

Xiomara Olivera Mamano

Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzado.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:477593678

Fecha de entrega

31 jul 2025, 11:11 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

31 jul 2025, 11:28 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzado.docx

Tamaño de archivo

7.8 MB

50 Páginas

8959 Palabras

52.286 Caracteres

5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Caracteres reemplazados

45 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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

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

Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

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

1	Internet	repositorio.unam.edu.pe	<1%
2	Trabajos entregados	Escuela Politécnica Nacional on 2014-02-25	<1%
3	Internet	es.scribd.com	<1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
5	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
8	Internet	buleria.unileon.es	<1%
9	Trabajos entregados	Corporación Universitaria Minuto de Dios,UNIMINUTO on 2024-12-28	<1%
10	Trabajos entregados	Universidad Manuela Beltrán on 2023-10-30	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad EAFIT on 2019-06-19	<1%

12	Internet	bibliotecadigital.exactas.uba.ar	<1%
13	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2019-12-23	<1%
14	Internet	run.unl.pt	<1%
15	Trabajos entregados	Infile on 2023-07-20	<1%
16	Trabajos entregados	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2018-04-02	<1%
17	Trabajos entregados	Universidad de Guadalajara on 2023-06-16	<1%
18	Internet	docplayer.com.br	<1%
19	Internet	reciclayhavefun.blogspot.com	<1%
20	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
21	Internet	www.oneplanetnetwork.org	<1%
22	Publicación	GABRIELA ANDREA GALLO. "Estudio de propiedades fisicoquímicas y biológicas d...	<1%
23	Trabajos entregados	South Dakota Board of Regents on 2019-04-24	<1%
24	Trabajos entregados	Universidad Internacional Isabel I de Castilla on 2018-04-24	<1%
25	Trabajos entregados	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2020-09-14	<1%

26	Internet	ebuah.uah.es	<1%
27	Internet	es.kitechrecycle.com	<1%
28	Trabajos entregados ipn on 2025-05-09		<1%
29	Internet	remi.uninet.edu	<1%
30	Internet	repositorio.unaj.edu.pe	<1%
31	Internet	repositorio.uniandes.edu.co	<1%
32	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
33	Internet	revistacodigocientifico.itslosandes.net	<1%
34	Internet	tesis.ipn.mx	<1%
35	Internet	www.frontiersin.org	<1%

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzado con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Olivera Mamani Ruth Xiomara Nataly

Melo Chui Yeny Rosabel

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, julio de 2025

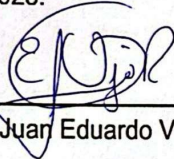
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **"Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzado con montmorillonita sódica en condiciones"** de los autores Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani y Yeny Rosabel Melo Chui tiene un índice de similitud de 5% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 24 días del mes de Julio del año 2025.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 24 día(s) del mes de julio del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a):

Ing. Enrique Mamani Lueda, el (la) secretario(a): Msc. Loayda Abigail Gonderi Turpo y los demás miembros: Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena Msc. Miguel Angel Salcedo Enriquez y el (la) asesor(a) Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivora

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzados con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas"

del(los) bachiller/es: a) Yeny Rosabel Melo Ghui
b) Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani
c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Yeny Rosabel Melo Ghui

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A -</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (b): Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A -</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente/a
[Firma]
Asesor/a
[Firma]
Bachiller (a)

[Firma]
Miembro
[Firma]
Bachiller (b)

[Firma]
Secretario/a
[Firma]
Miembro
[Firma]
Bachiller (c)

Dedicatoria

A Dios, fuente inagotable de sabiduría, amor y fortaleza, por cuidar de mí en cada paso, por acompañarme en silencio en los momentos más inciertos y por regalarme la esperanza necesaria para seguir adelante.

A mis queridos padres, por su amor sin medida, su esfuerzo incansable y por ser el ejemplo más grande de lucha, valentía y generosidad. Gracias por enseñarme a soñar en grande y a nunca rendirme, aun cuando el camino se torne difícil.

A mi familia, por su paciencia infinita, su comprensión y por ese apoyo que se siente incluso en el silencio. Cada palabra, cada abrazo, cada gesto fue un impulso que me sostuvo en esta travesía.

Y a mí mismo, por no rendirme, por seguir creyendo incluso en los días más oscuros, por levantarme con fe cuando todo parecía cuesta arriba. Hoy me abrazo con orgullo por todo lo que logré.

Olivera Mamani Ruth Xiomara Nataly

*A mi amado padre **Eduardo Melo Niebles** y a mi querida madre **Sebastiana Chui Mayta**, porque han sido mi mayor fortaleza en este camino, mi faro en las noches más oscuras y mi abrigo en los días de incertidumbre.*

Gracias por luchar sin descanso para darme lo mejor, por alentarme cuando sentía que no podía más y por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba.

A ustedes, que nunca soltaron mi mano, que me acompañaron con amor y paciencia en cada noche de desvelo, que estuvieron presentes con una palabra, un gesto, una mirada que lo decía todo.

Gracias por sostener mi alma en silencio, por confiar, por esperar conmigo, y por enseñarme con su ejemplo que la verdadera grandeza está en el amor entregado sin medida.

Este logro es fruto de su amor, su entrega y su fe constante en mí. Es el reflejo de todo lo que sembraron en mi corazón.

Melo Chui Yeny Rosabel

Agradecimiento

Agradezco profundamente a la Universidad Peruana Unión, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por el respaldo académico durante mi proceso de tesis.

Expreso mi sincero reconocimiento a mi asesor de tesis Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, por su orientación, exigencia académica y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí. Su guía fue fundamental para alcanzar esta meta.

A los docentes de la escuela profesional, por compartir sus conocimientos y experiencias, dejando una huella imborrable en mi formación.

A mis amigos y compañeros de estudio, por los momentos compartidos, el apoyo mutuo y las largas jornadas de trabajo en equipo. Nuestra amistad fue un aliento constante en esta etapa.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra forma, aportaron a mi crecimiento personal y académico. Este logro también les pertenece.

Olivera Mamani Ruth Xiomara Nataly

A Dios, por darme la vida, la fuerza y la sabiduría para llegar hasta aquí.

A mí misma, por no rendirme, por seguir cuando todo pesaba, y por acercarme, paso a paso, a la persona que soñaba ser.

A mis padres, por ser mi fuerza en los días difíciles, por su amor constante y por enseñarme, con su ejemplo, que los sueños se alcanzan con esfuerzo y fe. A mi hermana y a toda mi familia, gracias por su cariño, su compañía y por recordarme con cada gesto que nunca estuve sola.

Al Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor de tesis, gracias por su guía, su paciencia y por confiar en mi trabajo. A todos los ingenieros que me formaron durante estos años, gracias por compartir no solo su conocimiento, sino también su pasión por esta profesión.

A mis amigos, por estar, por alentarme y compartir este camino con risas y apoyo. Y a quienes se quedaron atrás, gracias por las lecciones y por haber sido parte de esta historia. Algunas estructuras, aunque ya no se vean, siguen sosteniendo en silencio lo que hoy permanece en pie.

Con todo mi corazón, Melo Chui Yeny Rosabel

Índice General

1. Introducción.....	11
2. Materiales y Métodos	15
2.1. Materia prima y lugar de ejecución	15
2.2. Diseño experimental.....	17
2.3. Metodología experimental	17
2.3.1. Procedimiento para la obtención de montmorillonita.....	17
2.3.2. Obtención del almidón de la cáscara de papa	18
2.3.3. Obtención de bioplásticos.....	21
2.3.4. Determinación de la biodegradabilidad	22
2.3.5. Determinación de la solubilidad	23
2.3.6. Determinación de la humedad	24
2.3.7. Evaluación de Propiedades Mecánicas.....	25
2.3.8. Determinación de grupos funcionales mediante espectroscopía FTIR.....	26
2.3.9. Cinética de degradación	27
3. Resultados	27
3.1. Rendimiento del producto.....	27
3.2. Justificación de las concentraciones de montmorillonita.....	28
3.3. Evaluaciones mecánicas del bioplástico	29
3.4. Análisis a las propiedades fisicoquímicas.....	30
3.5. Determinación de la biodegradabilidad.....	32
3.6. Caracterización Estructural por FTIR.....	33
3.7. Diseño estadístico	36

3.8. Influencia de la variedad de papa en el comportamiento del bioplástico.....	39
4. Conclusiones.....	40
5. Referencias	41
6. Anexos	46
6.1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio	46
6.2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.	47
6.3. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.	48

Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación de las áreas de recolección de papa y lugar de análisis.	16
Figura 2 Flujograma del proceso de obtención del almidón de cáscara de papa.....	20
Figura 3 Proceso del esquema para el ensayo de biodegradabilidad aeróbica de los bioplásticos.	23
Figura 4 Análisis mecánico promedio de bioplásticos elaborados con almidón de papa Canchan y Huayro.	29
Figura 5 Contenido de humedad y solubilidad de bioplásticos elaborados con almidón de papa Huayro y Canchan según concentración de montmorillonita sódica.	31
Figura 6 Promedio de biodegradabilidad de muestras a lo largo del tiempo.....	33
Figura 7 Espectro FTIR del bioplástico basado en residuos de papa reforzado con montmorillonita sódica.	34
Figura 8 Análisis estadístico de propiedades mecánicas y fisicoquímicas de bioplásticos según tratamiento.	36
Figura 9 Análisis de Componentes Principales (PCA).	37
Figura 10 Cinética de biodegradación de bioplásticos con diferentes concentraciones de montmorillonita ajustada a un modelo logístico.	38

Índice de tablas

Tabla 1 Diseño experimental de bioplásticos con almidón y montmorillonita sódica 22

Tabla 2 Grosor de las láminas de bioplástico por muestra y repetición 25

Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzado con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas

Resumen:

El aumento de la contaminación por plásticos y microplásticos ha generado la necesidad de desarrollar alternativas sostenibles y biodegradables. En este estudio se evaluó la viabilidad de producir bioplásticos a partir de cáscaras de papa de las variedades Canchan y Huayro, reforzadas con montmorillonita sódica, bajo condiciones altoandinas. Se aplicó un diseño factorial completamente al azar (2×3), evaluando propiedades mecánicas, fisicoquímicas y biodegradabilidad de seis tratamientos. Los resultados mostraron que la formulación BH3 (Huayro + 3 g de montmorillonita) presentó el mejor desempeño, con alto módulo de elasticidad (300.04 MPa), resistencia (2.67 N), elongación (224 mm), menor humedad (7.36%) y solubilidad (16.52%), además de una biodegradabilidad del 98% en compostaje. El análisis FTIR confirmó la interacción entre almidón y montmorillonita, y el modelo cinético logístico mostró un ajuste adecuado ($R^2 > 0.98$). Se concluye que el uso de residuos agrícolas locales y refuerzo mineral representa una opción viable, sostenible y alineada con el ODS 12, siendo BH3 una alternativa sólida para reemplazar plásticos convencionales en zonas rurales altoandinas.

Palabras clave: almidón de papa; economía circular; impacto ambiental; microplásticos; polímeros naturales, materiales biodegradables

Sustainable Production of Bioplastics Using Peruvian Potato Peels Reinforced with Sodium Montmorillonite under High-Andean Conditions

Abstract:

The increase in plastic and microplastic pollution has generated the need to develop sustainable and biodegradable alternatives. This study evaluated the feasibility of producing bioplastics from potato peels of the Canchan and Huayro varieties, reinforced with sodium montmorillonite, under high-Andean conditions. A completely randomized factorial design (2×3) was applied to evaluate the mechanical, physicochemical, and biodegradability properties of the six treatments. The results showed that the BH3 formulation (Huayro + 3 g of montmorillonite) exhibited the best performance, with a high elasticity modulus (300.04 MPa), resistance (2.67 N), elongation (224 mm), lower moisture (7.36%), and solubility (16.52%), along with 98% biodegradability in composting. The FTIR analysis confirmed the interaction between starch and montmorillonite, and the logistic kinetic model showed a good fit ($R^2 > 0.98$). It is concluded that the use of local agricultural waste and mineral reinforcement represents a viable, sustainable option aligned with SDG 12, with BH3 being a solid alternative to replace conventional plastics in high-Andean rural areas

Keywords: biodegradable materials; circular economy; environmental impact; microplastics; natural polymers; potato starch.

1. Introducción

A nivel global, se producen más de trescientos cincuenta millones de toneladas anuales de plásticos, una cantidad que sigue creciendo debido a su baja tasa de reciclaje, durabilidad, persistencia y lenta biodegradabilidad (Pilapitiya y Ratnayake,

2024). Esta acumulación y posterior descomposición viene generando una serie de problemas ambientales, como por ejemplo, la liberación de sustancias tóxicas cancerígenas (Estalatos, Bisenol A, Estireno) y generación de micro plásticos los cuales afectan la biodiversidad y la salud humana (Kasmuri y Zait, 2018). Los microplásticos, al ser ingeridos por diversas especies, causan daños físicos y alteran los ecosistemas, comprometiendo la biodiversidad y la salud ambiental, lo que agrava la contaminación y sus efectos a largo plazo (Quintana et al., 2025). Los microplásticos (MP) son partículas de tamaños <5 mm, y se clasifican de acuerdo a su origen, en primarios y en secundarios, los primeros son liberados intencionalmente al medio ambiente (Microesferas de productos de limpieza y cosméticos, fibras sintéticas y pellets industriales), y el segundo liberado de manera indirecta debido a procesos de desintegración o degradación de plásticos más grandes (acción mecánica, biodegradación parcial y exposición a radiación UV) (Castañeta et al., 2020; Li et al., 2023; Oporto et al., 2021). Según estimaciones recientes a nivel mundial, actualmente flotan en los océanos más de 51 billones de partículas de microplásticos, con un peso aproximado de 268,000 toneladas (Eriksen et al., 2014). La mayoría de estas partículas provienen de la degradación de polímeros convencionales como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) y tereftalato de polietileno (PET), materiales ampliamente utilizados en empaques, envases y textiles (Geyer et al., 2017). Usualmente, estos MP llegan a los diversos ecosistemas marinos (ríos, lagos y océanos) afectando la fauna y flora e ingresando a la cadena alimentaria. Al absorbente contaminante, los MP contribuyen a su acumulación en los ecosistemas marinos, afectando a los organismos y, finalmente, a las redes tróficas (Suet et al., 2021). Como resultado de la contaminación, (Huanaco y Gamboa, 2023) reportaron daños a la biodiversidad en el río Rímac relacionados

con la presencia de MP, los cuales causaron obstrucciones digestivas, muertes por inanición y transportan contaminantes peligrosos, intensificando su impacto negativo en el ecosistema acuático.

El marco del ODS 12, busca promover patrones de consumo y producción responsables, destacando la necesidad de adoptar materiales biodegradables y renovables para reducir la huella ecológica (Naciones Unidas, 2015). En la actualidad se están utilizando fuentes renovables (residuos orgánicos, plantas, algas o bacterias) para producir BP (Mena Pástor et al., 2025). La importancia de los BP radica en una menor dependencia del uso de petróleo, menor huella de carbono, mayor biodegradabilidad y compostabilidad y menor contaminación ambiental (Islam et al., 2024). Usualmente estos BP son fabricados utilizando recursos renovables como el maíz, el almidón o la caña de azúcar (Avellán et al., 2020). Según (Acosta et al., 2018), el almidón de papa presenta excelentes características fisicoquímicas y mecánicas que lo hacen superior a otras almidones en la producción de BP, destacándose por su baja temperatura de gelatinización y alta capacidad de hinchamiento, lo que mejora las propiedades de resistencia y biodegradabilidad del BP. El almidón de papa, especialmente el de variedades locales peruanas, tiene características ideales para la producción de BP. Al someter el almidón a un proceso de separación se pueden mejorar sus propiedades mecánicas (Martínez et al., 2015).

Además del almidón de papa, se han desarrollado diversas alternativas para la obtención de bioplásticos, tales como el ácido poliláctico (PLA), obtenido a partir de fuentes vegetales como el maíz y la caña de azúcar, ampliamente valorado por sus propiedades mecánicas y su elevada aplicabilidad industrial (Chen y Patel, 2012); así como los polihidroxialcanoatos (PHA), sintetizados por microorganismos mediante la fermentación de residuos orgánicos, los cuales destacan por su alta biodegradabilidad

en ambientes naturales y características fisicoquímicas similares a polímeros convencionales (Sathiyaseelan et al., 2023). Asimismo, también se han explorado materiales como la celulosa, la quitina y las proteínas vegetales, que presentan propiedades favorables para la formación de matrices biodegradables (Pawase et al., 2025). Estas alternativas han sido ampliamente documentadas en publicaciones científicas de alto impacto como *Chemical Reviews*, *International Journal of Biological Macromolecules* y *Journal of Polymers and the Environment*. No obstante, el almidón extraído de cáscaras de papa representa una opción particularmente atractiva por su bajo costo, su disponibilidad como subproducto agroindustrial y su notable capacidad para formar películas poliméricas biodegradables, lo que lo posiciona como una alternativa tecnológicamente viable, ambientalmente sostenible y económicamente accesible frente a otras fuentes biopoliméricas (Adjei et al., 2020; Singh et al., 2007).

Según un estudio sobre la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Juliaca, se generaron setenta y cinco toneladas anuales de residuos sólidos municipales, de las cuales el 30% corresponde a materiales inorgánicos como plásticos. Este porcentaje representa una parte significativa del total de residuos, lo que subraya el desafío de gestionar estos materiales, que incluyen plásticos y microplásticos, y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente (Candelaria et al., 2020). Además, Juliaca enfrenta un crecimiento urbano acelerado y una infraestructura de gestión de residuos insuficiente, lo que agrava la acumulación de desechos en la ciudad. La falta de un sistema eficiente de reciclaje y disposición final contribuye a la contaminación de espacios públicos y áreas naturales, afectando la calidad de vida de los habitantes (Najar Marín, 2024).

La solución propuesta es la producción sostenible de BP a partir de cascarras de papa peruana, reforzados con montmorillonita sódica. Esta alternativa busca

reducir la dependencia de plásticos derivados del petróleo y mitigar la contaminación por residuos agrícolas y plásticos (Müller et al., 2011). Al implementar esta tecnología apoyaría la transición hacia materiales sostenibles, sino que también fortalece la economía local, generando empleo en la producción de biopolímeros y promoviendo una industria más verde y competitiva (Glenn et al., 2014). De esta manera, el proyecto se posiciona como una respuesta efectiva a problemas globales y locales, mientras avanza en los compromisos internacionales enmarcados en el ODS 12.

Este estudio busca llenar ese vacío proporcionando datos sobre las condiciones óptimas para producir BP a partir de papa en zonas de altura. Además, se evaluará el efecto de la montmorillonita sódica como refuerzo, dado que mejora la durabilidad y las propiedades mecánicas de los BP, factores esenciales para su viabilidad comercial (Müller et al., 2011). Los resultados de esta investigación no solo podrían ofrecer una alternativa más sostenible para la producción de plásticos, sino que también contribuirían al desarrollo económico de las zonas rurales de Perú, creando empleo y promoviendo el uso de materiales renovables (Glenn et al., 2014). El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad de producir BP a partir de cascara de papa peruana, específicamente de las variedades Huayro y Canchan, reforzados con montmorillonita sódica, en condiciones altoandinas.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materia prima y lugar de ejecución

La materia prima utilizada fueron las cáscaras de papa peruana de las variedades: Canchan (C) y Huayro (H), recolectadas de la residencia Huacantara (S 15°31.21574'), es un restaurante abierto al público en general, brindando servicios alimentarios a una amplia comunidad. Debido al alto volumen de preparación diaria de alimentos, y especialmente a la frecuente inclusión de papa Canchan como insumo

base, este espacio genera una gran cantidad de residuos orgánicos, siendo las cáscaras de papa uno de los componentes más abundantes. Esta condición lo convierte en un punto estratégico para la recolección de residuos agroindustriales aprovechables y de la quinta La Rica Trucha (S 15°29.38321'), es reconocido por su variada oferta culinaria regional, en la cual destaca el uso intensivo de la papa Huayro. La afluencia constante de comensales y la preparación del timpu de trucha contribuyen a la generación significativa de residuos, particularmente cáscaras de papa Huayro, las cuales fueron derivadas al laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Universidad Peruana Unión - Filial Juliaca.

En el laboratorio, se hizo la extracción de almidón, la producción de BP y las pruebas fisicoquímicas. Mientras que la evaluación de las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción y la fuerza de elongación), de los BP, se realizaron en el Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

Figura 1

Mapa de ubicación de las áreas de recolección de papa y lugar de análisis.



2.2. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar de 2 x 3, con dos factores: la variedad de papa (Canchan y Huayro) y la concentración de montmorillonita (0, 1 y 3 g). Esto dio lugar a seis tratamientos combinados (BC0, BC1, BC3 para Canchan y BH0, BH1, BH3 para Huayro), como se resume en la Tabla 1. Cada tratamiento se preparó en tres repeticiones independientes para cada ensayo, a fin de evaluar la variabilidad experimental; es decir, se produjeron tres muestras de BP por cada combinación de variedad y concentración de montmorillonita. Este diseño permitió evaluar tanto los efectos principales de cada factor como la interacción entre ellos sobre las respuestas experimentales. Las variables independientes fueron la variedad de papa y la concentración de montmorillonita, mientras que las variables dependientes correspondieron a las propiedades físico-mecánicas (como elasticidad y rigidez) y de biodegradación de los bioplásticos desarrollados.

2.3. Metodología experimental

2.3.1. Procedimiento para la obtención de montmorillonita

Para la obtención de montmorillonita se utilizó el método de (Arenas et al., 2007) con ligeras modificaciones. Se secaron 100 g de bentonita previamente deshidratada, los cuales fueron dispersados en 1400 mL de agua destilada y agitados vigorosamente durante 10 minutos. Posteriormente, la suspensión fue dejada en reposo durante 72 horas, extrayéndose el sobrenadante hasta una profundidad de 25 cm para obtener la fracción rica en partículas finas. Esta solución fue secada en estufa a 100 °C durante 24 horas (Modelo FD 115 Estándar, Binder), molida y tamizada en malla N° 200. La calidad del producto obtenido se evaluó a través de su

comportamiento de hinchamiento y dispersión en agua, confirmando características adecuadas para su uso como refuerzo mineral en la elaboración de BP.

2.3.2. Obtención del almidón de la cáscara de papa

Para aislar el almidón presente en las cáscaras de papas peruanas de las variedades Huayro y Canchan se utilizó el método de (Moreno Bustillos et al., 2017) con ligeras modificaciones. Se realizó un proceso de separación por decantación. Este procedimiento abarco la recolección de las cáscaras de papa y su tratamiento a través de diversas fases que incluyen limpieza, trituración, filtración y separación. Mediante esta técnica, se logró obtener almidón puro que posteriormente se empleó en la creación de BP. La figura 2 muestra el procedimiento del proceso de obtención del almidón de cáscara de papa.

- **Recolección y transporte:** Se recolectaron 15 kg de cáscaras frescas de papa provenientes de restaurantes ubicados en la ciudad de Juliaca, obtenidas durante la preparación de alimentos a base de papa Canchan y Huayro. Posteriormente, los residuos fueron trasladados en condiciones limpias al laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Universidad Peruana Unión – Sede Juliaca.
- **Selección y limpieza:** En el laboratorio, las cáscaras en buen estado fueron seleccionadas cuidadosamente, descartando aquellas con daños visibles o signos de descomposición. Luego, se lavaron con abundante agua potable en varias inmersiones sucesivas hasta eliminar completamente la suciedad, y se enjuagaron con agua destilada para remover impurezas solubles y reducir la carga microbiana.

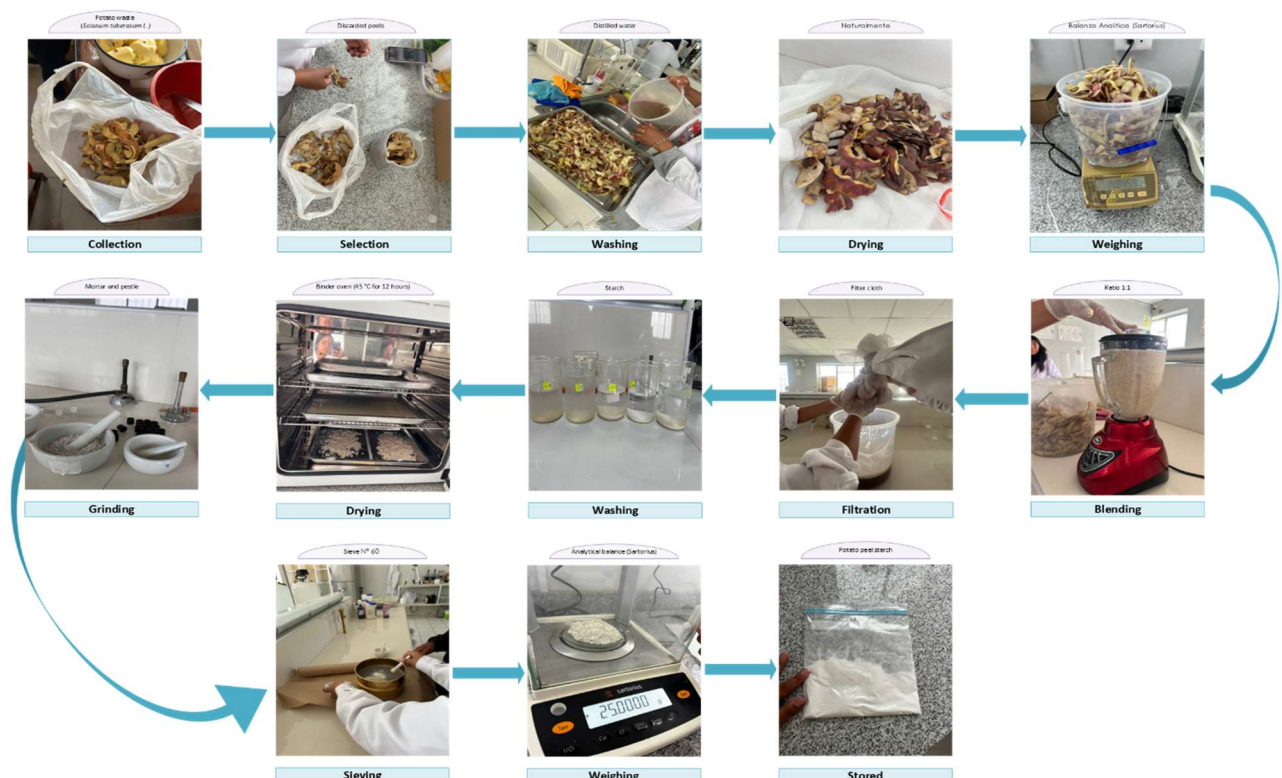
- Secado inicial y pesado: Las cáscaras limpias fueron colocadas sobre bandejas de acero inoxidable y secadas a temperatura ambiente durante 2 horas para eliminar el exceso de humedad superficial. Luego, se pesaron en balanza analítica para registrar el peso inicial del material a procesar.
- Trituración: Las cáscaras se licuaron con agua destilada en una proporción 1:1 utilizando una licuadora industrial. Esta mezcla homogénea permitió la liberación eficiente del almidón.
- Filtración: La mezcla se filtró utilizando una tela de nailon con tamaño de poro de 100 μm , apoyada sobre coladores plásticos y baldes de 5 y 10 litros. Esta etapa separó los sólidos gruesos del líquido con almidón suspendido.
- Decantación y lavado del sedimento: El líquido filtrado se vertió en vasos de precipitados de 1000 ml y se dejó reposar durante 1 hora, permitiendo que el almidón se sedimentara en el fondo. Se decantó cuidadosamente el sobrenadante y se repitió el proceso de lavado y decantación en cuatro ciclos sucesivos, añadiendo agua destilada nueva en cada ciclo hasta que el sobrenadante fue completamente claro, indicando pureza del almidón.
- Secado del almidón: El sedimento (almidón húmedo) fue extendido en bandejas de aluminio y colocado en una estufa (Binder FD 115) a 45 °C durante 12 horas, asegurando un secado gradual y controlado que no alterara su estructura granular.
- Molienda y tamizado: El almidón seco fue triturado manualmente en un mortero de porcelana y tamizado utilizando malla N° 200,

con el fin de obtener una granulometría uniforme y adecuada para los ensayos de producción de bioplásticos.

- Verificación de almidón: Se aplicó la prueba de yodo para confirmar la presencia de almidón. Se disolvió una pequeña cantidad en agua destilada y se le añadió solución de Lugol. La aparición de color azul oscuro confirmó la presencia del polisacárido.
- Pesado y almacenamiento: Finalmente, el almidón seco y tamizado se pesó en balanza analítica (Sartorius ENTRIS124-1SUS) y se almacenó en frascos de vidrio ámbar con tapa hermética, conservados en un ambiente seco y fresco para evitar la absorción de humedad.

Figura 2

Flujograma del proceso de obtención del almidón de cáscara de papa.



Con el objetivo de garantizar la homogeneidad de la materia prima y al mismo tiempo fortalecer el enfoque aplicado del estudio, las cáscaras de papa utilizadas se recolectaron durante la misma semana de febrero de 2025, en dos establecimientos gastronómicos de la ciudad de Juliaca. Las cáscaras de papa Huayro fueron obtenidas de un restaurante especializado en platos a base de trucha, el cual emplea exclusivamente esta variedad debido a su textura harinosa y su sabor característico. Por otro lado, las cáscaras de papa Canchan se recolectaron en una residencia con comedor propio que ofrece menús diarios para un público amplio, utilizando esta variedad como base en la mayoría de sus preparaciones. La recolección en estos espacios no solo permitió acceder a cantidades suficientes de cáscaras frescas, sino que también respondió a la intención inicial del estudio: proponer una alternativa sostenible para valorizar residuos agroindustriales generados en restaurantes y comedores locales, contribuyendo así a la economía circular y a la reducción del desperdicio alimentario.

2.3.3. Obtención de bioplásticos

El proceso para la obtención de BP se obtuvo realizando el método de (Cabrejos et al., 2024) con ligeras modificaciones. Se optó por utilizar 12 g de almidón y agregar montmorillonita sódica (1-3 g) para mejorar las propiedades. Además, el proceso experimental para la elaboración del BP comienza con la mezcla de vinagre blanco (10 ml), glicerina (10 ml) y agua destilada (100 ml), ajustando las cantidades según los parámetros establecidos. Esta mezcla se colocó en un agitador magnético (Velp Scientifica F20530162) a 150°C, comenzando con una velocidad de 500 rpm durante 6 minutos, luego se incrementó a 800 rpm por 2 minutos y finalmente se elevó a 1400 rpm hasta obtener una consistencia homogénea. Después de la agitación, la solución se distribuyó sobre una superficie de teflón de 16x16 cm utilizando una regla

y una varilla de vidrio para lograr un espesor uniforme. Las láminas formadas se rotularon y se colocaron en la estufa (Modelo FD 115 Estándar, 9010-0306, Binder) a 40°C durante 20 h. Finalmente, las láminas secas se retirarán cuidadosamente de la superficie de teflón para evitar roturas. Este proceso varía según la cantidad de montmorillonita sódica, lo que influye en las propiedades finales del BP.

Tabla 1
Diseño experimental de bioplásticos con almidón y montmorillonita sódica

Experimento		Montmorillonita sódica	Almidón de cáscara de papa	Volumen de vinagre blanco	Volumen de glicerina	Agua destilada
Bioplástico	Variedad	(g)	(g)	(ml)	(ml)	(ml)
BC0	Canchan	0	12	10	10	100
BC1	Canchan	1	12	10	10	100
BC3	Canchan	3	12	10	10	100
BH0	Huayro	0	12	10	10	100
BH1	Huayro	1	12	10	10	100
BH3	Huayro	3	12	10	10	100

Nota: La codificación de las muestras se basa en la variedad de almidón de papa y la concentración de montmorillonita sódica utilizada. Las siglas BC corresponden a BP elaborados con almidón de papa Canchan, mientras que BH indica BP con almidón de papa Huayro. El número que sigue a estas siglas (0, 1 y 3) representa los diferentes tratamientos según la cantidad de montmorillonita sódica añadida: 0, 1 y 3 g.

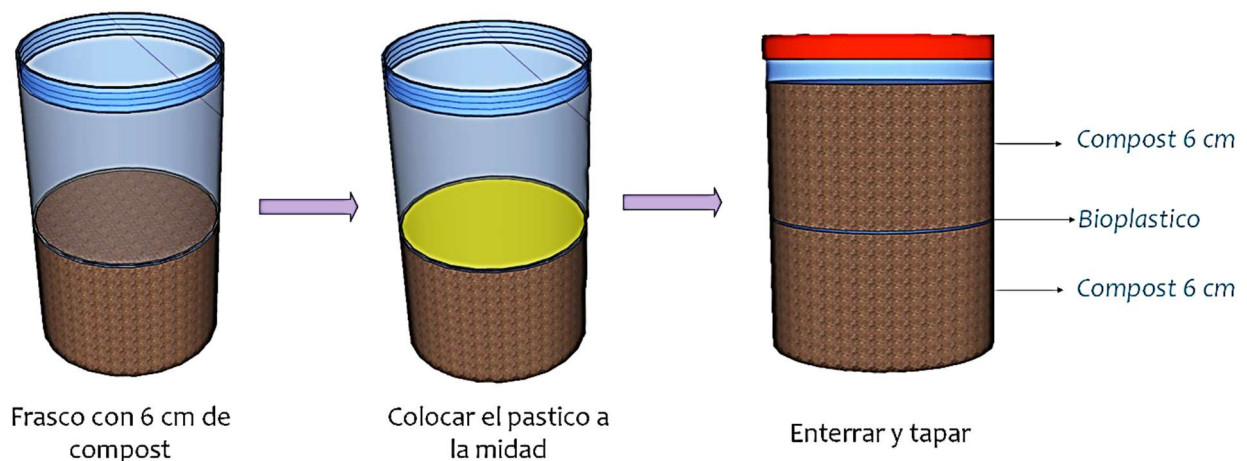
2.3.4. Determinación de la biodegradabilidad

El porcentaje de degradación del BP se obtuvo mediante el método de (Meza R. et al., 2019) con ligeras modificaciones. El experimento de biodegradación se llevó a cabo utilizando suelo natural recolectado en el campus de la Universidad Peruana Unión – Sede Juliaca (altitud: 3836 m s.n.m.; S 15°31.02243'). El estudio se desarrolló durante el mes de febrero de 2025. Las muestras de bioplástico (BH0, BH1, BH3, BC0, BC1 y BC3) se cortaron en láminas de 1 g y se colocaron por triplicado en frascos para evaluar su biodegradabilidad mediante una prueba de compostaje aeróbico. Cada recipiente recibió una capa de 6 cm de suelo, sobre la cual se colocó la muestra, seguida de otra capa de suelo hasta alcanzar una altura total de 12 cm. El suelo utilizado presentó un pH de 6.9, determinado mediante potenciómetro digital

(Hanna HI98107). Los frascos fueron sellados herméticamente para mantener condiciones controladas y se realizó un monitoreo interdiario del peso de cada lámina durante un período de 21 días (del 17 de febrero al 7 de marzo de 2025), a fin de analizar la pérdida de masa como indicador de degradación. Paralelamente, se registraron diariamente los principales parámetros ambientales del entorno. La temperatura interna del sustrato se mantuvo entre 17 °C y 23 °C, medida con un termómetro digital de precisión (± 0.1 °C), mientras que la humedad del suelo se controló en un rango de 55% a 60%, ajustándola mediante riego con agua destilada y verificada semanalmente por el método gravimétrico.

Figura 3

Proceso del esquema para el ensayo de biodegradabilidad aeróbica de los bioplásticos.



Finalmente, la biodegradación será evaluada mediante el cálculo del

porcentaje de pérdida de peso de las láminas de BP, para lo cual se aplicará la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pérdida de peso} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100\% \quad (1)$$

Pi: peso inicial de la lámina seca de BP (g)

Pf: peso final de la lámina seca de BP después del ensayo (g)

2.3.5. Determinación de la solubilidad

La solubilidad en los BP es importante para evaluar su capacidad de resistir la disolución en condiciones ambientales (Cabrejos et al., 2024). Un alto porcentaje de solubilidad indica una mayor degradación del material en contacto con agua, lo que puede ser beneficioso para aplicaciones en empaques solubles o películas biodegradables (Ortega-Toro et al., 2014).

Las muestras de BP (BH0, BH1, BH3, BC0, BC1 y BC3) fueron cortadas en láminas de 1 g cada una por triplicado. Luego cada muestra se sometió a una prueba de test de jarra (SERIE JLT 6, VELP SCIENTIFICA - F105A0109) en vasos con capacidad de 1 L, agitados a una velocidad constante de 180 rpm durante un período de 90 min. Finalizado el proceso de agitación, se procedió a filtrar cada muestra mediante un embudo provisto con papel filtro colocado sobre un matraz individual, con el fin de separar el agua y recuperar únicamente el BP. Una vez concluido el proceso de filtrado, las muestras se trasladaron cuidadosamente a placas petri y se llevaron a secado en una estufa (Modelo FD 115 Estándar, 9010-0306, Binder) a temperatura constante de 45°C durante 24 h. Finalmente, después de este período de secado, las muestras fueron pesadas para determinar su masa final en una balanza analítica (Sartorius ENTRIS124-1SUS).

Para luego determinar el porcentaje de solubilidad (S) de las muestras, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solubilidad} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100\% \quad (2)$$

Pi: peso seco inicial de la muestra antes del ensayo (g)

Pf: peso seco final de la muestra después del secado (g)

2.3.6. Determinación de la humedad

Para la determinación del contenido de humedad del BP se obtendría realizando el método de (Behera et al., 2022) con ligeras modificaciones. Las

muestras de BP (BH0, BH1, BH3, BC0, BC1 y BC3) fueron cortadas en láminas de 1 g por triplicado y colocadas en placas petri. Posteriormente se sometieron a un proceso de secado en la estufa (Modelo FD 115 Estándar, 9010-0306, Binder) a 45°C durante 24 h para eliminar la humedad residual y evaluar la influencia de la montmorillonita en la retención de agua.

Para luego determinar el contenido de humedad (H) de un bioplástico, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = ((M_i - M_f) / M_i) \times 100\% \quad (3)$$

M_i: masa húmeda inicial de la muestra antes del secado (g)

M_f: masa final de la muestra después del secado (g)

2.3.7. Evaluación de Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de los bioplásticos (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y elongación) se evaluaron mediante ensayos de tracción realizados en una máquina universal ZWICK ROELL modelo Z050 con célula de carga de 500 N, en el Laboratorio de Materiales de la PUCP. Las láminas de bioplástico, de 13 × 13 cm, se cortaron en tiras de 100 mm de largo por 13 mm de ancho. El grosor de cada muestra se midió con micrómetro digital y se usó para el análisis mecánico.

A continuación, se detallan los valores de grosor obtenidos para cada repetición:

Tabla 2

Grosor de las láminas de bioplástico por muestra y repetición

Bioplástico	Variedad	Grosor (mm)		
		R1	R2	R3
BH1	Huayro	0.451	0.434	0.418
BH0	Huayro	0.362	0.374	0.382
BH3	Huayro	0.377	0.367	0.342
BC0	Canchan	0.023	0.021	0.022
BC1	Canchan	0.266	0.243	0.251
BC3	Canchan	0.097	0.103	0.145

Nota: Los datos del grosor de las láminas de bioplástico fueron proporcionados por el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

2.3.8. Determinación de grupos funcionales mediante espectroscopía FTIR

La caracterización estructural de los bioplásticos se realizó mediante espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), con el objetivo de identificar los principales grupos funcionales presentes en la matriz polimérica, así como las posibles interacciones entre el almidón de papa y la montmorillonita sódica empleada como refuerzo mineral. El análisis se llevó a cabo utilizando un espectrómetro con accesorio de reflexión total atenuada (ATR), operando en el rango espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} y un total de 32 escaneos por muestra, a fin de obtener una adecuada relación señal/ruido.

Las muestras fueron analizadas en estado sólido, colocando directamente pequeñas secciones planas de las láminas de bioplástico sobre el cristal del accesorio ATR. Antes de cada medición, la superficie fue limpiada cuidadosamente con etanol absoluto para evitar contaminaciones cruzadas.

El análisis permitió identificar bandas de absorción características de grupos funcionales como los hidroxilos (-OH), enlaces C-H, carbonilos (C=O), grupos éter (C-O-C) propios del almidón, y enlaces Si-O-Si correspondientes a la montmorillonita sódica, lo que evidencia la presencia de componentes tanto orgánicos como inorgánicos en la matriz polimérica.

Según (Mata-Miranda et al., 2017), la espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica utilizada para obtener la huella dactilar molecular de las muestras al analizar cómo estas absorben la radiación infrarroja, dependiendo de los enlaces químicos y estructurales de las moléculas. Esta técnica proporciona información sobre la estructura de biomoléculas, como proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos, a través de bandas de absorción características en el espectro infrarrojo medio.

2.3.9. Cinética de degradación

Describe el comportamiento típico de los BP en medios biodegradativos, donde inicialmente la tasa de degradación es lenta, luego se acelera progresivamente hasta alcanzar un punto máximo, y finalmente disminuye al acercarse al valor límite L . La forma sigmoideal refleja los cambios estructurales y químicos que experimentan los materiales a lo largo del tiempo, influenciados por factores como la formulación del BP, las condiciones ambientales y la actividad microbiana. Esta aproximación permite comparar cuantitativamente la eficacia degradativa entre distintos tratamientos y formular recomendaciones para aplicaciones sostenibles. El modelo logístico fue elegido por su capacidad para representar con precisión el patrón sigmoideal típico de la biodegradación, permitiendo estimar parámetros clave como la tasa de degradación (K), el punto de inflexión (t_0) y la degradación máxima (L), lo cual facilita comparaciones entre tratamientos.

Modelo matemático: modelo logístico de crecimiento sigmoideal

$$B(t) = \frac{L}{1 + e^{\{-k(t - t_0)\}}} \quad (4)$$

3. Resultados

3.1. Rendimiento del producto

Se evaluó el rendimiento de extracción de almidón a partir de 15 kg de cáscaras de papa de dos variedades locales: Canchan y Huayro. Los resultados obtenidos fueron de 895.18 g para la variedad Canchan, lo que representa un 5.97% de rendimiento, y de 939.24 g para la variedad Huayro, correspondiente a un 6.26%. Estos valores indican que ambas variedades poseen un contenido amiláceo similar, con una ligera ventaja en el rendimiento observado en la papa Huayro. La diferencia entre los porcentajes es leve (0.29%), lo cual sugiere que ambas variedades son

aptas para la obtención de almidón en condiciones similares. Además, los resultados permiten observar que, si bien se trata de residuos (cáscaras), estas aún contienen una proporción significativa de almidón aprovechable, lo que respalda su uso como materia prima alternativa para la producción de bioplásticos u otros derivados industriales. Este hallazgo contribuye a la valorización de residuos agroindustriales, alineándose con los principios de la economía circular.

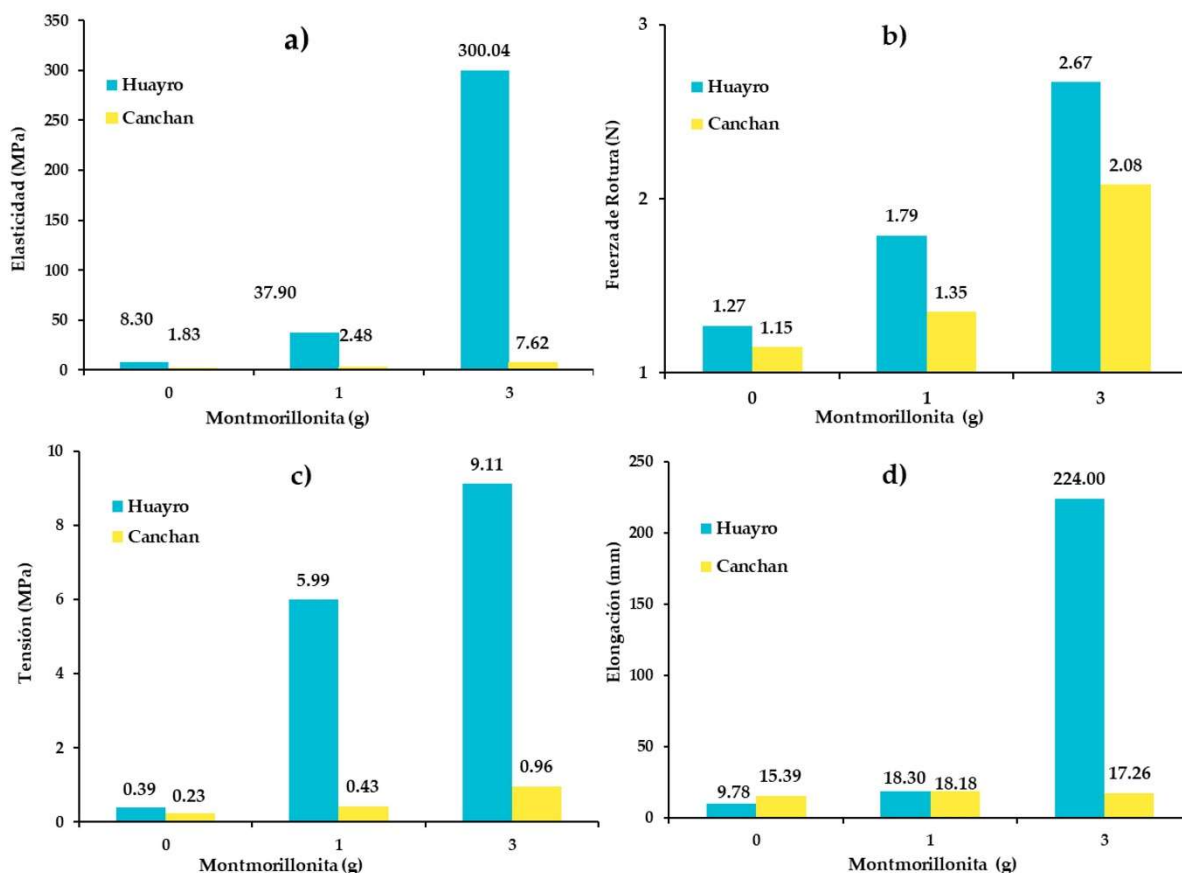
3.2. Justificación de las concentraciones de montmorillonita

La elección de las concentraciones de 0, 1 y 3 gramos de montmorillonita se fundamentaron en su impacto directo sobre las propiedades estructurales y funcionales de los bioplásticos. La concentración de 0 g sirvió como grupo control, permitiendo establecer una línea base sin refuerzo mineral. La inclusión de 1 g de montmorillonita (equivalente al 8% p/p respecto al almidón) mostró una mejora significativa en las propiedades mecánicas sin comprometer la flexibilidad del material, lo que concuerda con estudios previos que señalan esta proporción como óptima para obtener refuerzo efectivo sin formación de aglomerados. Por su parte, la adición de 3 g (25% p/p) proporcionó mayor rigidez estructural y resistencia a la tracción, haciéndola adecuada para aplicaciones donde se prioriza la estabilidad dimensional por encima de la elasticidad. Esta elección se complementa con evidencia bibliográfica que respalda el uso de concentraciones entre el 5% y el 30% para mejorar la resistencia mecánica y las propiedades de barrera al vapor de agua sin afectar la integridad del biopolímero (Enríquez et al., 2012). Asimismo, se realizó un ensayo preliminar de optimización factorial, cuyos resultados confirmaron que las concentraciones seleccionadas permiten un equilibrio funcional entre resistencia, elongación y biodegradabilidad, lo cual justifica su empleo como formulaciones óptimas para el presente estudio.

3.3. Evaluaciones mecánicas del bioplástico

La figura 4 presenta los resultados experimentales obtenidos del análisis mecánico de bioplásticos formulados a partir de almidón extraído de las variedades de papa Canchan y Huayro, con adición progresiva de Montmorillonita sódica (0, 1 y 3 g).

Figura 4
Análisis mecánico promedio de bioplásticos elaborados con almidón de papa Canchan y Huayro.



Los resultados obtenidos para las propiedades mecánicas Figura 4 muestran que la muestra BH3 (Huayro con 3 g de montmorillonita) presenta el mejor desempeño estructural entre todas las formulaciones evaluadas. En términos de elasticidad (a), alcanzó un módulo promedio de 300.04 MPa, significativamente superior al resto (ANOVA, $p < 0.05$), lo que evidencia una mayor rigidez del material gracias a la incorporación de montmorillonita, en concordancia con lo reportado por

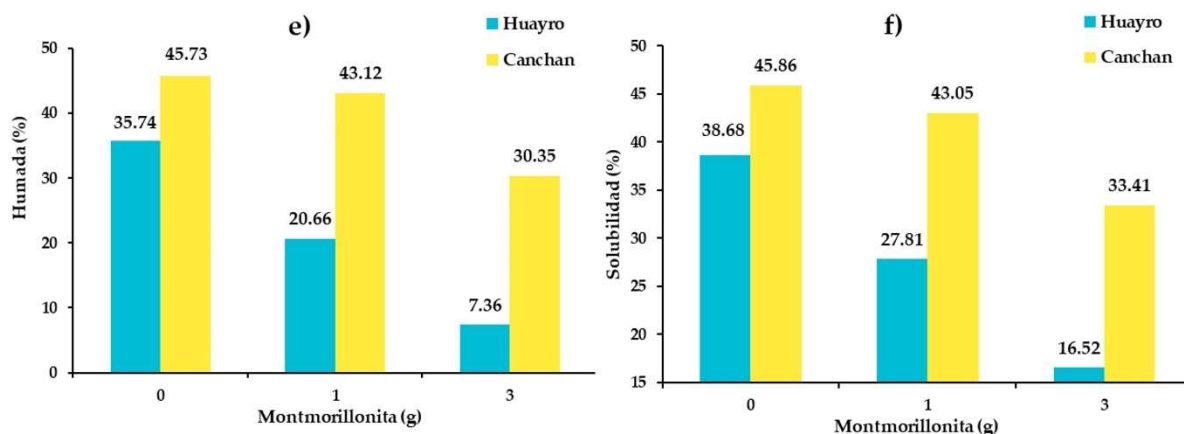
(Behera et al., 2022; Castañeta et al., 2020), quienes destacan el refuerzo que esta arcilla ofrece a matrices poliméricas basadas en almidón. Respecto a la resistencia a la rotura (b), BH3 también sobresalió con 2.67 N, respaldando su capacidad para soportar cargas antes de fracturarse, en línea con (Müller et al., 2011; Navarrete Tumbaco y Mezones Santana, 2023), quienes señalaron la mejora en la cohesión interna por efecto de refuerzos inorgánicos. En cuanto a la tensión máxima (c), BH3 alcanzó 9.11 MPa, y fue seguido por BH1 5.99 MPa, lo que indica que la montmorillonita permite una distribución más eficiente del esfuerzo mecánico, favoreciendo una respuesta estructural más robusta del BP como indica (Navarrete Tumbaco y Mezones Santana, 2023). Finalmente, en términos de elongación (d), BH3 mostró un valor notable de 224 mm, lo que implica una alta ductilidad además de su resistencia, lo que lo convierte en un material versátil capaz de soportar deformaciones extensas sin fracturarse. Este comportamiento conjunto confirma que tanto la variedad de almidón (Huayro) como la mayor concentración de montmorillonita optimizan significativamente las propiedades mecánicas, reforzando su potencial para aplicaciones biodegradables con altos requerimientos estructurales, como lo respaldan también estudios de (Islam et al., 2024; Martínez et al., 2015) quienes resaltan la relación entre estructura, biodegradabilidad y desempeño funcional en materiales sostenibles.

3.4. Análisis a las propiedades fisicoquímicas

La figura 5 muestra los resultados de humedad y solubilidad de los bioplásticos evaluados en tres repeticiones por muestra, junto con sus promedios.

Figura 5

Contenido de humedad y solubilidad de bioplásticos elaborados con almidón de papa Huayro y Canchan según concentración de montmorillonita sódica.



La Figura 5 muestra el comportamiento fisicoquímico de los BP en función del contenido de humedad (e) y la solubilidad en agua (f), evidenciando una influencia directa de la variedad de papa y la concentración de montmorillonita sódica. La muestra BH3 (Huayro con 3 g) presentó los valores más bajos tanto en humedad 7.36 % como en solubilidad 6.52 %, lo que sugiere una estructura polimérica más densa y compacta, menos propensa a retener o absorber agua. Este resultado se alinea con lo reportado por (Acosta et al., 2018; Kasmuri et al., 2018), quienes señalaron que la incorporación de montmorillonita refuerza la matriz del almidón al limitar la penetración de agua, disminuyendo la solubilidad. Por el contrario, las muestras sin refuerzo mineral, como BC0 y BH0, registraron los mayores porcentajes de humedad 45.73 % y 35.74 %, respectivamente y solubilidad 45.86 % y 38.68 %, evidenciando una mayor susceptibilidad a medios acuosos. Las diferencias observadas fueron estadísticamente significativas (ANOVA, $p < 0.05$), y se confirma que la formulación influye directamente en el comportamiento higroscópico del material. Además, estudios como los de (Martínez et al., 2015; Ruiz y Trejo, 2024) destacan que mantener bajos niveles de humedad es esencial para conservar la integridad estructural del BP, evitando deformaciones y degradación prematura. En

conjunto, estos hallazgos confirman que el uso de almidón de Huayro reforzado con montmorillonita optimiza la estabilidad fisicoquímica del BP, haciéndolo más adecuado para entornos donde la humedad comprometería su desempeño funcional.

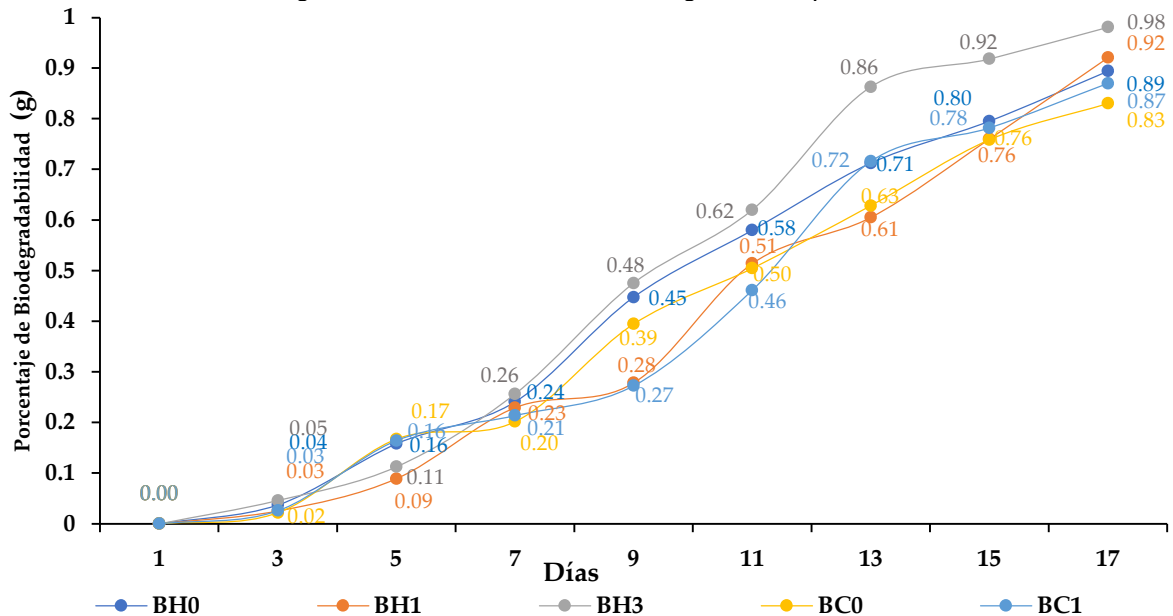
3.5. Determinación de la biodegradabilidad

La biodegradabilidad de los BP fue evaluada mediante el seguimiento de la pérdida de masa en un sistema de compostaje aeróbico durante 17 días (Figura 6), observándose una tendencia general de incremento progresivo en todos los tratamientos. La muestra BH3 (Huayro con 3 g de montmorillonita) destacó por alcanzar la mayor tasa de degradación con un 98 %, superando significativamente al resto de formulaciones (ANOVA, $p < 0.05$). Este comportamiento sugiere que la adición de montmorillonita no impide la descomposición del material, sino que, por el contrario, podría favorecer la acción microbiana al facilitar la penetración de agua y enzimas mediante una microestructura más porosa y accesible, como han señalado (Acosta et al., 2018; Martínez et al., 2015). Las formulaciones con almidón de Huayro (BH0, BH1, BH3) mostraron en general una mayor biodegradabilidad que las de Canchan (BC0, BC1, BC3), lo que confirma que la naturaleza del almidón influye en la velocidad de degradación. Esta diferencia puede estar relacionada con el mayor contenido de amilosa y la mayor capacidad de gelatinización del almidón de papa Huayro en comparación con el de Canchan, lo que facilita una estructura más suelta y degradable por acción microbiana. Estas características mejoran la accesibilidad enzimática y aceleran el proceso de descomposición durante el compostaje (Zhou et al., 2015) (Tharanathan, 2003). La curva de cinética de biodegradación (Figura 8) ajustada mediante el modelo logístico mostró un excelente grado de correlación ($R^2 > 0.98$ para BH3), evidenciando un proceso rápido y eficiente, con una fase de aceleración marcada seguida por una estabilización al alcanzar el

valor asintótico. Estos resultados demuestran que el bioplástico BH3 destaca por su resistencia y degradabilidad, siendo ideal para aplicaciones sostenibles de corta vida útil, como lo respaldan estudios previos de (Castañeta et al., 2020; Islam et al., 2024).

Figura 6

Promedio de biodegradabilidad de muestras a lo largo del tiempo.

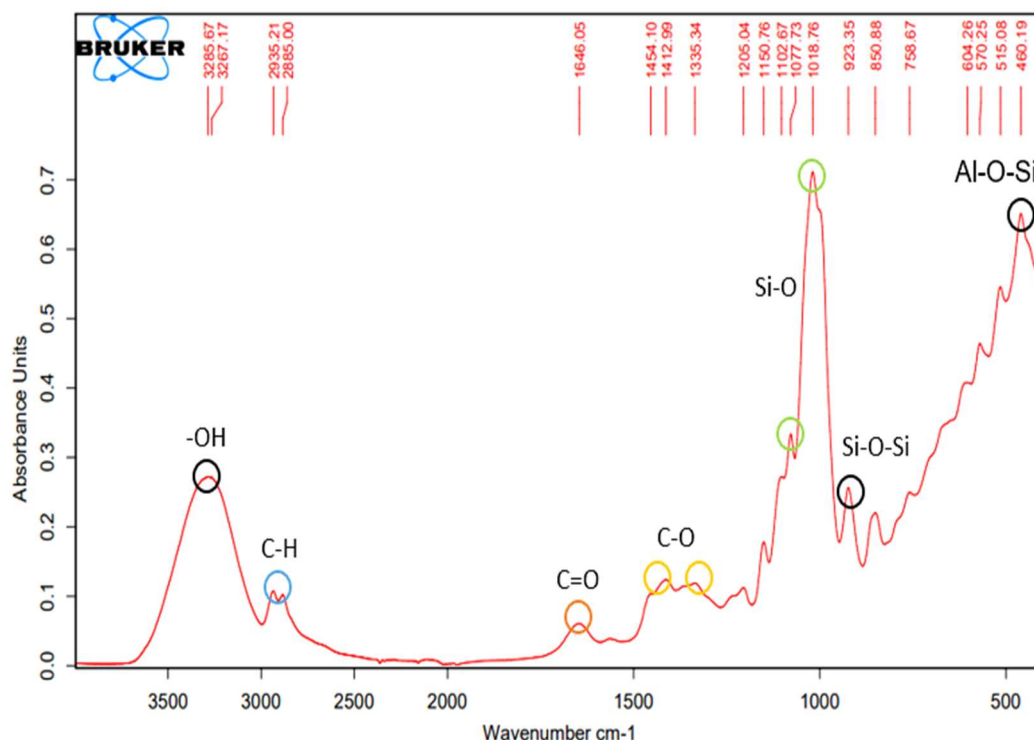


3.6. Caracterización Estructural por FTIR

La Figura 7 muestra el espectro FTIR obtenido, el cual proporciona información sobre las interacciones moleculares y posibles cambios estructurales inducidos por la incorporación del refuerzo mineral.

Figura 7

Espectro FTIR del bioplástico basado en residuos de papa reforzado con montmorillonita sódica.



Nota: Resultados del Laboratorio de Materiales del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú (2025).

Los principales picos observados en el espectro FTIR corresponden a:

- Región de 3285.67 cm^{-1} , 3267.17 cm^{-1} : Grupos Hidroxilo (-OH).

Se observa una banda ancha alrededor de 3300 cm^{-1} , lo que sugiere la presencia de grupos hidroxilo (-OH) provenientes de los polisacáridos de la papa o incluso de la montmorillonita.

- Región de los 2935.21 cm^{-1} , 2885.00 cm^{-1} : Enlaces C-H Alifáticos. Se observa la presencia de enlaces C-H típicos de compuestos orgánicos como polisacáridos y lípidos residuales.

- Región de los $1800\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$: Enlaces C=O y Vibraciones de Agua Asociada. Se observa una señal intensa en 1646.05 cm^{-1} , que puede estar relacionada con la vibración de estiramiento de grupos C=O (carbonilos) presentes en almidones o proteínas

residuales. También podrían representar la absorción de agua absorbida en la montmorillonita.

- Región de los $1500\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$: Enlaces C-O y Si-O (Montmorillonita). Las señales en 1454 cm^{-1} - 1335 cm^{-1} corresponden a vibraciones de enlaces C-O-C del almidón. Los picos en 1102 cm^{-1} y 1018 cm^{-1} son característicos de los enlaces Si-O de la montmorillonita, confirmando que el refuerzo mineral está presente en el bioplástico.
- Región de los $1000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$: Huella dactilar del material (Si-O-Si). Estas bandas se asocian a vibraciones de Si-O-Si, características de los silicatos presentes en la montmorillonita.

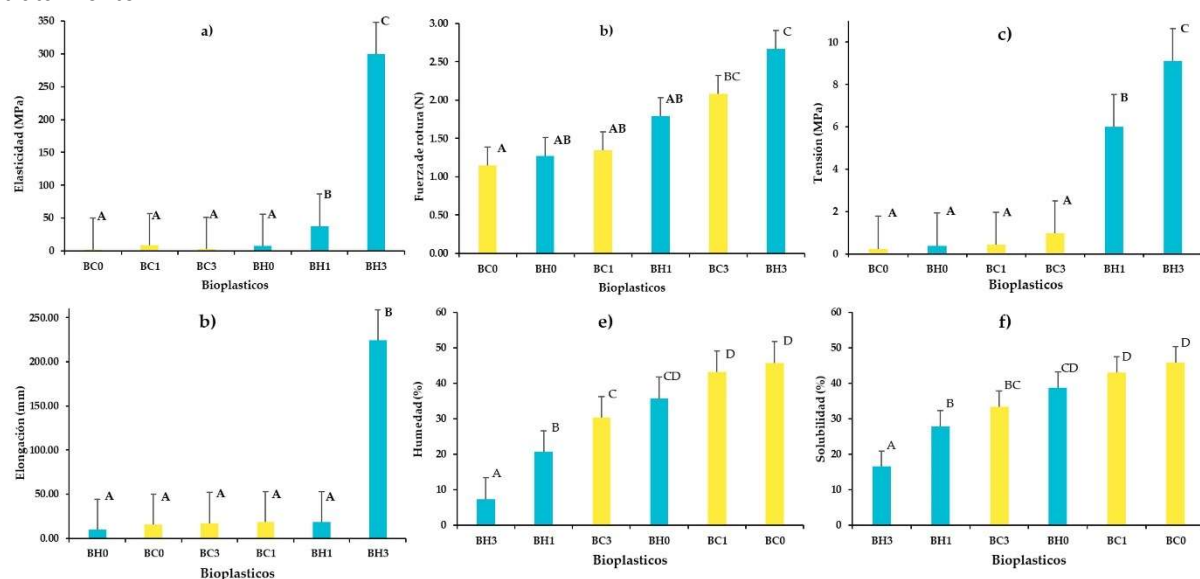
El análisis estructural mediante Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) permitió la identificación de los grupos funcionales presentes en el BP elaborado a partir de residuos de papa y reforzado con montmorillonita sódica (Figura 8). El espectro muestra una banda ancha en la región de $3285\text{--}3267\text{ cm}^{-1}$, atribuida a los grupos hidroxilo (-OH), indicativos de la presencia de polisacáridos provenientes del almidón y agua estructural. La región entre 2935 y 2885 cm^{-1} muestra señales asociadas con enlaces C-H alifáticos, típicos de compuestos orgánicos como lípidos o residuos de almidón. La banda intensa en 1646 cm^{-1} corresponde a la vibración de estiramiento de los grupos carbonilo (C=O), posiblemente vinculados a proteínas o productos de oxidación. En el rango de 1454 a 1335 cm^{-1} , se identificaron vibraciones asociadas a los enlaces C-O-C, que son característicos del almidón. Notablemente, los picos en 1102 y 1018 cm^{-1} son representativos de los enlaces Si-O, lo que confirma la incorporación efectiva de la montmorillonita en el sistema. Además, las bandas en el rango de 1000 a 400 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de Si-O-Si y

Al-O-Si, típicas de los silicatos presentes en la arcilla. La superposición de las señales sin cambios significativos demuestra la compatibilidad química y una estructura uniforme y estable. Estos resultados confirman la integración efectiva de la montmorillonita y su interacción con el biopolímero, lo cual contribuye a mejorar las propiedades mecánicas y estructurales del BP, en línea con lo reportado por (Anusha et al., 2024; Behera et al., 2022) en estudios similares.

3.7. Diseño estadístico

La figura 8 muestra el análisis estadístico de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, fuerza de rotura, tensión y elongación) y los promedios del contenido de humedad y solubilidad, permitiendo comparar tratamientos y evaluar la influencia de la formulación en el desempeño físico y la estabilidad de los bioplásticos

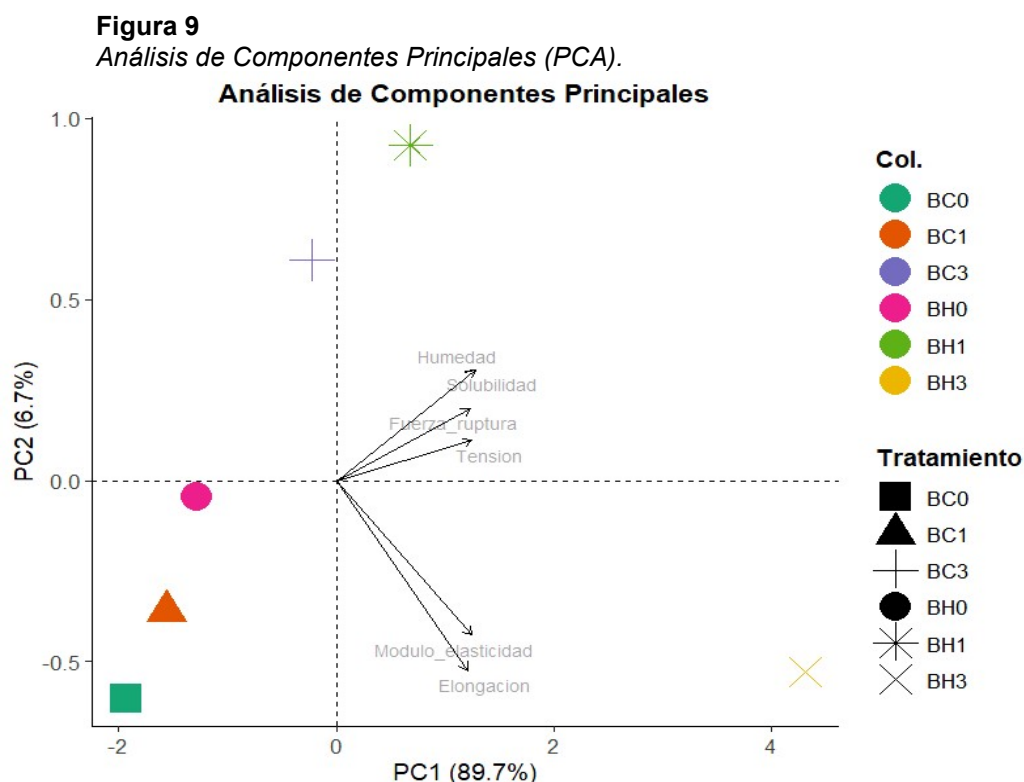
Figura 8
Análisis estadístico de propiedades mecánicas y fisicoquímicas de bioplásticos según tratamiento.



La Figura 8 presenta el análisis estadístico de las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, fuerza de rotura, tensión y elongación) y fisicoquímicas (contenido de humedad y solubilidad) de los bioplásticos, elaborado mediante pruebas de ANOVA y comparaciones post hoc (letras distintas indican diferencias significativas con $p < 0.05$). Los resultados permiten comparar los tratamientos y

evidencian que la formulación BH3 (Huayro + 3 g de montmorillonita) presentó diferencias estadísticamente significativas respecto a las demás en todas las propiedades evaluadas, con valores superiores en elasticidad, resistencia y elongación, así como menores en humedad y solubilidad. Estas diferencias confirman que tanto la variedad de papa como la concentración de montmorillonita influyen de manera significativa en el desempeño físico y la estabilidad estructural del bioplástico, validando experimentalmente la superioridad de BH3 como formulación óptima.

La figura 9 muestra el Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado a las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de bioplásticos sometidos a diferentes tratamientos.



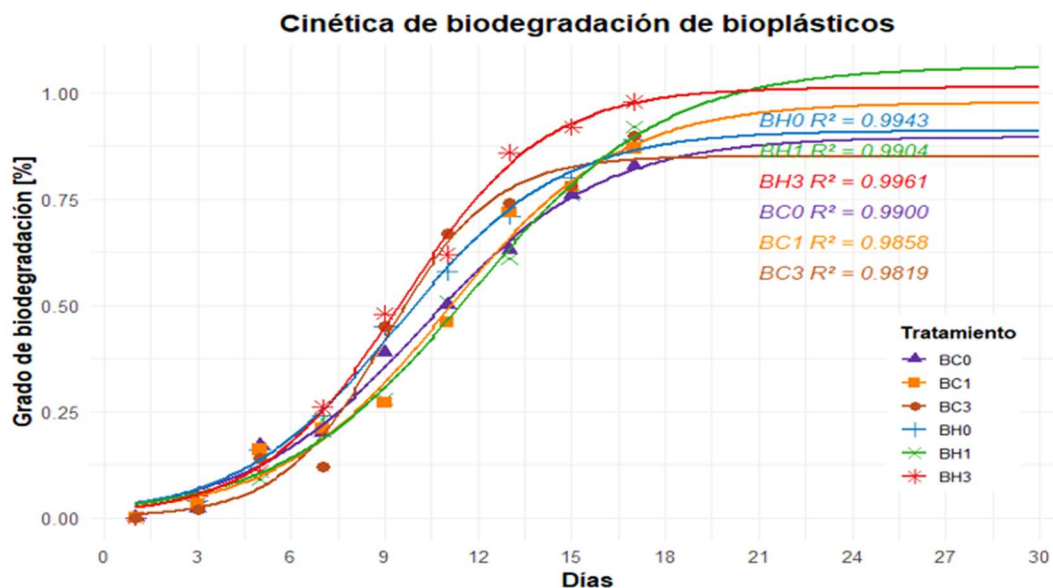
El análisis de componentes principales (PCA) permitió evaluar el desempeño global de las formulaciones de BP, explicando el 89.7 % y 6.7 % de la variabilidad en los dos primeros componentes, respectivamente. El tratamiento BH3 se destacó por su asociación con altos valores de módulo de elasticidad y elongación, indicando un

excelente rendimiento mecánico, mientras que BC0 y BH0 mostraron bajas propiedades estructurales, correlacionándose con mayor humedad y solubilidad. La disposición de las variables evidenció una relación inversa entre propiedades mecánicas y susceptibilidad al agua, coherente con lo reportado en la literatura científica (Behera et al., 2022). El PCA reveló patrones útiles para elegir formulaciones resistentes y estables en aplicaciones sostenibles.

La figura 10 representa la cinética de biodegradación de bioplásticos durante 30 días, mostrando un ajuste sigmoidal con altos valores de R^2 .

Figura 10

Cinética de biodegradación de bioplásticos con diferentes concentraciones de montmorillonita ajustada a un modelo logístico.



La figura 10 representa la cinética de biodegradación de seis formulaciones de bioplásticos (BH0, BH1, BH3, BC0, BC1 y BC3) ajustadas mediante un modelo logístico de tres parámetros. Las curvas simuladas (líneas) muestran un alto grado de concordancia con los datos experimentales (símbolos), con **coeficientes de determinación R^2 entre 0.9819 y 0.9961**, lo que evidencia un ajuste robusto del modelo a los datos observados. Los tratamientos BH3 y BH1 exhibieron las mayores tasas de degradación y menores valores de t_0 , alcanzando más rápidamente el valor

asintótico. En contraste, BC1 y BC3 presentaron una cinética más lenta, con degradación progresiva y menor pendiente inicial. Estos resultados permiten caracterizar la eficiencia degradativa de cada formulación, diferenciando claramente la influencia de las variables de formulación sobre el comportamiento cinético en condiciones controladas.

3.8. Influencia de la variedad de papa en el comportamiento del bioplástico

Los mejores resultados obtenidos con el almidón extraído de la papa Huayro pueden atribuirse a sus características físico-químicas particulares, como su mayor contenido de materia seca, mayor proporción de gránulos de almidón de tipo A y su textura más harinosa, lo que favorece una extracción más eficiente y una estructura más uniforme del biopolímero. A diferencia de variedades más cerosas o semitraslúcidas como la papa Canchan, la papa Huayro presenta gránulos de almidón más grandes y compactos, con mayor capacidad de gelatinización y entrecruzamiento, lo que contribuye a una mejor cohesión en la matriz polimérica. Estas propiedades mejoran significativamente el comportamiento mecánico (mayor módulo de elasticidad, resistencia y elongación), ya que permiten una distribución más homogénea de la tensión interna en el bioplástico. Además, su composición amilácea con mayor proporción de amilosa frente a amilopectina podría explicar su menor absorción de agua y menor solubilidad, al generar estructuras más cristalinas y menos susceptibles a la disolución en medios acuosos. En conjunto, estas propiedades intrínsecas del almidón de papa Huayro optimizan tanto la integridad estructural como la estabilidad higroscópica del bioplástico, reforzando su rendimiento frente a las condiciones de uso y degradación.

4. Conclusiones

La presente investigación evidenció que es técnicamente viable y ambientalmente sostenible producir bioplásticos a partir de cáscaras de papa peruana de las variedades Huayro y Canchan, reforzadas con montmorillonita sódica, destacando la formulación BH3 como la más eficiente al alcanzar valores superiores en módulo de elasticidad (300.04 MPa), resistencia a la rotura (2.67 N), tensión (9.11 MPa) y elongación (224 mm), así como menor contenido de humedad (7.36%) y solubilidad (16.52%), todo ello sin afectar su alta biodegradabilidad (98%) bajo compostaje aeróbico, y con una cinética bien ajustada al modelo logístico ($R^2 > 0.98$); estos resultados confirman que la montmorillonita mejora significativamente la estructura y funcionalidad del material, promoviendo además un aprovechamiento eficiente de residuos agroindustriales y minerales locales, lo que refuerza su aplicabilidad en contextos rurales altoandinos y su **alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 12, posicionando a BH3 como una alternativa realista y escalable frente a los plásticos convencionales**. A partir de sus propiedades mecánicas y biodegradables, el bioplástico desarrollado tiene el potencial de reemplazar parcialmente polímeros convencionales **como el polietileno (PE) o polipropileno (PP) en aplicaciones de embalaje de un solo uso**. Su escalamiento industrial es viable mediante el aseguramiento de materia prima y la optimización del proceso de producción. Además, aunque la composición del almidón puede variar entre campañas, estas fluctuaciones pueden controlarse mediante estrategias de estandarización para garantizar la estabilidad del producto final.

5. Referencias

- Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan, A., y Valenzuela, F. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura*, 1(1).
- Adjei, J. K., Ahormegah, V., Boateng, A. K., Megbenu, H. K., y Owusu, S. (2020). Fast, easy, cheap, robust and safe method of analysis of Sudan dyes in chilli pepper powder. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05243>
- Anusha, S., Yang, X., Kumar, R., y Gaikwad, K. K. (2024). *International Journal of Biological Macromolecules Recent advances in reinforced bioplastics for food packaging – A critical review*. 263(December 2023). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130399>
- Arenas, N., Castro, B., Marcy, Y., Rojas, M., y Freddy, J. (2007). *Preparación de nanocompuestos de polímero/silicato usando bentonitas colombianas modificadas*.
- Avellán, A., Díaz, D., Mendoza, A., Zambrano, M., Zamora, Y., y Riera, M. A. (2020). Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 7(1), 1-11. <https://doi.org/10.48204/j.colonciencias.v7n1a1>
- Behera, L., Mohanta, M., y Thirugnanam, A. (2022). Environmental Technology & Innovation Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environmental Technology & Innovation*, 25(206), 102180. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102180>
- Cabrejos, K., Maluquis, J., Díaz, A., y Minchán-Velayarce, H. (2024). Caracterización de las propiedades mecánicas del bioplástico de almidón de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y compuestos celulósicos de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Científica Pakamuros*, 12(2), 88-101. <https://doi.org/10.37787/rft0ar53>
- Candelaria, H. M., Tudela Mamani, J. W., y Huamaní Peralta, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(1), 106-115.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., y Manzano, , Carlos A. (2020). Microplastics:

- a Contaminant That Grows in All Environmental Areas, Its Characteristics and Possible Risks To Public Health From Exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175.
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>
- Chen, G. Q., y Patel, M. K. (2012). Plastics derived from biological sources: Present and future: A technical and environmental review. *Chemical Reviews*, 112(4), 2082-2099.
https://doi.org/10.1021/CR200162D/SUPPL_FILE/CR200162D_SI_001.PDF
- Enríquez, M., Reinaldo, V., y Vicente, O. (2012). *Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón*. 10(1), 182-192.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., y Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), 25-29. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Glenn, G. M., Orts, W., Imam, S., Chiou, B., y Wood, D. F. (2014). Chapter 15 - Starch Plastic Packaging and Agriculture Applications. *Starch Polymers*, 421-452.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53730-0.00032-4>
- Huanaco, R., y Gamboa, N. R. (2023). Microplásticos en sedimentos fluviales en la cuenca baja del río Rímac, Perú. *Espacio y Desarrollo*, 57(40), 36-57.
<https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.2023.002>
- Islam, M., Xayachak, T., Haque, N., Lau, D., Bhuiyan, M., y Pramanik, B. K. (2024). Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life. *Process Safety and Environmental Protection*, 188(April), 151-166.
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.113>
- Kasmuri, N., Safwan, M., y Zait, A. (2018). *Enhancement of Bio-plastic using Eggshells and Chitosan on Potato Starch Enhancement of Bio-plastic using Eggshells and Chitosan on Potato Starch Based*. December. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.32.18408>
- Kasmuri, N., y Zait, M. S. A. (2018). Enhancement of bio-plastic using eggshells and

- chitosan on potato starch based. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(3), 110-115. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.32.18408>
- Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., y Song, M. (2023). Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. *Environment and Health*, 1(4), 249-257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Martínez, P., Málaga, A., Betalleluz, I., Ibarz, A., y Velezmoro, C. (2015). Functional characterization on native starch of Peruvian native potatoes (*Solanum phureja*). *Scientia agropecuaria*, 291-301. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>
- Mata-Miranda, M. M., Guerrero-Robles, C. I., Rojas-López, M., Delgado-Macuil, R. J., González-Díaz, C. A., Sánchez-Monroy, V., Pérez-Ishiwara, D. G., y Vázquez-Zapién, G. J. (2017). Principal components by FTIR spectroscopy as innovative characterization technique during differentiation of pluripotent stem cells to pancreatic cells. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 38(1), 225-234. <https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.17>
- Mena Pástor, P. G., Vaca Ulloa, K. E., y Mena Pastor, J. A. (2025). *Bioplásticos y su impacto ambiental: producción a partir de fuentes renovables y comparación con plásticos convencionales*.
- Meza R., P., Quipuzco U., L., y Meza C., V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad - Proyecto de laboratorio. *Rev. del instituto de investigación*, 22(4), 67-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16691>
- Moreno Bustillos, A. I., Humarán Sarmiento, V., Báez Valdez, E. P., Báez Hernández, G. E., y León Villanueva, A. (2017). Transformación del almidón de papa, mucílago de nopal y sábila en bioplásticos como productos de valor agregado amigables con el ambiente. *Ra Ximhai*, 365-382. <https://doi.org/10.35197/rx.13.03.2017.21.am>
- Müller, C. M. O., Borges, J., y Yamashita, F. (2011). *Effect of nanoclay incorporation method on mechanical and water vapor barrier properties of starch-based films*. 33, 605-610. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.021>

Naciones Unidas. (2015). *Objetivo 12: Producción y consumo responsables*.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Najar Marín, E. (2024). Manejo De Residuos Sólidos En Zonas Urbanas En América Latina.

Visión de Futuro, 28, No 2 (Julio – Diciembre), 78-97.

<https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2024.28.02.003.es>

Navarrete Tumbaco, C. J., y Mezones Santana, J. A. (2023). Obtención y caracterización de

bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate. *researchgate.net*,

18(1), 29-38.

Oporto, V., Escóbar, I., Luján, M., y D'Abzac, P. (2021). Evaluación de la contaminación del

aire por microplásticos suspendidos en la zona de La Maica (Cochabamba, Bolivia)

Evaluation of air pollution by suspended microplastics in the La Maica area

(Cochabamba, Bolivia). *Acta Nova*, 10(2), 190-221.

Ortega-Toro, R., Jiménez, A., Talens, P., y Chiralt, A. (2014). Films De Almidón

Termoplástico. Influencia De La Incorporación De Hidroxipropil-Metil-Celulosa Y Ácido

Cítrico. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 134-141.

Pawase, P. A., Rout, S., Tripathy, S., Pathare, A. M., Srivastav, P. P., Bashir, O., y Panghal,

A. (2025). Recent advances in cellulose, chitosan, and protein-based edible films for

sustainable food packaging: A comprehensive review. *International Journal of*

Biological Macromolecules, 321, 146172.

<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2025.146172>

Pilapitiya, T. P. N., y Ratnayake, S. A. (2024). The world of plastic waste: A review. *Cleaner*

Materials, 11(January), 100220. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>

Quintana, J. V., Casas, D., Ramos, M. R., y Rodríguez, A. (2025). *Perspectivas de la salud*

colectiva sobre el impacto de los microplásticos en la interconexión sociedad -

naturaleza. 114-142. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14996261>

Ruiz, E. D., y Trejo, M. C. (2024). *Análisis de propiedades físicas de plásticos desarrollados*

a partir de materiales biodegradables Resumen. 1-9.

Sathiyaseelan, A., Saravanakumar, K., Zhang, X., Naveen, K. V., y Wang, M. H. (2023).

Ampicillin-resistant bacterial pathogens targeted chitosan nano-drug delivery system (CS-AMP-P-ZnO) for combinational antibacterial treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 237, 124129.

<https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2023.124129>

Singh, J., McCarthy, O. J., Singh, H., Moughan, P. J., y Kaur, L. (2007). Morphological, thermal and rheological characterization of starch isolated from New Zealand Kamo Kamo (*Cucurbita pepo*) fruit – A novel source. *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 233-244. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2006.05.021>

Suet, T., Amelia, M., Mohd, W., Wan, A., Khalik, M., Ong, M. C., y Shao, Y. T. (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8(1), 1-26.

Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)

Zhou, H. Y., Jiang, L. J., Cao, P. P., Li, J. B., y Chen, X. G. (2015). Glycerophosphate-based chitosan thermosensitive hydrogels and their biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, 117, 524-536. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.09.094>

6. Anexos

6.1. Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio

×

<

>

[Sostenibilidad] ID del manuscrito: sustainability-3735817 - Envío recibido

EO

susy@mdpi.com en nombre de Editorial Office<sustainability@mdpi.com>

Para: Juan Eduardo Vigo Rivera

CC: ruth.olivera; Yeny Rosabel Melo Chui

Mar 17/06/2025 20:29

Traducido de Inglés

Mostrar mensaje original

Activar la traducción automática

Estimado profesor Vigo-Rivera,

Muchas gracias por subir el siguiente manuscrito al MDPI sistema de envío. Uno de nuestros editores se pondrá en contacto con usted pronto.

Nombre de la revista: Sostenibilidad
ID del manuscrito: sustainability-3735817
Tipo de manuscrito: Artículo
Título: Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana Reforzado con montmorillonita de sodio en condiciones altoandinas
Autores: Ruth Xiomara Nataly Olivera-Mamani, Yeny Rosabel Melo-Chui, Juan Eduardo Vigo-Rivera *
Recibido: 18 Jun 2025
Correos electrónicos: ruth.olivera@upeu.edu.pe, yeny.melo@upeu.edu.pe, eduardo.vigo@upeu.edu.pe
Bioeconomía de la sostenibilidad
https://www.mdpi.com/journal/sustainability/sections/bioeconomy_sustainability

6.2. Copia de la resolución de inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente.



“AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO”

RESOLUCIÓN N° 0867-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 19 de noviembre de 2024

VISTO:

El expediente de **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani**, identificado(a) con Código Universitario N° 201710596 y **Yeny Rosabel Melo Chui** identificado(a) con Código Universitario N° 202012624, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato artículo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del título profesional;

Que **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani** y **Yeny Rosabel Melo Chui**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Producción sostenible de bioplásticos utilizando residuos de papa peruana" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 19 de noviembre de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato artículo titulado "**Producción sostenible de bioplásticos utilizando residuos de papa peruana**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato artículo el cual fue dictaminado por: **Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena** y **MSc. Miguel Angel Salcedo Enriquez**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Erika Inés Acuña Salinas

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Ph.D. Silvia Pilco Quesada

Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

6.3. Copia de la resolución de aprobación de cambio de título.



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0237-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña 27 de mayo de 2025

VISTO:

El expediente de **Yeny Rosabel Melo Chui**, identificado(a) con código universitario N° 202012624 y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani** identificado(a) con código universitario N° 202012665 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del proyecto de tesis;

Que **Yeny Rosabel Melo Chui** y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani**, han solicitado la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Producción sostenible de bioplásticos utilizando residuos de papa peruana";

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 27 de mayo de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar la modificación de la denominación del proyecto de tesis titulado "Producción sostenible de bioplásticos utilizando residuos de papa peruana", por el de: "Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzados con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas", en el registro respectivo y disponer que con la orientación de su asesor el(la) **Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera**, sea desarrollado y ejecutado el proyecto de tesis por **Yeny Rosabel Melo Chui** y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución, a partir de la inscripción inicial.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Erika Inés Acuña Salinas

Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA



Ph.D. Silvia Pilco Quesada

Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

CC:

- Interesado
- Asesor
- DGI
- Archivo

6.4. Copia de la resolución de aprobación de sustentación



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0357-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 08 de julio de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Yeny Rosabel Melo Chui** identificado(a) con código universitario N° 202012624 y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani** identificado(a) con código universitario N° 202012665, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado "Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzados con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas", presentado por los (las) bachilleres **Yeny Rosabel Melo Chui** y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 08 de julio de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Yeny Rosabel Melo Chui** y **Ruth Xiomara Nataly Olivera Mamani**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada "Producción sostenible de bioplásticos utilizando cáscaras de papa peruana reforzados con montmorillonita sódica en condiciones altoandinas", conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental, el 24 de julio a las 11:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Ing. Enrique Mamani Cuela
 Secretario: MSc. Loayda Abigail Condori Turpo
 Asesor: Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
 Vocal 1: Dr. Mateo Alejandro Salinas Mena
 Vocal 2: MSc. Miguel Angel Salcedo Enriquez

Regístrese, comuníquese y archívese.



Dra. Erika Inés Acuña Salinas
 DECANA

cc:
 -Interesado
 -Jurado (04)
 -Secretaría General
 -Archivo



Lic. Gina Marita Tito Tolentino
 SECRETARIA ACADÉMICA

Villa Unión - Ñaña, altura Km 19 de la Carretera Central, Lurigancho - Chosica, Lima 15 - Perú
 Teléfono: (01) 6186300 Web: www.upeu.edu.pe

6.5. Panel fotográfico



Lavado de la materia primaria



Filtrado del Almidón



Desmoldar el BP



Biodegradación



Recojo de suelo



Lavado del almidón