



# Universidad **Mariana**

Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced

Angie Valentina Gomez Campiño  
Marilyn Elizabeth Amaguaña Moreno  
Sebastian Collazos Eraso

Universidad Mariana  
Facultad de ingeniería  
Programa de ingeniería ambiental  
San Juan de Pasto  
2024

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de  
procesos La Merced.*

Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced

Angie Valentina Gomez Campiño  
Marilyn Elizabeth Amaguaña Moreno  
Sebastian Collazos Eraso

Informe de investigación para optar al título de: Ingenieros Ambientales

Mg. Juan Carlos Narváez Burgos  
Asesor

Universidad Mariana  
Facultad de ingeniería  
Programa de ingeniería ambiental  
San Juan de Pasto

202

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de  
procesos La Merced.*

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son  
responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

Tabla de contenido

1. Resumen del proyecto .....	8
1.1 Introducción .....	9
1.2 Antecedentes .....	11
1.3 Justificación y planteamiento del problema .....	12
1.3.1 Justificación .....	12
1.3.2 Planteamiento del problema .....	13
1.3.3 Hipótesis.....	14
1.4 Objetivos .....	14
1.4.1 Objetivo general .....	14
1.4.2 Objetivos específicos.....	14
1.5 Materiales y Métodos .....	14
1.5.1 Área de estudio .....	14
1.5.2 Descripción de metodología .....	17
1.5.2.1 Diagnosticar las propiedades fisicoquímicas del almidón de la papa. ....	17
1.5.2.1.1 pH .....	18
1.5.2.1.2 Humedad.....	18
1.5.2.1.3 Grasas .....	18
1.5.2.1.4 Cenizas.....	18
1.5.2.1.5 Carbohidratos.....	18
1.5.2.2 Proceso de transformación del almidón de papa a biopolímero a escala laboratorio.....	19
1.5.2.2.1 Gelatinización del almidón.....	19
1.5.2.2.2 Acetilación del almidón.....	19
1.5.2.3 Calidad del biopolímero en comparación con datos de literatura. ....	20
1.5.2.4 Diseño experimental .....	20
2. Resultados y discusión.....	22
2.1 Propiedades fisicoquímica del almidón de la papa .....	22
2.1.1 pH .....	22
2.1.2. Humedad.....	24
2.1.3 Grasas .....	26

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de  
procesos La Merced.*

2.1.4 Cenizas.....	27
2.1.5 Carbohidratos.....	29
2.2 Análisis calidad proceso de transformación del almidón de papa a biopolímero a escala laboratorio .....	30
2.3 Análisis y discusión calidad del biopolímero en comparación con datos de literatura..	33
2.3.1 Pruebas mecánicas .....	33
2.3.2 Biodegradación del bioplástico .....	35
3 Conclusiones .....	40
4 Recomendaciones .....	41
Referencias bibliográficas.....	42

### **Índice de Tablas**

Tabla	1	Diseño de experimentos .....	20
Tabla	2	Propiedades fisicoquímicas almidón de papa.....	21
Tabla	3	Datos estadísticos descriptivos pH.....	22
Tabla	4	Datos estadísticos descriptivos humedad.....	23
Tabla	5	Datos estadísticos descriptivos grasas.....	25
Tabla	6	Datos estadísticos descriptivos cenizas.....	26
Tabla	7	Datos estadísticos descriptivos carbohidratos.....	28
Tabla	8	Lista de parámetros y concentración de aditivos.....	30
Tabla	9	Transformación almidón de papa a biopolímero.....	31
Tabla	10	Resultados pruebas de tensión.....	33
Tabla	11	Peso perdido en muestras de biodegradabilidad del bioplástico .....	35
Tabla	12	Descripción del proceso de degradación del bioplástico.....	35

## **Índice de Figuras**

Figura 1. Mapa de ubicación zona de estudio .....	15
Figura 2. Toma de muestra planta de Procesos La Merced .....	16
Figura 3. Histograma pH .....	22
Figura 4. Histograma humedad .....	24
Figura 5. Histograma grasas .....	25
Figura 6. Histograma cenizas .....	27
Figura 7. Histograma carbohidratos .....	28
Figura 8. Coeficientes de correlación de Sperman .....	37

## **1. Resumen del proyecto**

El trabajo se basa en la obtención de un biopolímero partir del aprovechamiento del almidón de papa que proviene de la planta de procesos La Merced, con el fin de promover la utilización de materiales biodegradables que no generen un impacto negativo al medio ambiente.

Se llevaron a cabo diferentes estudios y procesos para determinar la influencia de algunas variables en la obtención del biopolímero, teniendo en cuenta factores como la calidad del material final, los costos y el tiempo de producción. También se realizaron pruebas fisicoquímicas del almidón, tales como el pH, la humedad, las grasas, las cenizas y los carbohidratos. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas mecánicas de elasticidad y resistencia para evaluar las propiedades funcionales del material obtenido.

En este contexto, se determinaron las variables clave para la calidad del biopolímero, destacando la influencia de la humedad y los carbohidratos en su resistencia y flexibilidad. El bioplástico mostró propiedades mecánicas similares al poliestireno de baja densidad y se biodegradó en compost en 45 días. Aunque el ácido acético no resultó determinante, su combinación con glicerina mejoró la estructura.



## **1.1 Introducción**

La creciente demanda de materiales sostenibles y amigables con el medio ambiente ha llevado al desarrollo de nuevos materiales, como los biopolímeros. Los biopolímeros son polímeros naturales que se obtienen a partir de fuentes renovables, como plantas, animales o microorganismos, y pueden ser degradados por procesos biológicos (Valero et al., 2013).

En este contexto, la generación de biopolímeros se presenta como una alternativa sostenible a los materiales convencionales basados en petróleo, ya que se pueden obtener a partir de fuentes renovables y son biodegradables. En esta introducción, se presentarán los principales aspectos relacionados con la generación de biopolímeros a partir del almidón de la papa, se describirán los principales métodos de producción, las características y propiedades del material, y su potencial uso en diferentes aplicaciones industriales (Vera et al., 2023).

Por lo tanto el almidón de papa es un recurso renovable que se puede utilizar para la producción de biopolímeros sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. El almidón de papa se compone de largas cadenas de glucosa que se pueden extraer de la papa mediante procesos físicos como es el lavado de papa. Estas cadenas de glucosa pueden ser utilizadas para la producción de biopolímeros como el ácido poli láctico (PLA), que tiene propiedades similares a las del plástico convencional, pero es biodegradable y compostable (Guaranguay et al., 2021).

Además, el proceso de producción industrial genera gran cantidad de almidón de papa residual, producto del lavado de la materia prima, lo cual implica la eliminación de altas concentraciones de materia orgánica y en suspensión (limo, arena y residuos de cáscara). Las aguas residuales y el agua saturada se descargan directamente a los colectores de aguas residuales y luego se descargan directamente en los lechos de los ríos, creando una carga de residuos contaminantes en las fuentes hídricas (Herrera, 2015).

Complementario a esto, el subproducto contiene diversas características funcionales para generar productos que puedan desarrollar las propiedades funcionales tanto químicas como físicas, proponiendo polímeros a base de almidón de papa para la formulación de materiales biodegradables, buscando disminuir índices provocados por derrames de contaminantes en fuentes hídricas, en su mayoría por procesos incorrectos del mal manejo en industrias (Alarcón

et al., 2016).

Las propiedades fisicoquímicas del almidón de papa son fundamentales para evaluar su calidad y sus aplicaciones en los ámbitos industrial y alimentario. Estas propiedades permiten observar aspectos clave, como la pureza del almidón, su capacidad de absorción de agua, entre otras variables, lo que facilita la optimización de su uso y la obtención de los requisitos necesarios para su tratamiento o aplicación específica.

La creación de un biopolímero a partir del almidón de papa representa una oportunidad innovadora para el desarrollo de materiales biodegradables y sostenibles que podrían reemplazar, en ciertas aplicaciones, los plásticos convencionales derivados del petróleo. Al modificar estructuralmente el almidón mediante procesos físicos y químicos, es posible mejorar sus propiedades mecánicas, térmicas y de resistencia al agua. Esto permitiría optimizar su rendimiento en diversas aplicaciones, como recubrimientos o empaques, promoviendo, además, una economía circular al aprovechar recursos naturales de bajo costo y fomentar la sostenibilidad.

## **1.2 Antecedentes**

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de adoptar prácticas sostenibles, los biopolímeros han surgido como una alternativa prometedora. Estos materiales se dividen en dos categorías principales: aquellos basados en recursos renovables y los degradables que cumplen con los criterios de biodegradabilidad reconocidos científicamente (Valero et al., 2013). De hecho, según el mismo autor, los biopolímeros representan una solución desde el origen del problema.

Por otro lado los bioplásticos derivados principalmente de recursos renovables, ofrecen una interesante alternativa para la industria de los plásticos. Su funcionalidad en términos de biodegradabilidad y compostabilidad brinda ventajas significativas para diversos sectores industriales, especialmente el sector del empaque. Este sector, que incluye a la industria alimentaria como su mayor consumidor (García, 2015), se beneficia de la síntesis de productos biodegradables, preferiblemente a partir de materias primas de bajo costo y propias.

Entre los biopolímeros más estudiados se encuentra el almidón, que se destaca por su accesibilidad, abundancia y características favorables. El almidón de papa, en particular, ha sido objeto de interés por sus propiedades y su adecuada relación amilosa/amilopectina (Holguín, 2019). Investigaciones previas también han explorado diversas fuentes de almidón, como el de maíz y yuca, para la producción de bioplásticos.

En Colombia, se han realizado esfuerzos significativos para promover el uso de bioplásticos. Por ejemplo, el proyecto BIOEMPAQUES CAUCA, iniciado en 2012, se centró en el desarrollo de empaques biodegradables (Bioempaques Cauca, 2017). Además, estudios han demostrado la viabilidad de producir películas plásticas flexibles y biodegradables utilizando diversos recursos (Rivera et al., 2018).

En este sentido se realizó un análisis del almidón de tres variedades de papa (criolla, sabanera y pastusa), evaluando su rendimiento y propiedades. A partir del almidón de papa, se desarrollaron bioplásticos utilizando diferentes tipos de plastificantes, con el objetivo de obtener un material resistente y con baja solubilidad en agua. Se encontró que la papa criolla era la más adecuada para este proceso, debido a su mayor contenido de materia seca. Los bioplásticos resultantes presentaron una solubilidad moderada en agua, mayor resistencia en

condiciones ácidas que en alcalinas, y buena permeabilidad a aceites.

Los resultados de diferentes estudios destacan que las propiedades de biodegradabilidad dependen significativamente de la composición de las películas, particularmente de las concentraciones de almidón y plastificante. Se identifica que la biodegradabilidad aumenta conforme las mezclas optimizan su interacción molecular (Charro, 2015).

La evaluación de la viabilidad y eficiencia de los bioplásticos requiere pruebas específicas, como pruebas de fuerza, elongación y biodegradabilidad, que deben compararse con los plásticos convencionales (Mendoza et al., 2019). Esto sugiere un camino hacia el desarrollo y la adopción masiva de bioplásticos en Colombia, con el objetivo de abordar la problemática ambiental asociada al consumo de polímeros convencionales. Este esfuerzo incluye investigaciones y desarrollos académicos en curso (Morales, 2018).

### **1.3 Justificación y planteamiento del problema**

#### ***1.3.1 Justificación***

La investigación se enfoca en la caracterización de un bioplástico fabricado a partir del almidón de papa, con el objetivo de abordar la problemática asociada al uso excesivo de plásticos sintéticos y su impacto ambiental.

En los últimos años, el incremento del problema derivado del uso indiscriminado de plásticos sintéticos ha generado graves consecuencias para nuestro entorno. La falta de control en su utilización ha provocado un aumento en la contaminación y la acumulación de desechos, lo que incita a la necesidad de buscar alternativas viables como la implementación de la ley 2232 de 2022 la cual regula la reducción y eliminación progresiva de plásticos de un solo uso

Los bioplásticos, elaborados a partir de recursos vegetales como el almidón, surgen como una opción eco amigable y sostenible. El almidón de papa, siendo un recurso abundante y de rápida obtención ya que la papa es el cuarto cultivo más importante del mundo para la

alimentación y uno de los principales tubérculos cultivados en Latinoamérica, particularmente en Colombia, donde está posicionada entre los tres primeros alimentos cultivados en el país según Fedepapa (2020), ofrece una alternativa prometedora para reemplazar a los plásticos convencionales.

La investigación se centra en descubrir enfoques novedosos y soluciones prácticas ante la prevalencia del uso de plásticos derivados del petróleo. Al fomentar la utilización de recursos naturales y renovables, se impulsa el crecimiento de una economía más sostenible y se avanza en la protección del medio ambiente.

### ***1.3.2 Planteamiento del problema***

En la planta de procesos La Merced de Pasto, se genera una cantidad significativa de almidón de papa como parte de sus operaciones industriales. A partir de este almidón se pueden generar una alternativa viable para aprovechar este vertimiento como son los biopolímeros ya que se utilizan en diversas aplicaciones, desde embalajes hasta productos desechables.

El proceso de producción industrial genera gran cantidad de almidón de papa residual, producto del lavado de la materia prima. Consiste principalmente en la eliminación de altas concentraciones de materia orgánica y en suspensión (limo, arena y residuos de cascara). Las aguas residuales y el agua saturada se descargan directamente a los colectores de aguas residuales y luego se descargan directamente a los lechos de los ríos, creando una carga de residuos contaminantes en las fuentes hídricas (Prada 2012).

La resistencia de los biopolímeros es un factor crítico, especialmente en aplicaciones donde se requiere una durabilidad significativa. Si los biopolímeros no cumplen con los estándares de resistencia adecuados, pueden provocar fallas en los productos finales, lo que resultaría en pérdidas económicas para la empresa y potencialmente, riesgos para la seguridad del consumidor.

Por otro lado, la biodegradabilidad de los biopolímeros es esencial para reducir el impacto ambiental de su uso. Si los biopolímeros tardan demasiado en descomponerse en el medio ambiente, podrían contribuir a la acumulación de desechos plásticos y la contaminación del suelo y el agua.

En este contexto, se realiza la siguiente pregunta. ¿Qué variables determinan la calidad de un bioplástico fabricado a partir de subproductos aprovechables dispuestos como material residual en la planta de producción LA MERCED?

### ***1.3.3 Hipótesis***

La variable determinante para obtener un polímero de calidad es el ácido acético con un coeficiente de correlación positivo superior al 0,8.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Evaluar que variables influyen de manera determinante en la calidad de un biopolímero.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Diagnosticar las propiedades fisicoquímicas del almidón de la papa.
- Diseñar el proceso de transformación del almidón de papa a bioplástico escala laboratorio.
- Analizar la calidad del biopolímero en comparación con datos de literatura.

## **1.5 Materiales y Métodos**

### ***1.5.1 Área de estudio***

La investigación se desarrolla en la planta de procesos la Merced en la ciudad de San Juan de Pasto, esta es una empresa gastronómica con gran trayectoria en la ciudad, ubicada aproximadamente a 10 kilómetros de la ciudad de Pasto en donde se lleva a cabo el procesamiento de los alimentos como carnes, panadería, postres, verduras entre otros, para ser

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced.*

distribuidos en las diferentes sucursales de la ciudad de Pasto e Ipiales, donde la carne es entregada en cortes y lista para su preparación, en cuanto a panadería y pastelería realizan todo tipo de panes y pasteles.

La empresa cuenta con más de 420 trabajadores entre supervisores, administrativos, operarios entre otros.

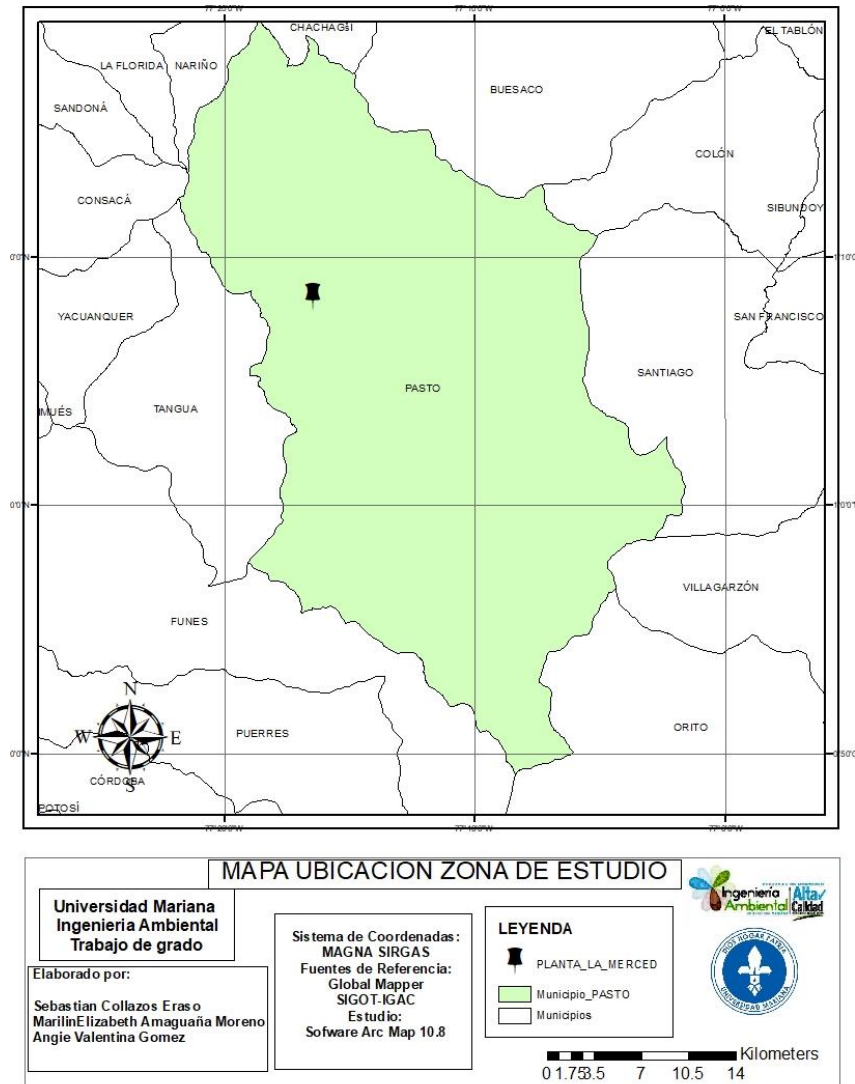
El proceso de transporte de la papa se dirige hacia la planta de procesamiento La Merced. Una vez allí, se seleccionan los tubérculos de mejor calidad. El lavado se realiza en bandas o correas transportadoras, donde un chorro de agua cubre las papas por completo. Posteriormente, estas pasan a una máquina equipada con paletas giratorias que permiten un lavado más profundo. Además, se utilizan corrientes de agua adicionales que hacen el proceso aún más efectivo.

El pelado se lleva a cabo en máquinas que aplican un sistema de rayado y fricción, lo que permite que la cáscara se retire completamente mediante un movimiento giratorio. El residuo generado en este proceso es fundamental para el proyecto, ya que de él se obtiene el almidón de papa, un subproducto clave.

Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced.

Figura 1

Mapa ubicación zona de estudio Planta de proceso La Merced.





## **1.5.2 Descripción de metodología**

**1.5.2.1 Diagnosticar las propiedades fisicoquímicas del almidón de la papa.** La toma de muestras es un proceso importante para obtener la representación de un producto específico, como es el residuo del proceso de extracción de la materia prima. Esto se realiza con el fin de llevar a cabo análisis y procesos de laboratorio en los cuales, en primera instancia, se evalúa la composición del almidón de papa para continuar con la modificación fisicoquímica del almidón obtenido y transformarlo en un biopolímero a través de distintos procesos.

Para iniciar con la identificación de los puntos de muestreo, se obtuvieron 6 muestras. Se toman 2 muestras de un mismo vertimiento a diferentes horas en 3 momentos distintos de la mañana: 7 am, 10 am y 12 pm. Como segundo punto, se prepara el recipiente estéril, donde se toma 1 kg de muestra con la debida protección personal, evitando la contaminación de la muestra con otros componentes.

### **Figura 2**

*Toma de muestra planta de Procesos La Merced*



**1.5.2.1.1 pH.** Para la obtención de pH se realizó por el método ISO 11289 siguiendo la metodología potenciométrica. Se pesaron 5 gramos de almidón en un beaker de 100 ml, luego se agregó 20 ml de agua destilada. Posteriormente se agitó durante 6 minutos y se introdujo el pHmetro para medir directamente el pH de la muestra. Se repitió el procedimiento con el total de las muestras.

**1.5.2.1.2 Humedad.** El contenido de humedad se obtuvo mediante el método AOAC 925.10 o gravimétrico. Se pesaron 2 gramos de la muestra de almidón de papa y se llevó al analizador de humedad por un rango de tiempo de 40 minutos a 1 hora. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento con las muestras faltantes.

**1.5.2.1.3 Grasas.** Grasas y aceites se obtuvo a partir del método AOAC 922.06 mediante el uso del equipo extractor soxhlet. Se pesaron 2 gramos de muestra en un vidrio de reloj, posteriormente se colocaron en un bolón de aforo de 100 ml ensamblado en el extractor soxhlet por 24 horas, pasado este tiempo se tomó el peso final. Se realizó el mismo procedimiento en las 6 muestras.

**1.5.2.1.4 Cenizas.** Para la obtención del contenido de cenizas se determinó por el método AOAC 923.03 de calcinación donde se realizaron 3 repeticiones con un peso de 5 gramos de almidón de papa en un crisol, posteriormente se llevó a la mufla a 230 °C durante 4 horas y se dejó enfriar en el desarenador por 20 minutos posteriormente se empleó el cálculo con la siguiente fórmula.

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso de la muestra despues de mufla}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

**1.5.2.1.5 Carbohidratos.** Los carbohidratos totales se obtuvieron mediante diferencia de datos reportados en los anteriores análisis de laboratorio, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$(\%CHAOS) = 100 - (\%)Hum - (\%)Gra - (\%)Cen$$

### **1.5.2.2 Proceso de transformación del almidón de papa a biopolímero a escala laboratorio.**

Requerimientos iniciales

- Almidón de papa
- Glicerina
- Agua destilada
- Ácido acético

Equipo de laboratorio

- Placa calefactora
- Matraz Erlenmeyer 500 ml
- Termómetro
- Balanza analítica
- Espátula
- Moldes antiadherentes para el vertido del biopolímero
- Horno

**1.5.2.2.1 Gelatinización del almidón.** Se procedió a pesar 40 gramos de almidón de papa para cada una de las muestras en una balanza analítica y luego fueron añadidos a un matraz con 200 ml de agua destilada y se calentó la mezcla en una placa calefactora donde se debe elevar la temperatura gradualmente a (67-70°C) para que la mezcla tome una textura viscosa, durante la gelatinización factible la amilopectina se convierta en una estructura amorfa a medida que se incrementa la temperatura, pero debe evitarse la cristalización de la estructura del almidón. (“National Starch”, 2010).

**1.5.2.2.2 Acetilación del almidón.** Se procedió a realizar un proceso de acetilación ya que los almidones modificados presentan mejores propiedades que los almidones nativos y se utilizan para impartir estabilidad y resistencia a la degradación (Wurzburg, 1986).

El almidón puede ser convertido en almidón termoplástico (TPS) mediante el adecuado uso de plastificantes y bajo determinadas condiciones (Leiva, 2011).

La acetilación del almidón se realizó mediante la metodología propuesta por Mark y (Mehlretter, 1972).

Con algunas modificaciones, se incorporaron diferentes cantidades de ácido acético (19 ml y 8 ml) y glicerina (19 ml y 8 ml) a las muestras, siendo la glicerina un plastificante que mejora las propiedades del biopolímero resultante.

Posteriormente la mezcla ya gelatinizada y modificada es vertida en moldes antiadherentes y se deja enfriar a temperatura ambiente 1 hora para que se solidifique parcialmente, para luego someter al proceso de secado en horno durante 8 horas a una temperatura de (60 y 50) °C.

Una vez seco, se desmolda cuidadosamente el biopolímero donde se obtiene una lámina que posteriormente será sometido a pruebas de resistencia mecánica y biodegradabilidad en condiciones específicas para evaluar su rendimiento.

**1.5.2.3 Calidad del biopolímero en comparación con datos de literatura.** Para evaluar la elasticidad, resistencia a la compresión y biodegradabilidad del almidón, se emplea un extensómetro para medir la elasticidad y se determina la resistencia del material. Siguiendo los métodos estandarizados de las normas ISO 527 y ASTM D638 y el diseño de probetas se realizó utilizando software CAD y siguiendo normativas ASTM E8 para probetas cilíndricas e ISO 6892-1 para probetas rectangulares.

Posteriormente, las muestras se someten a un ambiente de compostaje controlado para evaluar su biodegradabilidad y calcular la tasa de descomposición en un período específico.

Para llevar a cabo la prueba de biodegradación, se realizan ensayos en condiciones naturales, específicamente al aire libre, adicionalmente agregándole humedad a las muestras. Para ello, se extraen varias muestras del biopolímero. Las muestras se colocan en una maceta que contiene material de compostaje. Se lleva un control de revisión durante 45 días para observar el proceso de degradación, de acuerdo con la normativa ISO 14855-1. Este procedimiento permite evaluar el proceso de descomposición del biopolímero en un entorno natural y realista.

#### ***1.5.2.4 Diseño experimental.***

**Tabla 1**

*Diseño experimental*

Tipo de experimento	Factorial
Variable de respuesta	Calidad, biodegradabilidad, resistencia y elasticidad.
Objetivo	Evaluar la calidad del biopolímero que se genera a partir del procesamiento de la papa en la planta de procesos de La Merced.
Factor	Temperatura Glicerina agregada Ácido acético agregado
Tratamiento	Modificación de almidón por acetilación.
Niveles de factores	Temperatura (50, 60) °C Glicerina agrega (19, 12) ml Ácido acético agregado (19, 12) ml
Unidad experimental	Agua de lavado con contenido de almidón
Hipótesis	La variable determinante para obtener un polímero de calidad es el ácido acético con un coeficiente de correlación positivo superior al 0,8.
Covariables	Temperatura de la materia prima Humedad de la materia prima pH de la materia prima Grasas presentes en la materia prima Cenizas presentes en la materia prima Carbohidratos en la materia prima.
Confusing factors	Contenido de amilosa Concentración de almidón
Repeticiones	2 repeticiones

## 2. Resultados y discusión

A continuación, se presenta los resultados de los parámetros fisicoquímicos realizados en laboratorio plasmados en las siguientes tablas.

### 2.1 Propiedades fisicoquímica del almidón de la papa

**Tabla 2**

*Propiedades fisicoquímicas almidón de papa*

Muestra	Repetición	Componentes				
		pH	Humedad	%	Grasas	Cenizas
1	1	6,340	12,320	0,124	0,821	86,735
	2	6,320	13,200	0,123	0,820	85,857
2	1	6,820	14,180	0,119	0,798	84,903
	2	6,940	14,050	0,120	0,796	85,034
3	1	6,230	13,660	0,121	0,795	85,424
	2	6,250	13,710	0,124	0,795	85,371
4	1	6,360	15,020	0,122	0,853	84,005
	2	6,340	14,950	0,121	0,851	84,078
5	1	6,24	83,6	0,129	0,842	15,429
	2	6,28	82,7	0,128	0,831	16,341
6	1	6,320	14,820	0,121	0,852	84,207
	2	6,310	14,720	0,124	0,830	84,326

#### 2.1.1 pH

**Tabla 3**

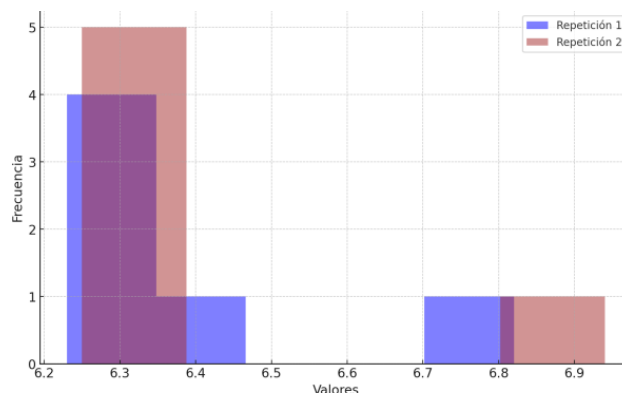
*Datos estadísticos descriptivos de pH*

Variable	Observaciones	Obs. con datos	Obs. sin datos	Mínimo	Máximo	Desv. típica
----------	---------------	----------------	----------------	--------	--------	--------------

		perdidos	perdidos			
<b>Repetición 1</b>	6	0	6	4,160	6,340	0,850
<b>Repetición 2</b>	6	0	6	4,140	6,320	0,861

**Figura 3**

*Histograma pH*



El valor de pH del almidón de papa es de 6.42 mostrado en la Tabla 2, el cual está dentro de los rangos establecidos por Díaz (2015) (6.35 - 6.93). Asimismo, este valor se encuentra cercano al rango reportado por (Izarra y Yantas, 2012) (6.35 a 6.45). Esta variación de pH se atribuye al proceso de fermentación ácida, lo que resulta en la liberación de amoníaco y el crecimiento de hongos, lo que a su vez aumenta el valor de pH. (Aristizábal y Sánchez, 2007) afirman que un almidón debe estar entre 6 y 6.5.

Se realizó un análisis descriptivo entre rangos de mínimo, máximo y media lo cual indica una variación moderada en los niveles de pH medidos, la media en promedio con las dos repeticiones indica que los niveles de pH son ligeramente ácidos, lo cual es beneficioso para la estabilidad del bioplástico y su biodegradabilidad (Holguín, 2019). Se observó en la desviación

estándar que las concentraciones estuvieron alrededor de la media, indicando así una consistencia al momento de la elaboración del biopolímero.

Se obtuvo un pH ligeramente ácido, lo que permite la mejor elongación del bioplástico en las pruebas mecánicas. El proceso de secado se llevó a cabo en recipientes de aluminio en un rango de temperaturas de 50°C y 60°C, en la última temperatura. el bioplástico se observa completamente en estado seco, en el caso de encontrar un pH muy alcalino puede afectar negativamente la biodegradabilidad, ya que muchos microorganismos responsables de la biodegradación prefieren condiciones neutras o ligeramente ácidas (Moreno, 2020).

Las barras superpuestas en azul (Repetición 1) y café (Repetición 2) indican que las distribuciones de ambas repeticiones son muy similares, mostrando consistencia en las mediciones de pH. Esta consistencia sugiere que los procedimientos de medición fueron replicados de manera precisa entre ambas repeticiones.

### **2.1.2. Humedad**

**Tabla 4**

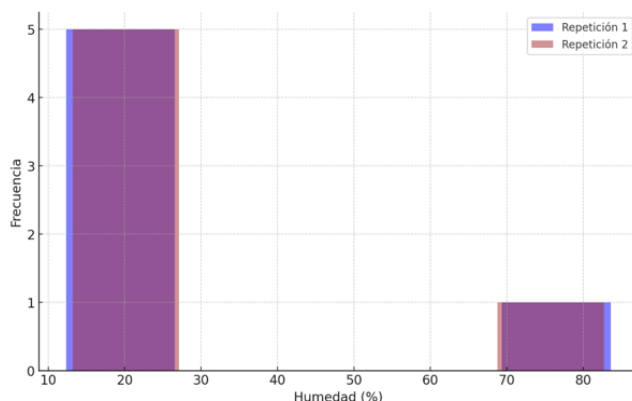
*Datos estadísticos descriptivos de humedad*

<b>Variable</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Obs. con datos perdidos</b>	<b>Obs. sin datos perdidos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. típica</b>
<b>Repetición 1</b>	6	0	6	12,320	83,600	25,583	28,438
<b>Repetición 2</b>	6	0	6	13,200	82,700	25,583	27,990



**Figura 4**

*Histograma Humedad*



El contenido de humedad del almidón de papa en la muestra 5 es de 82.70% y 83.60% mayor según (Chavarría y Vera,2020) (14.15% a 15.62%). Esto se debe a que al tomar la muestra de almidón se identifica que, al provenir del lavado de la papa, en el momento de extracción hubo más presencia de agua en los recipientes de almacenamiento de lavado y extracción del almidón. Por lo tanto, al realizar las pruebas de humedad se obtuvieron porcentajes muy elevados. Por el contrario, las muestras 1, 2, 3, 4 y 6 obtuvieron rangos entre 12.32% y 15.02% los cuales según. (Chavarría y Vera, 2020) se encuentra en valores adecuados de humedad para el almidón de papa, debido a que si se encontrara rangos inferiores pueden llevar consigo problemáticas en especial microbianas causando problemáticas o deterioro de su calidad.

El histograma señala que la mayoría de los valores de humedad se concentran entre el 10% y el 20%, con una frecuencia de 5, indicando que estos valores son los más comunes en ambas repeticiones. Hay un valor atípico entre el 70% y el 80%, con una frecuencia de 1, lo que sugiere un posible error o una muestra significativamente diferente. Las barras superpuestas en azul y café indican que los datos de ambas repeticiones son muy similares, lo que sugiere consistencia en las mediciones.

El uso del almidón sin modificar está muy limitado debido a sus pobres propiedades, como son: la biodegradabilidad y la exposición a la humedad, la reducción del proceso debido a su

alta viscosidad y la fragilidad de las películas fabricadas (Cavero, 2016). Al momento de realizar pruebas fisicoquímicas se remplazan o modifican estructuras del almidón lo que permite obtener una mejor calidad al momento de realizar el biopolímero, es importante saber de qué se compone y las características que definen al almidón ya que debido a este proceso se conocen las condiciones en la que se encuentra el almidón y así proceder de la mejor manera a realizar el biopolímero con las condiciones adecuadas.

### 2.1.3 Grasas

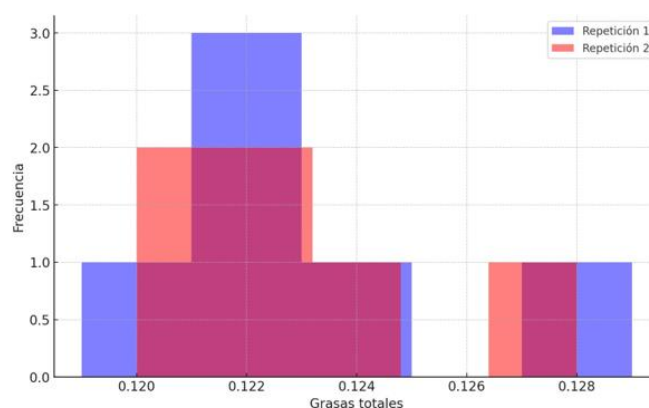
**Tabla 5**

*Datos estadísticos descriptivos grasas*

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Repetición 1	6	0	6	0,119	0,129	0,123	0,004
Repetición 2	6	0	6	0,120	0,128	0,123	0,003

**Figura 5**

*Histograma de grasas*



El contenido de grasa presente en el almidón de papa se ha determinado en un valor del 0.1245%, un porcentaje inferior a los registros encontrados por (Vargas, 2016). Para una variedad comercial de papa, que fue del 0.30%, así como a los datos reportados por (Alvis, 2008), que señalaban un contenido del 0.35%. Este hallazgo sugiere una variabilidad en la composición de los almidones según la variedad de papa analizada. Además, se ha observado que el contenido de grasa puede ejercer una influencia significativa en las propiedades y comportamiento de los almidones. Este fenómeno puede resultar en una disminución de la viscosidad de la pasta y en una reducción de la fuerza del gel.

La relación entre la desviación estándar y la media es de  $0.003/0.123$  que equivale a 0.0244 aproximadamente el 2.44% esta medida de dispersión relativa de los datos respecto a la media y es bastante baja.

Las grasas pueden actuar como plastificante natural mejorando la flexibilidad del bioplástico. Sin embargo, en cantidades excesivas pueden disminuir o hacerlo menos resistente. (Villada et al, 2007).

#### **2.1.4 Cenizas**

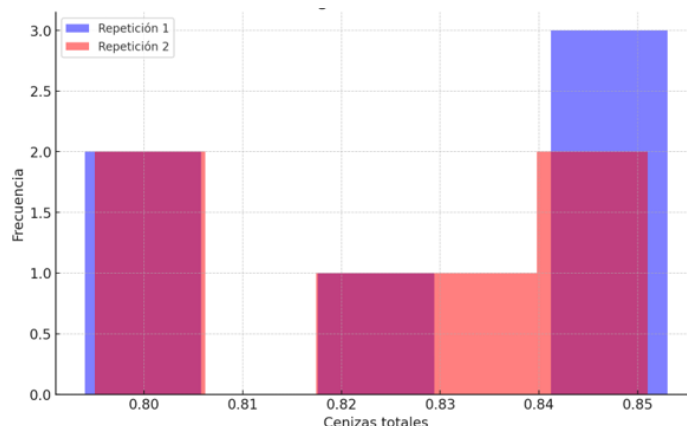
**Tabla 6**

*Datos estadísticos descriptivos cenizas*

<b>Variable</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Obs. con datos perdidos</b>	<b>Obs. sin datos perdidos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. típica</b>
Repetición 1	6	0	6	0,794	0,853	0,827	0,026
Repetición 2	6	0	6	0,795	0,851	0,823	0,024

**Figura 6**

*Histograma de cenizas*



Según el contenido de cenizas con un promedio de 0.8308%, el cual superó la concentración típica de 0.6% lo que representa una gran cantidad de minerales y sales que quedan del producto de extracción y minerales encontrados en la materia prima (Vargas y Velez, 2016). El contenido de grasas hallado en el almidón es de 0,23 lo cual puede impactar en la manera en que el almidón se comporta reológica mente, resultando en una disminución de su viscosidad y debilitando la fuerza de un bioplástico que se produzca posteriormente (Melian, 2010).

Los datos de desviación típica muestran valores de 0.026 y 0.024 con una media de 0.827 y 0.823 lo que sugiere que los valores se encuentran muy concentrados alrededor de la media mostrando poca dispersión y alta consistencia en las mediciones de los valores registrados, variaciones en el contenido de cenizas puede indicar inconsistencia en la materia prima y tener efectos negativos en la biodegradabilidad ya que los componentes inorgánicos no se descomponen fácilmente por los microorganismos

El histograma de los valores de cenizas exhibe una distribución más uniforme, con una ligera concentración alrededor de un valor central. Aunque no muestra una clara distribución bimodal.

### 2.1.5 Carbohidratos

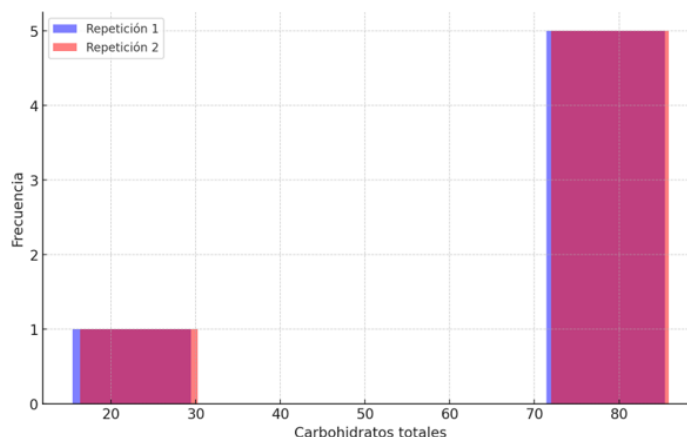
**Tabla 7**

*Datos estadísticos descriptivos carbohidratos*

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Repetición 1	6	0	6	15,429	85,425	72,967	28,195
Repetición 2	6	0	6	16,341	85,857	73,471	27,996

**Figura 7**

*Histograma carbohidratos*



Según (Singh y Kaur, 2009), los carbohidratos son esenciales en el almidón de papa puesto que, al presentar un buen porcentaje, el almidón puede llegar a ser de mayor pureza. Al poder observar los resultados en la tabla 6 se puede inferir según (Diaz, 2015), en la mayoría de muestras se encuentran en rangos óptimos (88.09% a 88.84%) encontrándose en rangos de (85.857% a 83.735%). En cuanto a la muestra 5 presentalos valores de las repeticiones 1 y 2

(15.429% y 16.341%) la cual representa porcentajes muy bajos, lo que conlleva un deterioro en su calidad, a baja concentración de carbohidratos puede tener implicaciones negativas en las propiedades y aplicaciones del almidón, lo que puede llegar a presentar la importancia de mantener estándares de calidad rigurosos en el proceso de producción y selección de materias primas. (Chavarría y Vera, 2020).

El histograma sugiere que hay una leve asimetría hacia la derecha, sugiriendo una tendencia hacia valores más altos, también se observa una considerable variabilidad en los datos, con la presencia de valores atípicos en los extremos del histograma. Este patrón indica una diversidad en la concentración de carbohidratos entre las muestras analizadas.

El uso del almidón sin modificar está muy limitado debido a sus pobres propiedades, tales como el deterioro de las propiedades mecánicas por exposición a la humedad, la reducida procesabilidad debido a su alta viscosidad y la fragilidad de las películas fabricadas (Cavero, 2016).

Es fundamental conocer la composición y las características que definen al almidón, ya que este proceso permite determinar las condiciones en las que se encuentra el almidón, lo que facilita la creación del biopolímero bajo las condiciones más adecuadas.

## **2.2 Análisis calidad proceso de transformación del almidón de papa a biopolímero a escala laboratorio**

Se empleó almidón de papa como materia prima base, acompañado de glicerina y ácido acético como agregados principales. El proceso dio inicio con la gelatinización del almidón mediante su calentamiento en agua destilada, logrando así la textura viscosa requerida para las etapas posteriores. A continuación, se efectuó la acetilación del almidón, donde el ácido acético mejoró las propiedades de resistencia y estabilidad del biopolímero, mientras que la glicerina actuó como plastificante.

**Tabla 8**

*Lista de parámetros y concentración de aditivos*






<b>Muestras</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>	<b>Temperatura horno</b>	<b>Glicerina (ml)</b>	<b>Ácido acético (ml)</b>	<b>Agua destilada (ml)</b>	<b>Almidón (mg)</b>	
<b>1</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40
<b>2</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40
<b>3</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40
<b>4</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40
<b>5</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40
<b>6</b>	1	8	50	19	19	200	40
	2	8	60	12	12	200	40

El tiempo de secado fue de 8 horas, a una temperatura de 50 °C a 60 °C. Estos parámetros y concentraciones fueron similares a los reportados por (Holguín, 2010). El mismo autor utilizó un porcentaje de glicerina del 30 % y determinó que la resistencia mecánica aumenta a medida que disminuye la relación de concentración de glicerina respecto al almidón y al agua. Por otro lado, la elasticidad y la elongación variaron según la cantidad de glicerina y el pH de la mezcla. Además, la modificación del almidón con ácido acético en una proporción del 5 % v/v permitió obtener un almidón con proporciones óptimas de amilosa y amilopectina, junto con un alto grado de sustitución. Esto convierte a esta materia prima en un material ideal para desarrollar polímeros termo-resistentes, según lo demostrado en el estudio de Holguín. Por su parte, (Matta et al., 2011) informaron que el comportamiento del glicerol como plastificante se debe al carácter hidrofílico de sus moléculas. Al ser compatible con los biopolímeros presentes en la superficie de las películas, este facilita su interacción. De manera similar, (Contreras, 2021) reportó que un incremento en la concentración de glicerol en formulaciones de películas con almidones acetilados de maíz aumenta la solubilidad de las películas obtenidas. (Leyva et al., 2018) también destacaron la influencia del contenido de glicerol en la solubilidad de películas a base de almidón acetilado de maíz y gelatina, atribuyéndolo a la naturaleza hidrofílica de esta





molécula. En un estudio realizado por (Guevara et al., 2020), se obtuvieron películas a partir de almidón de yuca. La formulación utilizada consistió en 10 % de almidón, 85 % de agua y 5 % de glicerina como agente plastificante. Estas películas mostraron una resistencia de 5,47 N. Finalmente, (Ramakrishnan et al., 2018) mencionaron que, al aumentar la concentración de glicerol, se reduce el tiempo necesario para que la película de bioplástico se degrade.

**Tabla 9**

*Transformación almidón de papa a biopolímero*

Muestra	Lamina de biopolímero	Descripción
1		La lamina tiene una estructura al tacto un poco débil con grietas en los bordes y de textura poco uniforme y seca
2		De color opaco superficie seca y rígida presenta grietas en los bordes y de textura rugosa
3		La lámina tiene una apariencia opaca y algunas micro fisuras visibles en el centro y los bordes. La textura parece menos uniforme, y la superficie se percibe seca
4		La lámina obtenida muestra un aspecto más opaco y rígido. Se observan pequeñas fisuras en los bordes, y la superficie es menos pegajosa en comparación con la primera muestra
5		La lámina es opaca y tiene pequeñas microgrietas en los bordes. La textura es seca y rígida, y se perciben zonas con variaciones de grosor a simple vista.



6		De color opaco y con un matiz grisáceo, esta lámina muestra microgrietas signos de rigidez. Se perciben fisuras cerca de los extremos y una superficie irregular
7-8		En ambas laminas No se detectan áreas de fractura ni de debilidad, y la textura visual es lisa
9-10		En ambas condiciones, no se logró formar una lámina. La mezcla resultante fue inconsistente y careció de cohesión, mostrando una textura irregular y fragmentada. Estas muestras representan los peores resultados en términos de estructura, ya que no lograron ninguna integridad para considerarse un bioplástico funcional. La muestra número 5 en ambas repeticiones no se llevó a cabo pruebas mecánicas ni de biodegradabilidad ya que no se formó el bioplástico
11-12		Ambas Láminas de aspecto excelente, con transparencia uniforme y un tono gris perlado brillante. La superficie es suave, sin fisuras ni irregularidades, y muestra buena flexibilidad, la estructura es homogénea

## **2.3 Análisis y discusión calidad del biopolímero en comparación con datos de literatura**

### **2.3.1 Pruebas mecánicas**

El proceso de estandarización y fabricación de probetas de biopolímero para ensayos mecánicos, garantizando la precisión y reproducibilidad de los resultados. El diseño de las probetas se realizó utilizando software CAD y siguiendo normativas ASTM E8 para probetas cilíndricas e ISO 6892-1 para probetas rectangulares. Las muestras fueron fabricadas mediante impresión 3D y posteriormente evaluadas visualmente para asegurar la ausencia de defectos que pudieran afectar los ensayos.

Se emplearon calibradores con una precisión de  $\pm 0.2$  mm para medir las dimensiones de las probetas, verificando que cumplieran con los estándares especificados. Todos los equipos utilizados fueron calibrados conforme a las especificaciones del fabricante. La máquina universal que permite medir las dimensiones de las probetas así mismo se empleó el dinamómetro para realizar la prueba de resistencia a la tracción.

Las probetas fueron sometidas a pruebas de tracción en una máquina de ensayo universal con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas, como la resistencia a la rotura y la elasticidad. Los resultados fueron comparados con estudios previos para validar la consistencia y calidad del biopolímero. Este proceso asegura un control riguroso en la preparación de las probetas, contribuyendo a la fiabilidad de los ensayos mecánicos.

**Tabla 10**

*Resultados pruebas de tensión*

<b>Muestras</b>	<b>Resistencia a la tracción (Mpa)</b>	<b>Carga máxima (N)</b>
1	5.146	7.124
2	5.086	7.284
3	6.013	8.320
4	6.186	8.415
5	6.636	8.671
6	6.482	8.560
7	6.401	8.414
8	6.203	8.259
11	6.856	9.127
12	6.325	8.841

Los resultados obtenidos tras realizar las pruebas de tensión para las 6 muestras, cada una de ellas con dos repeticiones, dando un total de 12 se identificó que el material elaborado presentó una resistencia similar a la de un poliestireno de baja densidad, que varía entre 5 a 25 Mpa. En

cuanto a la carga máxima (N), la fuerza máxima que el bioplástico puede soportar antes de romperse fue de 8.301 N, lo que sugiere que el biopolímero tiene una resistencia uniforme, similar a los valores obtenidos por (Allende y Arriagada, 2013).

Investigaciones previas sobre biopolímeros han mostrado resultados que varían entre 6 MPa a 10 MPa, dependiendo del tipo de modificación química aplicada al almidón como los resultados reportados por (Guaranguai y Ramírez, 2021).

### **2.3.2 Biodegradación del bioplástico**

La biodegradación se evaluó en condiciones naturales utilizando cinco recipientes diferentes con compost previamente tamizado. Cada uno contenía las muestras 1, 2, 3, 4 y 6 de bioplástico, con el objetivo de evaluar la biodegradabilidad del material. La muestra 5 fue omitida en la fase de biodegradabilidad debido a los resultados obtenidos en el proceso de transformación.

La prueba se realizó de acuerdo con la normativa ISO 14855-1, y los valores de pérdida de peso durante el periodo inicial y final de 45 días se presentan en la tabla 11.

**Tabla 11**

*Peso perdido en muestras de biodegradabilidad del bioplástico desde el día 1 hasta el día 45*

<b>Muestra</b>	<b>Repetición</b>	<b>Peso inicial (g)</b>	<b>Peso Final (g)</b>	<b>Pérdida de peso (g)</b>
<b>1</b>	1	3.96	1.46	2.50
	2	3.89	1.62	2.27
<b>2</b>	1	4.17	2.02	2.15
	2	3.75	1.71	2.04
<b>3</b>	1	4.22	2.09	2.13
	2	4.02	1.99	2.03
<b>4</b>	1	4.65	1.92	2.73
	2	4.17	1.61	2.56

<b>6</b>	1	4.13	2.02	2.11
	2	3.85	1.86	1.99

**Tabla 12**

*Descripción del proceso de degradación del bioplástico*

<b>Día</b>	<b>Proceso de degradación del bioplástico</b>
<b>1</b>	La muestra se somete a condiciones naturales de exposición, incluyendo lluvia y sol, que simulan los ambientes comunes encontrados en ecosistemas o rellenos sanitarios.
<b>5</b>	Después de 5 días de exposición, la muestra no muestra signos visibles de ruptura en su estructura.
<b>15</b>	Al pasar 15 días, se observaron claramente rupturas en el material. La primera exposición a la humedad condujo a un aumento en la capacidad del bioplástico para absorber agua, lo que facilitó la fragmentación tanto de las superficies internas como externas de la muestra.
<b>30</b>	Después de 30 días de exposición, pueden observarse más evidente las rupturas ya que presentan de mayor tamaño e incremento de nuevas fisuras.
<b>45</b>	Después de 45 días de exposición, se evidencia cambios significativos en su textura ya que se muestra el material de menor dimensión y más delgado.

El proceso muestra una progresión clara en la degradación del biopolímero a lo largo del tiempo de exposición, como se observa en la tabla 12. Inicialmente, en el día 5, no se detectan signos visibles de deterioro en las muestras. Para cuantificar este aspecto de manera objetiva, se realizaron dos mediciones: una inicial y otra final, antes y después del periodo de exposición, utilizando una balanza analítica (Alarcón, 2022). Tras el tiempo de exposición de las muestras

en compostaje, se llevaron a cabo pruebas de medición de peso, presentadas en la tabla 18, que muestran los resultados de la pérdida de peso final de las muestras del bioplástico.

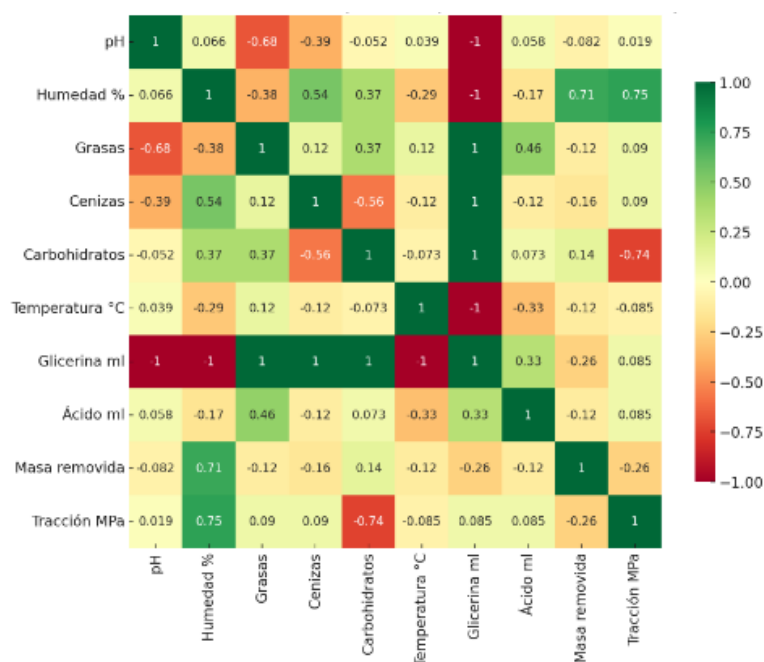
Durante el proceso de compostaje, el bioplástico se degradó visiblemente, volviéndose más frágil y desintegrándose gradualmente. Al finalizar el periodo de pruebas, se comprobó que los microorganismos del compost descomponen las cadenas poliméricas del bioplástico sin dejar residuos tóxicos detectables en el sustrato (Rosero, 2018), lo que refleja la eficiencia en la disminución de peso y la aparición de fisuras a lo largo de la prueba experimental. En este caso, se llevó a cabo una biodegradación aeróbica bajo condiciones específicas, que implicaron la presencia de oxígeno durante el proceso (Vargas et., al 2019).

Los resultados de las muestras obtenidas en la tabla 18 muestran valores de pérdida de peso entre 2,56 g y 1,99 g en 45 días. El aumento en la degradación podría atribuirse a una combinación de factores como la radiación ultravioleta, el calor y el oxígeno atmosférico, que contribuyen a la ruptura de los enlaces químicos del biopolímero, generando nueva biomasa no tóxica para el medio ambiente, según (Castells, 2012). Un factor clave del proceso fue la capacidad del biopolímero para absorber humedad, lo que provocó un deterioro adicional y facilitó la fragmentación de las superficies internas y externas de las muestras (Duffó, 2010).

### **Tabla 13**

*Coefficientes de correlación de Spearman*

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced.*



El análisis de los coeficientes de correlación de Spearman, presentados en la tabla 13, revela diversas relaciones entre las propiedades del biopolímero y sus componentes. Se observa una correlación positiva alta entre la humedad y la carga máxima (0.746), lo que sugiere que un aumento en la humedad podría mejorar la capacidad del biopolímero para soportar cargas. Sin embargo, la humedad muestra una relación débilmente negativa con la tracción (-0.082), indicando que, aunque la humedad favorezca la carga máxima, podría reducir ligeramente la resistencia a la deformación del material.

En cuanto a las cenizas, muestran una correlación inversa tanto con la tracción (-0.315) como con la carga máxima (-0.737), lo que indica que un mayor contenido de cenizas debilita la estructura del biopolímero, reduciendo su resistencia. Por otro lado, los carbohidratos no presentan una correlación significativa con las variables de calidad, lo que sugiere que su presencia no influye de manera directa en la resistencia o biodegradabilidad del material.

La temperatura de preparación muestra una correlación negativa con la masa removida (-0.331), lo que puede conllevar a inhibir la degradación de un plástico dependiendo de su tipo, en este caso el bioplástico hecho a base de almidón, las altas temperaturas no solo pueden acelerar la degradación, sino que también pueden estabilizar temporalmente la estructura

dificultando su descomposición, dependiendo el tiempo de exposición y las condiciones ambientales en las que se encuentre (Charro, 2015). Además, la temperatura tiene una relación débil con la tracción (-0.166), lo que sugiere que las temperaturas más altas podrían afectar ligeramente la resistencia a la deformación del material.

En cuanto a la glicerina y el ácido, se observa una leve relación positiva con la masa removida (0.331), lo que indica que estos componentes podrían facilitar la fragmentación del biopolímero, promoviendo así su biodegradabilidad. En términos de la relación entre resistencia y biodegradabilidad, se encuentra que la masa removida presenta una correlación negativa tanto con la tracción (-0.122) como con la carga máxima (-0.256), lo que indica que los biopolímeros más resistentes tienden a ser menos biodegradables.

El pH no muestra correlaciones significativas con las variables de calidad, lo que señala que su efecto sobre la resistencia y biodegradabilidad del biopolímero es mínimo en contexto experimental.

### **3 Conclusiones**

A partir del análisis experimental, se concluye que la hipótesis inicial debe rechazarse, ya que el ácido acético no resulta ser la variable clave en la calidad del biopolímero elaborado con almidón de papa. El diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas del almidón de papa permitió identificar que la humedad en el almidón tiene la mayor influencia directa en la calidad del material, mejorando aspectos como su flexibilidad y estructura. En cambio, los carbohidratos afectan de forma inversa la resistencia del biopolímero: a mayor concentración de carbohidratos, menor es su capacidad para resistir tensión. Por ende, para obtener un biopolímero con las propiedades de resistencia y durabilidad deseadas, es fundamental gestionar adecuadamente estas variables.

La metodología de transformación, especialmente en las etapas de gelatinización y acetilación, resultó eficaz para obtener un biopolímero con propiedades adecuadas para aplicaciones prácticas. La adición controlada de ácido acético y glicerina fue clave para mejorar la resistencia y flexibilidad del material.

El bioplástico obtenido mostró propiedades mecánicas y biodegradabilidad comparables a estudios previos, destacándose su resistencia similar a la de polímeros convencionales de baja densidad y su capacidad de degradación en un ambiente de compostaje controlado en aproximadamente 45 días, cumpliendo así con criterios de sostenibilidad y eficacia.

Se concluye que, a mayor resistencia a la tracción de un biopolímero, mayor será el tiempo requerido para su biodegradación. Esto se debe a que los biopolímeros con mayor resistencia estructural presentan una mayor estabilidad, lo que retrasa su descomposición natural.



#### **4 Recomendaciones**

Durante el proceso de fabricación, se sugiere controlar variables críticas como temperatura, tiempo de mezcla y velocidad de agitación, dado que estos factores pueden afectar significativamente las propiedades finales del biopolímero.

Es aconsejable documentar cada paso del proceso de elaboración en un protocolo detallado, incluyendo las condiciones de preparación y manipulación de los materiales, para asegurar la repetibilidad del experimento y facilitar futuras optimizaciones.

Si el análisis no se realiza inmediatamente después de la toma de muestras, se recomienda almacenar las muestras en condiciones que eviten su deterioro, como en ambientes con temperatura y humedad controladas, para mantener sus propiedades físicas y químicas.

### **Referencias bibliográficas**

Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., Valenzuela, F., (2018)  
<https://www.revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>

alarcón, M. (2022). obtención de bioplástico a partir del almidón de papa y yuca para uso como envoltura de alimentos. .

<https://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17325>

Anselmo, a., catarino, j., mendonca, e., partidario, p., picado, a. (2017). getting value from wastewater: by-products recovery in a potato chips industry  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652605002775>

Castells, X.,(2012) nuevas tecnologías para el tratamiento y conversión energética de residuos  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=axwa5rp2lumc&oi=fnd&pg=pa1094&dq=aceleraci%C3%B3n+en+el+proceso+de+degradaci%C3%B3n+de+un+biopl%C3%A1stico,+posiblemente+debido+a+la+acci%C3%B3n+combinada+de+la+radiaci%C3%B3n+ultravioleta,+el+calor+y+el+ox%C3%ADgeno+atmosf%C3%A9rico&ots=l2kiyuu7bj&sig=ps-drwtolavfgdjk1mvau2z5kvm#v=onepage&q&f=false>

Chavarría, M., vera, A., (2020). extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca  
<http://portal.amelica.org/ameli/jatsrepo/230/2301906004/2301906004.pdf>

Charro, m (2015) TRABAJO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA QUÍMICA  
<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/65f203e6-a3cd-41fd-bed4-a0322ee90ed1/content>

Cavero, A., Arturo, H ,Benites. E., (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced.*

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a07v82n3.pdf>

González, y., salamanca, j., vargas, j., (2018). uso de almidón de papa modificado como agente acoplante en compuestos polímero-fibras de madera  
<https://www.redalyc.org/journal/4962/496259178013/html/>

Gustavo,S., (2019) una mirada a la degradacion de los materiales  
<https://nuclea.cnea.gov.ar/server/api/core/bitstreams/8c270955-b618-410d-815b-751bdb31e9e5/content>

Holguin,J.,(2019) obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-iq.pdf>

Mongui, L., Quintero, S., (2021) Generación de bioplástico a base del almidón producido por la semilla del aguacate.  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28699/Mongu%C3%ADTorresLinaMarcela2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Meneses,A.,(2020). impactos y consecuencias de la prohibición de plásticos de un solo uso  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36104/menesesportelalauraisabel2020.pdf?jsessionid=a91ae93e5c7d679e59e4e709acbeb908?sequence=1>

Meneses, j., corrales c., valencia, m., (2007) síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1794-12372007000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1794-12372007000200006)

Peña,E.,(2017).Propiedades físico químicas de la papa  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2655/q02-p45-t.pdf?sequence=1&isallowed=y>

*Calidad del biopolímero a partir del aprovechamiento del almidón de papa en la planta de procesos La Merced.*

Rosero, O., (2018). evaluación de la estimación no destructiva del parámetro de densidad de fisuras en el hormigón: análisis de imágenes trabajo experimental.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/160259777.pdf>

Rosales, A., (2016) Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga, por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAN-Managua  
<https://repositorio.unan.edu.ni/2687/1/28212.pdf>

Sernaque, A.,(2020) biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mangifera indica y musa paradisiac  
<http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-22.pdf>

Vargas, O., Trujillo, J., Torres, M., (2019) El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-37092019000200123](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092019000200123)

Vagas, Y., Perez, L., (2018) aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente  
[file:///C:/Users/Nicole%20Cordero/Downloads/3108-Texto%20del%20art%C3%ADculo-13312-2-10-20190408%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Nicole%20Cordero/Downloads/3108-Texto%20del%20art%C3%ADculo-13312-2-10-20190408%20(1).pdf)

Valero, m., usategui, y., (2013). biopolímeros: avances y perspectivas  
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v80n181/v80n181a19.pdf>

Vargas, p., Medina, o., (2019). nfluencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa (Solamun tuberosum)  
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/bistua/article/view/253/237>

Cavero, A., Arturo, H., Benitez, A., (2016) Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa  
[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2016000300007](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000300007)