas etapas de la ejecución de nuestra tesis, para culminar con éxito la meta propuesta, muchas gracias ingeniera por la paciencia, dedicación y apoyo.

Karla Gretel Cabrejos Castillo

VII. ANEXOS

Anexo 01. Extracción de almidón de plátano verde (*M. paradisiaca*).

Tabla 16

Porcentaje de rendimiento y humedad del almidón extraído de plátano verde (Musa paradisiaca L.)

N° Extracción	Plátano (kg)	Pulpa (kg)	Cascara (kg)	Almidón (g)	Rendimiento (%)	Humedad (%)
1	3.00	1.34	1.660	146.0	10.9	10.24
2	2.30	1.16	1.140	123.00	10.6	9.56
3	1.00	0.47	0.534	54.00	11.5	10.00
4	3.00	1.34	1.662	149.00	11.1	10.00
5	2.10	0.83	1.269	78.00	9.4	10.37
6	3.00	1.71	1.29	135.00	7.9	9.84
7	4.00	1.65	2.35	132.83	8.1	9.64
8	3.00	1.72	1.280	141	8.2	9.85
9	4.00	1.70	2.300	169.00	9.9	10.16
10	2.00	0.86	1.140	86.95	10.1	11.20
11	3.00	1.71	1.295	159.00	9.3	10.20
12	5.00	2.40	2.600	194.40	8.1	10.26
13	2.00	0.87	1.130	108.25	12.4	12.45
14	3.00	1.71	1.290	187.08	10.9	11.09
15	5.00	2.30	2.700	347.93	15.1	11.05
16	2.00	0.85	1.150	111.20	13.1	11.10
Total	47.40	22.61	24.79	2322.64	10.422	10.44

Anexo 02. Extracción de compuestos celulósicos de la cascarilla de café pergamino
(Coffea arabica)

Tabla 17

Porcentaje de rendimiento y humedad de celulosa extraída de la cascarilla de café pergamino (Coffea arabica L.)

N° Muestra	Cascarilla (g)	Celulosa Obtenida (g)	Rendimiento (%)	Humedad (%)
1	70.0	20.60	29.43	10.40
2	70.0	19.95	28.50	10.00
3	70.0	19.50	27.86	11.30
4	70.0	21.20	30.29	9.00
5	70.0	20.50	29.29	10.20
6	70.0	18.80	26.86	11.00
7	70.0	17.12	24.46	10.90
Total	490.0	137.67	28.10	10.40

Anexo 3: Supuestos para la aplicación de estadística paramétrica.

a) Tracción

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  8  0.9687 0.4896
      18
```

- Homogeneidad de varianza

Normalidad

```
shapiro-wilk normality test
data: aov_residuals
W = 0.85864, p-value = 0.001716
```

Anderson-Darling normality test

```
data: aov_residuals
A = 1.6853, p-value = 0.00019
```

Bartlett test of homogeneity of variances

```
data: Tracción by CACC
Bartlett's K-squared = 27.85, df = 8, p-value = 0.0005037
```

- Independencia de errores

```
Durbin-watson test
data: ANOVA
DW = 2.5492, p-value = 0.4277
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

```
data: ANOVA
LM test = 5.1494, df = 1, p-value = 0.02325
```

b) Elongación

- Homogeneidad de varianza

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 8    0.55 0.804
     18
```

Normalidad

```
shapiro-wilk normality test
data: aov_residuals
W = 0.93611, p-value = 0.09766
```

```
Anderson-Darling normality test
data: aov_residuals
A = 0.74343, p-value = 0.04639
```

```
Bartlett test of homogeneity of variances
data: Elongación by CACC
Bartlett's K-squared = Inf, df = 8, p-value < 2.2e-16
```

Independencia de errores

```
Durbin-watson test
data: ANOVA
DW = 2.0476, p-value = 0.04498
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

```
Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1
data: ANOVA
LM test = 0.096429, df = 1, p-value = 0.7562
```

c) Flexión

- Homogeneidad de varianza

```
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
  Df F value Pr(>F)
group 8  0.3913 0.9111
      18
```

Normalidad

```
shapiro-wilk normality test
data:  aov_residuals
W = 0.96421, p-value = 0.4585
```

Anderson-Darling normality test

```
data:  aov_residuals
A = 0.38618, p-value = 0.3662
```

Bartlett test of homogeneity of variances

```
data:  Flexión by CACC
Bartlett's K-squared = 5.4718, df = 8, p-value = 0.7062
```

Independencia de errores

```
Durbin-watson test
data:  ANOVA
DW = 2.6712, p-value = 0.5803
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

```
data:  ANOVA
LM test = 3.9634, df = 1, p-value = 0.0465
```

Anexo 4. Análisis estadístico para el experimento factorial 3x3.

- Código RStudio 2022.12.0 Build 353 – experimento factorial 3x3

```
1 # obtención de datos
2 datos=read.delim("clipboard",T)
3 # indicar que las formulaciones son factores
4 datos$CA=as.factor(datos$CA)
5 datos$CC=as.factor(datos$CC)
6 # verificar datos
7 head(datos)
8 str(datos)
9 attach(datos)
10
11 # ANOVA
12 #Variable=Tracción
13 #Variable=Elongación
14 variable=Flexión
15
16 ANOVA<- aov(variable~CA+CC+CA*CC , data = datos)
17 summary(ANOVA)
18
19 # comparaciones de medias por tukey
20 library(agricolae)
21 TukeyCA <- HSD.test(ANOVA,"CA", group = T)
22 TukeyCC <- HSD.test(ANOVA,"CC", group = T)
23 TukeyCA
24 TukeyCC
25 ## GRAFICAS
26 library(ggplot2)
27 intEf <- aggregate(variable ~ CA + CC,
28                     FUN = mean, data = datos)
29 effects_interaction <- ggplot(intEf, aes(x = CA, y = variable, color = CC)) +
30   geom_point() +
31   geom_line(aes(group = CC))
32 effects_interaction
```

- ANOVA Factorial 3x3 – Tracción

```
> # ANOVA
> variable=Tracción
> ANOVA<- aov(variable~CA+CC+CA*CC , data = datos)
> summary(ANOVA)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
CA	2	12.711	6.355	229.31	1.56e-13	***
CC	2	0.866	0.433	15.63	0.000116	***
CA:CC	4	1.139	0.285	10.28	0.000164	***
Residuals	18	0.499	0.028			

- **Comparaciones me medias Tukey – Concentración de almidón – Tracción**

```

$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey     CA  3             3.609304  0.05

$means
  variable      std r   Min   Max   Q25   Q50   Q75
A1 0.2863333 0.09885722 9 0.098 0.392 0.235 0.325 0.343
A2 1.4947778 0.43366888 9 0.568 1.848 1.170 1.725 1.758
A3 1.9021111 0.33940442 9 1.529 2.451 1.569 1.961 2.157

$comparison
NULL

$groups
  variable groups
A3 1.9021111   a
A2 1.4947778   b
A1 0.2863333   c

```

- **Comparaciones de medias Tukey – Concentración de celulosa – Tracción**

```

$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey     CC  3             3.609304  0.05

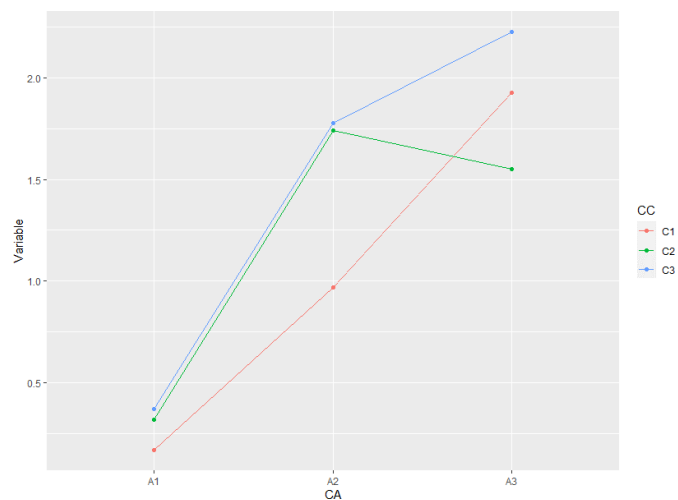
$means
  variable      std r   Min   Max   Q25   Q50   Q75
C1 1.021667 0.7924442 9 0.098 2.157 0.235 1.162 1.668
C2 1.203222 0.6691294 9 0.286 1.758 0.343 1.559 1.725
C3 1.458333 0.8473121 9 0.340 2.451 0.392 1.765 1.970

$comparison
NULL

$groups
  variable groups
C3 1.458333   a
C2 1.203222   b
C1 1.021667   b

```

- **Gráfica de interacción – CA:CC – Tracción**



- ANOVA Factorial 3x3 - Elongación

```
> # ANOVA
> #Variable=Tracción
> variable=Elongación
> ANOVA<- aov(Variable~CA+CC+CA*CC , data = datos)
> summary(ANOVA)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
CA	2	16.89	8.444	16.29	9.17e-05	***
CC	2	54.89	27.444	52.93	2.89e-08	***
CA:CC	4	35.56	8.889	17.14	5.90e-06	***
Residuals	18	9.33	0.519			

- Comparaciones de medias Tukey - Concentración de Almidón - Elongación

```
$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
Tukey      CA   3           3.609304  0.05

$means
  variable      std r Min Max Q25 Q50 Q75
A1 4.777778 1.5634719 9  3  7  4  4  6
A2 4.555556 0.5270463 9  4  5  4  5  5
A3 6.333333 3.1224990 9  4 12  4  5  9

$comparison
NULL

$groups
  variable groups
A3 6.333333    a
A1 4.777778    b
A2 4.555556    b
```

- Comparaciones de medias Tukey - Concentración de Celulosa - Elongación

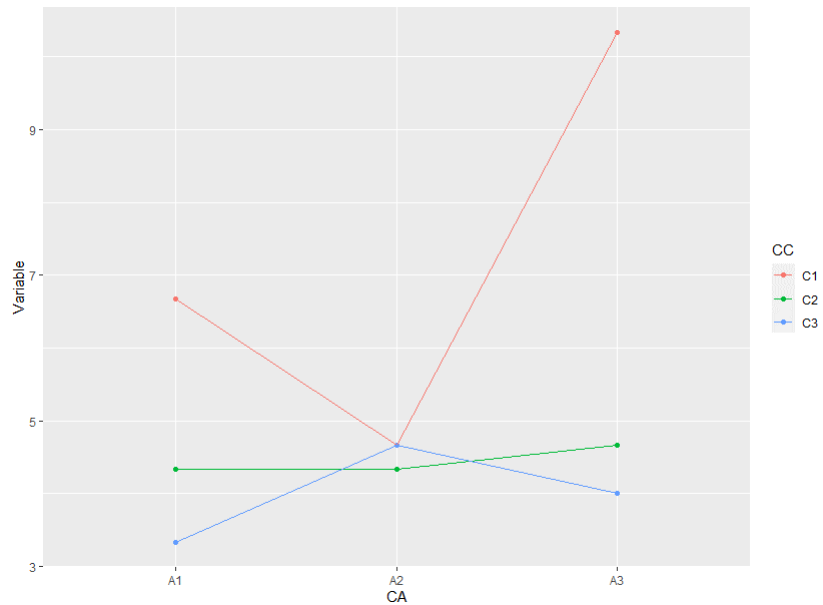
```
$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
Tukey      CC   3           3.609304  0.05

$means
  variable      std r Min Max Q25 Q50 Q75
C1 7.222222 2.6352314 9  4 12  5  7  9
C2 4.444444 0.5270463 9  4  5  4  4  5
C3 4.000000 0.7071068 9  3  5  4  4  4

$comparison
NULL

$groups
  variable groups
C1 7.222222    a
C2 4.444444    b
C3 4.000000    b
```

- **Gráfica de interacción - CA:CC - Elongación**



- **ANOVA Factorial 3x3 - Flexión**

```
> # ANOVA
> #Variable=Tracción
> #Variable=Elongación
> Variable=Flexión
> ANOVA<- aov(Variable~CA+CC+CA*CC , data = datos)
> summary(ANOVA)
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
CA	2	21.630	10.815	7.892	0.00346 **
CC	2	3.852	1.926	1.405	0.27093
CA:CC	4	29.259	7.315	5.338	0.00516 **
Residuals	18	24.667	1.370		

- **Comparaciones de medias Tukey - Concentración de Almidón - Flexión**

```
$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey    CA   3          3.609304  0.05

$means
  Variable      std r Min Max Q25 Q50 Q75
A1  9.888889  0.9279607  9   8  11  10  10
A2 11.666667  2.0000000  9   8  14  11  12
A3 11.888889  1.5365907  9  10  14  11  12

$comparison
NULL

$groups
  Variable groups
A3 11.888889    a
A2 11.666667    a
A1  9.888889    b
```

- **Comparaciones de medias Tukey – Concentración de Celulosa - Flexión**

```

$parameters
  test name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey      CC   3           3.609304  0.05

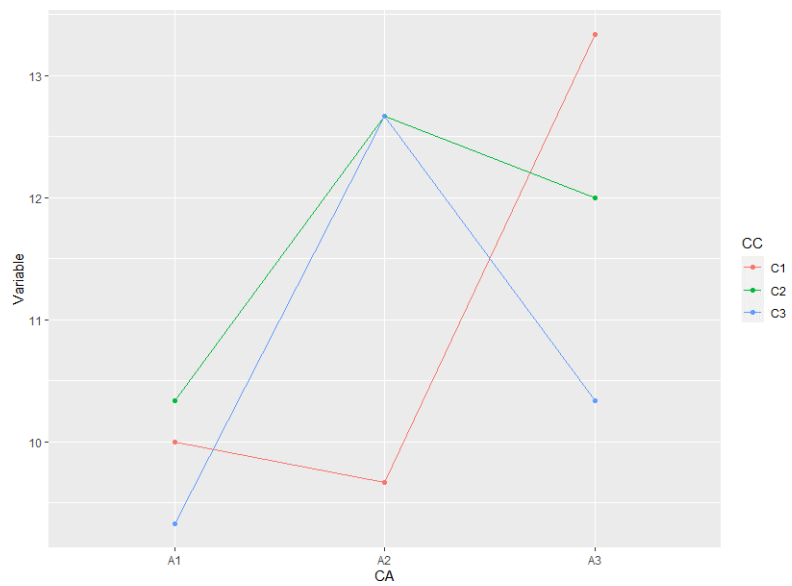
$means
  variable      std r Min Max Q25 Q50 Q75
C1 11.00000 2.179449 9  8 14  9 11 12
C2 11.66667 1.224745 9 10 13 11 12 13
C3 10.77778 1.787301 9  8 14 10 10 11

$comparison
NULL

$groups
  variable groups
C2 11.66667    a
C1 11.00000    a
C3 10.77778    a

```

- **Gráfica de interacción – CA:CC - Flexión**



Anexo 5. ANOVA a las interacciones CA:CC.

- Código RStudio 2022.12.0 Build 353 – One way anova

```
1 # obtención de datos
2 datos=read.delim("clipboard",T)
3 # indicar que las formulaciones son factores
4 datos$Formulaciones=as.factor(datos$Formulaciones)
5 # verificar datos
6 head(datos)
7 str(datos)
8 attach(datos)
9
10 # ANOVA
11 #Variable=Tracción..N.
12 #Variable=Elongacion..mm.
13 variable=Flexión..mm.
14
15 ANOVA<- aov(variable~Formulaciones , data = datos)
16 summary(ANOVA)
17
18 # comparaciones de medias por tukey
19 library(agricolae)
20 Tukey <- HSD.test(ANOVA,"Formulaciones", group = T)
21 Tukey
```

ANOVA TRACCIÓN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Formulaciones	8	14.716	1.8396	66.37	8.81e-12 ***
Residuals	18	0.499	0.0277		

- Comparaciones de Medias Tukey - Tracción

```
$parameters
  test      name.t ntr StudentizedRange alpha
  Tukey Formulaciones 9          4.955209 0.05

$means
  Variable      std r   Min   Max   Q25   Q50   Q75
F1 0.1696667 0.06871924 3 0.098 0.235 0.1370 0.176 0.2055
F2 0.3180000 0.02913760 3 0.286 0.343 0.3055 0.325 0.3340
F3 0.3713333 0.02759227 3 0.340 0.392 0.3610 0.382 0.3870
F4 0.9666667 0.34527863 3 0.568 1.170 0.8650 1.162 1.1660
F5 1.7393333 0.01692139 3 1.725 1.758 1.7300 1.735 1.7465
F6 1.7783333 0.06404946 3 1.722 1.848 1.7435 1.765 1.8065
F7 1.9286667 0.24609822 3 1.668 2.157 1.8145 1.961 2.0590
F8 1.5523333 0.02081666 3 1.529 1.569 1.5440 1.559 1.5640
F9 2.2253333 0.24186842 3 1.970 2.451 2.1125 2.255 2.3530

$comparison
NULL

$groups
  Variable groups
F9 2.2253333 a
F7 1.9286667 ab
F6 1.7783333 ab
F5 1.7393333 b
F8 1.5523333 b
F4 0.9666667 c
F3 0.3713333 d
F2 0.3180000 d
F1 0.1696667 d
```

ANOVA ELONGACIÓN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Formulaciones	8	107.33	13.417	25.88	2.36e-08 ***
Residuals	18	9.33	0.519		

- Comparaciones de Medias Tukey - Elongación

\$parameters

test	name.t	ntr	StudentizedRange	alpha
Tukey	Formulaciones	9	4.955209	0.05

\$means

	Variable	std	r	Min	Max	Q25	Q50	Q75
F1	6.666667	0.5773503	3	6	7	6.5	7	7.0
F2	4.333333	0.5773503	3	4	5	4.0	4	4.5
F3	3.333333	0.5773503	3	3	4	3.0	3	3.5
F4	4.666667	0.5773503	3	4	5	4.5	5	5.0
F5	4.333333	0.5773503	3	4	5	4.0	4	4.5
F6	4.666667	0.5773503	3	4	5	4.5	5	5.0
F7	10.333333	1.5275252	3	9	12	9.5	10	11.0
F8	4.666667	0.5773503	3	4	5	4.5	5	5.0
F9	4.000000	0.0000000	3	4	4	4.0	4	4.0

\$comparison

NULL

\$groups

	Variable	groups
F7	10.333333	a
F1	6.666667	b
F4	4.666667	bc
F6	4.666667	bc
F8	4.666667	bc
F2	4.333333	c
F5	4.333333	c
F9	4.000000	c
F3	3.333333	c

ANOVA FLEXIÓN

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Formulaciones	8	54.74	6.843	4.993	0.00223 **
Residuals	18	24.67	1.370		

- Comparaciones de Medias Tukey – Flexión

```
$parameters
  test      name.t ntr StudentizedRange alpha
Tukey Formulaciones 9      4.955209 0.05
```

```
$means
  variable      std r Min Max  Q25 Q50  Q75
F1 10.000000 1.0000000 3  9 11  9.5 10 10.5
F2 10.333333 0.5773503 3 10 11 10.0 10 10.5
F3  9.333333 1.1547005 3  8 10  9.0 10 10.0
F4  9.666667 2.0816660 3  8 12  8.5  9 10.5
F5 12.666667 0.5773503 3 12 13 12.5 13 13.0
F6 12.666667 1.5275252 3 11 14 12.0 13 13.5
F7 13.333333 1.1547005 3 12 14 13.0 14 14.0
F8 12.000000 1.0000000 3 11 13 11.5 12 12.5
F9 10.333333 0.5773503 3 10 11 10.0 10 10.5
```

```
$comparison
NULL
```

```
$groups
  variable groups
F7 13.333333  a
F5 12.666667  ab
F6 12.666667  ab
F8 12.000000  ab
F2 10.333333  ab
F9 10.333333  ab
F1 10.000000  ab
F4  9.666667  b
F3  9.333333  b
```

Anexo 6. Galería de fotos en el proceso de la extracción del almidón

Figura 8: Lavado de plátano.



Figura 9: Pelado de plátano.



Figura 10: Plátano cortado en rodajas.



Figura 11: Plátano sumergido en bisulfito de sodio al 0.5%.



Figura 12: Licuado del plátano.



Figura 13: Filtrado de la muestra con una tela organza de 10 x 20 cm.



Figura 14: Muestra filtrada.

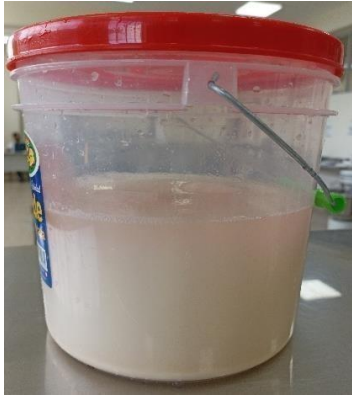


Figura 15: Almidón decantado.



Figura 16: Adición de agua destilada.



Figura 17: Almidón en placas Petri.



Figura 18: Almidón en la estufa a 60 °C por 20 h.



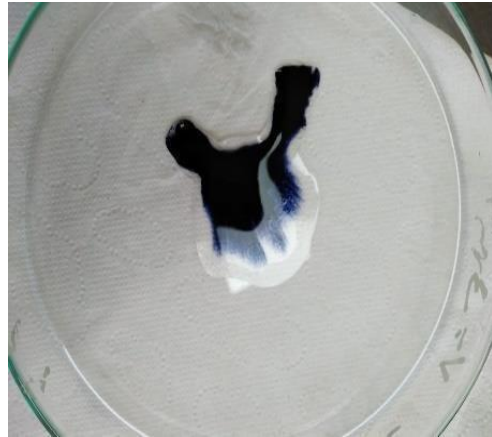
Figura 19: Almidón de plátano seco.



Figura 20: Trituración de almidón en un mortero.



Figura 21: Prueba de Lugol.



Anexo 7: Galería de Fotos del proceso de extracción de la cascarilla de café pergamino.

Figura 22: Lavado de cascarilla de café.



Figura 23: Cascarilla de café escurrida.



Figura 24: Secado de la cascarilla en la estufa a 65 °C por 24 h.



Figura 25: Extracción de celulosa de cascarilla a 60 °C por 4 h.



Figura 26: Reposo de la muestra por 20 min.



Figura 27: Blanqueamiento de fibra de celulosa con agitación magnética por 20 min.



Figura 28: Adición de hipoclorito de sodio para blanqueamiento de la fibra de celulosa.



Figura 29: Secado de la celulosa en la estufa a 60 °C por 19 hrs.



Figura 30: Celulosa seca de cascarilla de café.

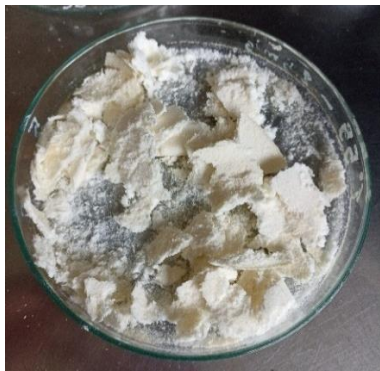
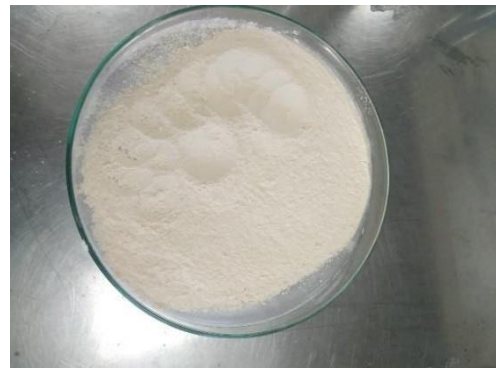


Figura 31: Celulosa de cascarilla de café tamizada.



Anexo 8: Galería de Fotos de la elaboración del bioplástico.

Figura 32: Insumos a utilizar para formulación de bioplástico.



Figura 33: Reactivos.



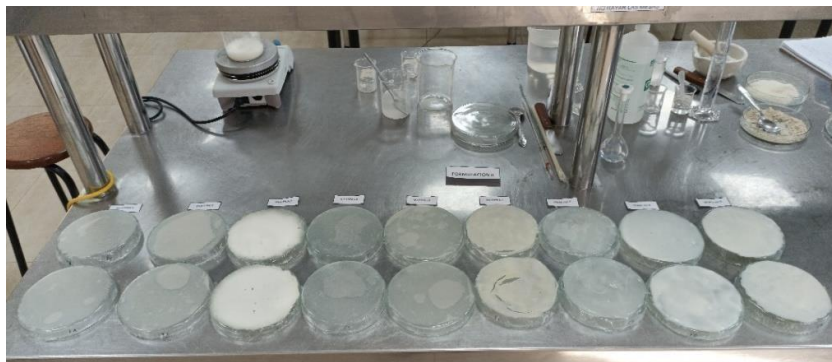
Figura 34: Adición del de los reactivos.



Figura 35: Medición de calentamiento de la mezcla.



Figura 36: Secado de bioplástico a T° ambiente



Anexo 9. Galería de fotos de la realización de pruebas mecánicas.

Figura 37: Equipo elaborado para la elongación.

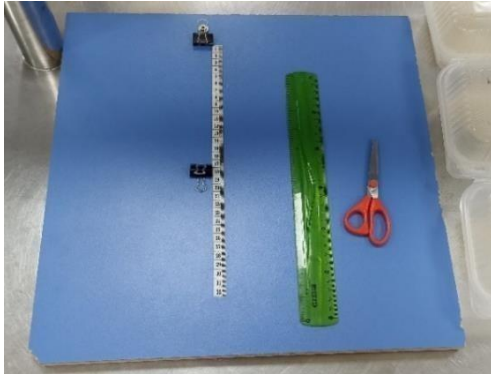


Figura 38: Prueba de elongación del bioplástico.

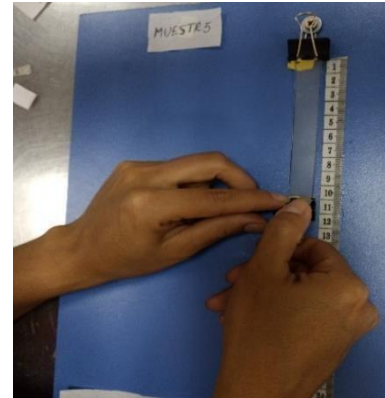


Figura 39: Prueba de Flexión con una tira de bioplástico de 12 cm por 15 cm.



Figura 40: Estiramiento de bioplástico.

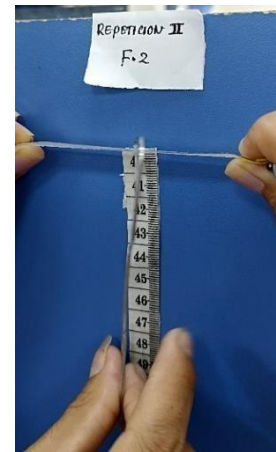


Figura 41: Equipo para la prueba de tracción.



Figura 42: Prueba de tracción.



● 7% de similitud general

Principales fuentes encontradas en las siguientes bases de datos:

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

FUENTES PRINCIPALES

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

1	repositorio.utp.edu.pe Internet	1%
2	docplayer.es Internet	1%
3	repositorio.unj.edu.pe Internet	<1%
4	bc.inter.edu Internet	<1%
5	ciencia.lasalle.edu.co Internet	<1%
6	repositorio.uch.edu.pe Internet	<1%
7	coursehero.com Internet	<1%
8	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD on 2020-04-26 Submitted works	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE INVESTIGACIONES
DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA

9	copladi.udg.mx Internet	<1%
10	Uniagustiniana on 2020-10-22 Submitted works	<1%
11	repositorio.unheval.edu.pe Internet	<1%
12	repositorio.unc.edu.pe Internet	<1%
13	tesis.ipn.mx Internet	<1%
14	Universidad Tecnologica de los Andes on 2018-08-02 Submitted works	<1%
15	core.ac.uk Internet	<1%
16	repositorio.umsa.bo Internet	<1%
17	hdl.handle.net Internet	<1%
18	servindi.org Internet	<1%
19	Submitted on 1689047641525 Submitted works	<1%
20	es.slideshare.net Internet	<1%


 INSTITUCIÓN NACIONAL DE JAÉN
 Plaza Páuca
 INVESTIGACIÓN
 ENGENIERÍA

21	repositorio.unbosque.edu.co Internet	<1%
22	unj on 2023-09-03 Submitted works	<1%
23	Submitted on 1690320256617 Submitted works	<1%
24	preinvestigo.biblioteca.uvigo.es Internet	<1%

UNI UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Christian Zayas Apaza Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA