



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE
PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) MEDIANTE MÉTODOS
SECO Y HÚMEDO PARA SU USO EN PLÁSTICOS
BIODEGRADABLES”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autor:

Nancy Sirilei Herrada Chira

Asesor:

Mg. Ing. Walter Manuel Hoyos Alayo

<https://orcid.org/0000-0002-8683-1635>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ronald Hugo Rosales Meza
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Wilmer Ugarte López
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Walter Manuel Hoyos Alayo
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 of 104 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3145376004

18% 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 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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.

DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado fortaleza y
consuelo para poder culminar
satisfactoriamente el proceso de mi titulación

A mis padres y hermano, por haberme
forjado como la persona que soy
actualmente, brindarme su amor y apoyo
incondicional.

Al amor de mi vida Duval por su apoyo, paciencia,
ser mi soporte y motivación.

AGRADECIMIENTO

A Dios por todo lo que me ha brindado y brinda
cada día, por ser mi confort y paz.

Mi más sincero agradecimiento al Mg. Ing.
Walter Manuel Hoyos Alayo, por su guía y
asesoramiento en este proyecto de Tesis.

A la plana docente de la Universidad Privada del
Norte que gracias a sus enseñanzas hicieron
posible mi formación profesional.

Finalmente, a mi familia y al amor de mi vida por
su inmenso apoyo, confianza y motivación para
culminar esta linda etapa.

1.5. Formulación del problema	37
1.6. Objetivos.....	37
1.6.1. Objetivo General	37
1.6.2. Objetivos Específicos	37
1.7. Hipótesis	38
1.7.1. Hipótesis General	38
1.7.2. Hipótesis Específicas.....	38
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	39
2.1. Enfoque y diseño de la investigación	39
2.2. Nivel de la investigación.....	39
2.3. Alcance de la investigación	40
2.4. Población	40
2.5. Muestra.....	40
2.6. Unidad de Análisis.....	40
2.7. Insumos, aditivos y reactivos.....	41
2.8. Materiales de laboratorio	41
2.9. Equipos.....	41
2.10. Procesamiento de recolección de datos.....	41
2.10.1.1. Técnicas de investigación bibliográfica	41
2.10.1.2. Técnicas de campo	42
2.10.1.3. Técnicas de recolección de datos	42
2.11. Procesamiento de tratamiento y análisis de datos.....	43
2.11.1. Análisis estadístico de datos	43
2.11.2. Diseño Factorial.....	43
2.11.3. Factores de estudio y niveles	43
2.12. Aspectos éticos	45
2.13. Variables de estudio	45
2.13.1. Variables independientes.....	45
2.13.2. Variables dependientes	45
2.14. Extracción de almidón	46
2.14.1. Métodos de extracción de almidón.....	46
2.14.1.1. Método Húmedo.....	46
2.14.1.2. Método Seco.....	48
2.14.2. Parámetros para extracción del almidón.....	49
2.14.2.1. Humedad	49

2.14.2.2. Rendimiento de almidón	50
2.14.2.3. Cenizas	50
2.15. Obtención del bioplástico.....	51
2.15.1. Parámetros para elaboración del bioplástico	52
2.15.1.1. Humedad de bioplástico	52
2.15.1.2. Espesor del bioplástico.....	53
2.15.1.3. Densidad del bioplástico	53
2.15.1.4. Degradación	54
CAPÍTULO III: RESULTADOS	55
3.1. Descripción de la composición fisicoquímica de la cáscara de plátano (<i>Musa paradisiaca</i>), de la variedad bellaco y seda.	55
3.2. Evaluación de las diferencias en el rendimiento y calidad del almidón extraído mediante los métodos húmedo y en seco a partir de las variedad bellaco y seda.....	56
3.2.1. Rendimiento del almidón	56
3.2.1.1. Comparación de las medias del rendimiento de almidón con el análisis de varianza.....	57
3.2.1.2. Comparación de las medias del rendimiento de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.....	57
3.2.1.3. Comparación de las medias del rendimiento de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.....	58
3.2.2. Humedad del almidón.....	59
3.2.2.1. Comparación de las medias de la humedad de almidón con el análisis de varianza.....	60
3.2.2.2. Comparación de las medias de la humedad de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.....	60
3.2.2.3. Comparación de las medias de la humedad de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.....	61
3.2.3. Cenizas del almidón.....	62
3.2.3.1. Comparación de las medias de cenizas de almidón con el análisis de varianza. 62	62
3.2.3.2. Comparación de las medias de cenizas de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.....	63
3.2.3.3. Comparación de las medias de cenizas de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.....	63
3.3. Caracterización fisicoquímica de los bioplásticos obtenidos.	64
3.3.1. Humedad del bioplástico	64
3.3.2. Espesor del bioplástico	65

3.3.3. Densidad del bioplástico.....	66
3.3.4. Degradación del bioplástico	67
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
4.1. Discusiones	69
4.2. Conclusiones.....	77
ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los residuos sólidos municipales en la Costa.....	30
Tabla 2. Composición de los residuos sólidos municipales en la Sierra	31
Tabla 3. Composición de los residuos sólidos municipales en la Selva.....	31
Tabla 4. Matriz de Diseño Factorial	44
Tabla 5. Unidades experimentales.....	44
Tabla 6. Composición química del plátano	55
Tabla 7. Porcentaje de rendimiento del almidón	56
Tabla 8. ANOVA: Variación del rendimiento del almidón extraído de las muestras ...	57
Tabla 9. Prueba Tukey del rendimiento a partir de la variedad de plátano	57
Tabla 10. Prueba Tukey del rendimiento a partir del método de obtención.....	58
Tabla 11. Porcentaje de humedad del almidón.....	59
Tabla 12. ANOVA: Variación de la humedad del almidón extraído de las muestras ...	60
Tabla 13. Prueba Tukey de la humedad a partir de la variedad de plátano	60
Tabla 14. Prueba Tukey del rendimiento a partir del método de obtención.....	61
Tabla 15. Porcentaje de cenizas del almidón.....	62
Tabla 16. ANOVA: Variación de cenizas del almidón extraído de las muestras.....	62
Tabla 17. Prueba Tukey de cenizas a partir de la variedad de plátano.....	63
Tabla 18. Prueba Tukey de cenizas a partir del método de obtención	63
Tabla 19. Porcentaje de humedad del bioplástico	64
Tabla 20. Espesor del bioplástico	65
Tabla 21. Densidad del bioplástico.....	66
Tabla 22. Degradación del bioplástico	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los bioplásticos según su origen y biodegradabilidad	26
Figura 2. Diagrama de flujo del método húmedo.....	47
Figura 3. Diagrama de flujo del método seco.....	49
Figura 4. Diagrama de flujo de elaboración del bioplástico.....	52
Figura 5. Porcentaje degradación del bioplástico.....	67

RESUMEN

La contaminación global por plásticos derivados del petróleo plantea un grave desafío ambiental, incentivando el desarrollo de bioplásticos sostenibles. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo comparar los métodos seco y húmedo para extraer almidón de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*), de las variedades bellaco y seda, y evaluar las propiedades fisicoquímicas de los bioplásticos producidos. Este estudio siguió un diseño factorial 2x2 con análisis de varianza para evaluar los rendimientos y propiedades. Entre los resultados más relevantes: (1) El método húmedo con la variedad bellaco obtuvo el mayor rendimiento de almidón (3.94%), superior al método seco y variedad seda (2.21%), sin embargo, este último tratamiento mostró la mejor calidad de almidón en términos de ceniza y humedad; (2) los bioplásticos elaborados con almidón extraído por método seco de la variedad seda presentaron la mayor densidad (1.12 g/cm³); (3) en términos de biodegradación, el método seco con la variedad seda alcanzó un 45.26% en 10 días, destacando frente a otros tratamientos. En conclusión, el método seco y la variedad seda mejoran significativamente las propiedades mecánicas del bioplástico y su biodegradabilidad, mientras que el método húmedo favorece un mayor rendimiento en la obtención de almidón; además, las diferencias entre las variedades bellaco y seda destacan su potencial para aplicaciones industriales específicas en la fabricación de materiales biodegradable.

PALABRAS CLAVES

Bioplásticos, plátano, *Musa paradisiaca*, método húmedo y seco, variedad seda y bellaco.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Desde sus inicios, la modernización de los procesos se ha enfocado en fabricar productos que satisfagan las necesidades humanas sin importar los costos ambientales resultantes (Riera & Palma, 2018). Siendo la contaminación provocada por los residuos plásticos uno de los principales problemas medioambientales de nuestro tiempo. El uso excesivo del plástico en diferentes campos se debe a que este ofrece muchas ventajas, tales como ligereza, bajo costo y versatilidad (González, 2020). Por lo tanto, ha causado una gran preocupación ya que, los plásticos son producidos a partir de derivados del petróleo, originando enormes problemas de contaminación ambiental permaneciendo como contaminantes durante largos períodos, además de agotar el recurso y ocasionar más efectos ambientales por su extracción (Pluas et al., 2020).

Según la ONU, la humanidad produce más de 430 millones de toneladas de plástico al año, de las cuales dos tercios son productos de vida corta que rápidamente se convierten en desechos y terminan inundando los océanos, a menudo invadiendo la cadena alimentaria humana (ONU, 2023). Entre 4,8 y 12,7 millones de toneladas de plástico llegan cada año a los océanos (Jambeck et al., 2015), y si esta tendencia continúa, se estima que para 2050, según la Fundación Ellen MacArthur, los océanos podrían contener más plásticos que peces, además, una de cada tres capturas de pescados para consumo humano contiene plástico (Ellen Macarthur Foundation, 2016).

Sumado a ser responsables de una contaminación ambiental crítica, los plásticos también contribuyen significativamente a la crisis climática. En 2019, se generaron 1.800 millones de toneladas métricas de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que

representa el 3,4% del total mundial (Parlamento Europeo, 2018). Por consiguiente, se ha venido innovando para producir productos más amigables con la naturaleza como los bioplásticos, que se elaboran de polímeros obtenidos a partir de materias primas renovables (ONU, 2018), estos han recibido atención e interés tanto en el sector científico como industrial en los últimos años por su interesante conjunto de ventajas como el bajo impacto ambiental, el bajo consumo energético para su producción, los recursos renovables, el estado de la industria, y su biodegradabilidad particular (Pluas et al., 2020).

Samaniego (2019), explica que un negocio de plásticos sustentable sería aquel cuya materia prima sea renovable y que busque que el consumo de estos productos se convierta en hábito, ya que disminuiría el uso de plásticos para usos desechables. Los bioplásticos son una apuesta a la sostenibilidad, ya que las emisiones masivas de CO₂ de la producción de plástico convencional se reducen entre 0,8 y 3,2 toneladas a medida que aumenta la producción de bioplásticos (Castillo et al., 2015). Además, si se realizan en un entorno controlado o predecible, son compatibles con los flujos de reciclaje existentes y algunos proporcionan la biodegradación como un escenario EOL (Rosenboom et al., 2022). Se han elaborado bioplásticos a partir de diferentes productos naturales de carácter agrícola como la papa, yuca, arroz, plátano, etc. Este último considerado como una de las frutas con mayores propiedades proteicas en el sector alimenticio, donde el ser humano lo ha usado como tal e inclusive su cáscara es usada con fines orgánicos como lo es el abono.

Sin embargo, la cáscara del mismo contiene una sustancia que es vital para elaborar bioplásticos llamado “almidón”. El almidón es una sustancia que se obtiene exclusivamente de los vegetales que lo sintetizan a partir de dióxido de carbono que

toman de la atmósfera y del agua que reciben a partir del dióxido de carbono que toman de la atmósfera y del agua que reciben del suelo. Durante la fotosíntesis, las plantas absorben la luz del sol, la transforman en energía química. La energía del dióxido de carbono y el agua son convertidos en azúcares que se almacenan en forma glucosa, generándose uniones entre estas moléculas para formar las largas cadenas del almidón, que pueden llegar a tener hasta 2 000 o 3 000 uniones de glucosa (Becerra et al., 2014).

Además, es considerado como un atractivo, debido al enorme potencial para las diversas aplicaciones en el sector alimentario e industrial, ya que es hidrocoloide, es decir, tiene la capacidad de atrapar agua, lo que da lugar a formación de geles, o de espesar productos líquidos o licuados (Castells, 2009). Por lo descrito anteriormente, se ha planteada como objetivo obtener bioplásticos biodegradables a partir de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*) de la variedad bellaco mediante métodos en seco y húmedo.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

Ruíz (2022), obtuvo un bioplástico a partir de la extracción de almidón de los residuos de papa cairo; en donde logró una extracción del almidón a escala de laboratorio teniendo en cuenta los siguientes pasos; lavado, corte, molienda, filtración -con un tamiz de 300 μm y posteriormente con un tamiz de 600 μm -, sedimentación y secado que se realizó en un horno a 40 °C por 24 horas., los cuales se llevaron a cabo cambiando las proporciones volumétricas de ácido acético: 3 mL, 5 mL y 10 mL, debido a que diversas investigaciones han demostrado que reduce la fragilidad de las moléculas de almidón y genera una mejor estructura de polímero resultante, utilizó las siguientes proporciones; concluyendo que las evaluaciones mecánicas como lo fueron la dureza SHORE y la

resistencia a la tensión no dieron resultados tan favorables como lo dio los resultados de biodegradación; esto se debe al contenido de almidón presente en la muestra; además, para mayor dureza y resistencia a la tensión se debe agregar mayor % de almidón a la muestra, que a su vez, dependerá del uso comercial que se dará en la industria.

Solórzano et al. (2023), obtuvieron bioplástico biodegradable a partir de almidón de la tusa de maíz; para lo cual realizaron tres etapas para su obtención: (1) inicialmente caracterizaron el residuo, (2) extrajeron el almidón para su caracterización, (3) formularon el bioplástico y, (4) el bioplástico con mejor apariencia física y resistencia al tacto lo evaluaron en términos de humedad, densidad, solubilidad, espesor, propiedades mecánicas y biodegradabilidad; obteniendo como resultados que el bioplástico con las características mencionadas mostró una humedad de 16,69 %, densidad de 0,93 g/mL, solubilidad en agua de 57,79 %, espesor de 0,63 mm y, biodegradabilidad de 31,92 %; concluyendo que el material obtenido, de ser mejorado, puede emplearse en la fabricación de productos ligeros o bien, como recubrimiento de materiales que requieran ser solubilizados rápidamente.

Calero & Lapo (2021), diseñaron una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (*musa paradisiaca*) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos; para ello analizaron 8 unidades experimentales tanto para el almidón como para el bioplástico, utilizando como materia prima principal las cáscaras de plátano variedades barraganete y dominico; dando como resultados que ambas variedades de plátano obtuvieron mejores resultados utilizando el método seco, para la caracterización del almidón barraganete y dominico obtuvieron un rendimiento de 14.15% - 11.81%, una humedad de 85.85% -

88.2%, y cenizas de 50.15% - 45.5% respectivamente, respecto al análisis su bioplástico obtuvieron una humedad de 57.17% - 42.97%, espesor de 0.21mm – 0.19mm, densidad de 1.07 g/cm³ – 1.39 g/cm³ y, biodegradación de 33% - 50 % respectivamente; concluyendo que las cáscaras de plátano son una fuente viable para la producción de bioplásticos biodegradables, con aplicaciones en la elaboración de envases de alimentos, la línea de producción tiene una capacidad para fabricar 787 vasos diarios, lo que está ajustado para cubrir el 10% de la demanda potencial, en relación con las capacidades de las maquinarias.

Ledesma et al. (2021), realizó bioplásticos de almidón de maíz quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables; para lo cual realizó la extracción del almidón mediante vía húmeda y seca, con la correspondiente caracterización físico química en base a la norma INEN 1456; obteniendo así una materia prima de calidad, donde las formulaciones para la síntesis de los bioplásticos se realizaron en base al diseño factorial 2k y su correspondiente análisis estadístico y, sus pruebas mecánicas se efectuaron de acuerdo con la norma INEN 2635 consiguiendo que los ensayos de tracción cumplan con los requisitos de calidad de láminas plásticas delgadas, además en el ensayo de biodegradabilidad, arrojó como resultado que la degradación en medio acuoso es más eficiente que en medio aerobio o anaerobio, ya que en sólo 20 días las biopelículas se degradaron en un 50 %, cumpliendo así con lo establecido por la norma EN 13432; concluyendo que los bioplásticos obtenidos pueden ser utilizados como envolturas alimenticias biodegradables.

Rojas (2021), realizó un análisis preliminar en procesos de almidón termoplástico para la generación de bioplástico a partir de tres semillas aguacate, mango y tamarindo,

en donde caracterizaron 3 variedades de la semilla de aguacate en donde se elige la especie Lorena, ya que esta especie contiene 67.6% de almidón en su contenido por semilla; 4 variedades de la semilla de mango, en donde se seleccionaron las especies Ataulfo y Haden, debido a que estas dos variedades tuvieron como resultado 79.8% de almidón en su contenido por semilla y finalmente caracterizaron una variedad de la semilla de tamarindo, la cual contiene 31.1% de almidón por semilla; concluyendo que la generación de bioplásticos a partir de procesos de almidón termoplásticos con base biológica, tienen un menor impacto ambiental que la generación de un plástico convencional, debido a que esté incorporar nuevas materias primas que hoy en día se consideran residuos y a su vez genera alternativas de reincorporación al sistema disminuyendo al mínimo los impactos ambientales por producto.

Ortiz (2019), realizó la evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*mangifera indica*) con aplicación potencial en envases; para lo cual, llevaron a cabo seis pruebas físicas y químicas para caracterizar las formulaciones obtenidas; así mismo, la evaluación de los procesos involucrados en el proceso de obtención del bioplástico se llevó a cabo mediante la metodología Green Star; teniendo como resultado un porcentaje de rendimiento de obtención de los bioplásticos de 21,40% para el bioplástico de almidón, y 21,82% en el caso de los bioplásticos almidón y celulosa; además, la caracterización, de los espectros infrarrojos corroboró la presencia de los grupos funcionales presentes en las muestras de celulosa, glicerol, y almidón; así también, el contenido de amilosa y amilopectina fue del 14,09% y del 85, 91%; mientras que, los valores promedio del espesor y de la densidad, estuvieron en un rango de 0,04mm y 0,16 mm y 1,09 g/mL y 1,00 g/ml respectivamente; por último, concluyó que el nivel de

cumplimiento de diez principios de la química verde para el proceso de extracción del almidón fue del 87%, mientras que para el de obtención del bioplástico fue de 88%.

Holguin (2019), obtuvo un bioplástico a partir de almidón de papa, para lo cual utilizó la técnica de matriz reforzada para obtener bioplástico, este proceso tiene dos bloques claves, modificación del almidón con ácido acético, comprobada por espectroscopia de infrarrojo y técnica cuantitativa, y la producción del bioplástico con reactivos para mejorar sus propiedades. Así mismo, utilizó una técnica cuantitativa para determinar el grado de sustitución del almidón, logrando un intervalo medio-alto que confirma su aptitud para materiales plásticos; con el almidón modificado fabricó un bioplástico utilizando el método de factores ponderados, en donde las pruebas mecánicas mostraron un 4.1% de elongación, 4.1 MPa de resistencia a la tensión y una dureza de 71.2; concluyendo su uso potencial en envases, tapas y filtros de cigarrillo, proyectándose el procesamiento de un kilogramo de almidón en condiciones de laboratorio, y dimensiones de los equipos para una planta piloto, evaluando los costos e inversiones con el indicador financiero VPN y, proyectando su funcionamiento durante 10 años.

Kothekar et al. (2018), realizó un breve estudio sobre bioplásticos a base de almidón producidos a partir de alimentos básicos; en donde elaboraron bioplásticos de: (1) almidón de maíz, (2) cáscara de plátano, (3) fécula de maíz y almidón de papa, y (4) almidón de papa; los resultados mostraron que, en la prueba de solubilidad, el bioplástico de papa se solubiliza más rápido, seguido por el plástico de maíz; para la prueba de tracción todos los bioplásticos se rompían con facilidad; y respecto a su biodegradabilidad el bioplástico de almidón de maíz se degrada más rápido, seguido del plástico del plátano, luego el bioplástico de maíz y papa, y luego el plástico de papa;

concluyendo que el plástico de almidón de maíz demostró óptimos resultados al ser soluble en agua, transparente y degradarse más rápido.

Cárdenas (2018), elaboró un biopolímero a partir de almidón de cáscaras de banano (*musa x paradisiaca*); en donde el almidón se extrajo mediante dos metodologías diferentes, el método húmedo brindó un rendimiento de 22.30% y el método seco 42.33%, donde se puede evidenciar que el método en seco proporciona aun mayor rendimiento, debido a que a muestra al contener una mayor cantidad de agua existe mayor retención de almidón dentro de la muestra, además este método es favorable para la dosificación, ya que el % de humedad debe encontrarse en un rango de 7 y 7.5%; la muestra que resulto optima fue la de almidón combinado con almidón modificado de color semitransparente e inolora.

García (2015), obtuvo un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz, para lo cual realizó tres etapas para su obtención: (1) elaboración de formulaciones prototipo para obtener el biopolímero en forma de película y bandeja, (2) pruebas fisicoquímicas a los prototipos elaborados y, (3) verificación de biodegradabilidad del bioplástico obtenido; obteniendo como resultados que si el secado es rápido y a altas temperaturas se produce un material quebradizo, frágil; por otro lado si esta operación se realiza de forma gradual se obtiene una película elástica y sin cortes, así también, en cuanto a la relación almidón/glicerina, identificó que al aumentar las proporciones de esta última en la formulación se obtenía un producto más elástico; finalmente, concluyó que la velocidad de secado y cantidades de almidón y glicerina son factores muy importantes, ya que afectan la elasticidad y estabilidad de la película a través del tiempo, además, que bajo las condiciones de temperatura del 27.1°C y humedad relativa entre el 82% se pudo

comprobar de forma cualitativa que el plástico se degrada en tres meses según los registros de la prueba de biodegradabilidad, por otro lado, en cuanto a las pruebas mecánicas, el bioplástico es un material débil a la resistencia tensil y, por ese motivo no es apto para aplicaciones que requieran una alta resistencia a la compresión. Sin embargo, puede usarse como material de empaque si este no se expone a altas temperaturas.

Meaño et al. (2014), evaluó las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame Congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos; para lo cual recolectaron bulbilos en la población de Santa Ana del estado Anzoátegui, Venezuela, y extrajeron el almidón con el fin de determinar su rendimiento, pureza, composición química, contenido de amilosa, claridad del gel, potencial de hinchamiento y solubilidad; obteniendo como resultado que el rendimiento del almidón fue de 7,44%, con una pureza de 99,29%, humedad de 11,29%, proteínas del 0,29%, grasa del 0,21%, cenizas del 0,21% y un contenido de fósforo del 0,0047%, además el contenido promedio de amilosa y amilopectina fue 30,63 y 69,37%, respectivamente, en cuanto a sus propiedades funcionales, el almidón presentó un poder de hinchamiento con un máximo de 49,05 g gel/g de almidón a 95°C, formación de geles claros, con un porcentaje de tramitancia de 91% y con una solubilidad que incrementa a medida que asciende la temperatura.; concluyendo que el ñame congo representa una fuente de obtención de almidón con propiedades ventajosas, un alto contenido de amilosa y un gel claro con alto poder de hinchamiento.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Martel (2023), obtuvo bioplásticos a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) Y plátano (*Musa paradisiaca*) de residuos de pollerías y tacacherías de la

ciudad de Huánuco, para lo cual utilizó diferentes proporciones de almidón de cáscara de plátano y papa para la formulación del bioplástico, y sometió los resultados obtenidos a un modelo matemático correspondiente al Diseño Completamente al Azar (DCA) para determinar diferencias estadísticas entre los tratamientos, logrando realizar la extracción de almidón a partir de 10 kg de cáscara de plátano con un rendimiento de 6,54% y de 10 kg de cáscara de papa con un rendimiento de 4,02 % respectivamente; concluyendo que el mejor tratamiento para la elaboración de bioplásticos fue el T5 con 50 % de almidón de cáscara de plátano y 50 % almidón de cáscara de papa, el cual obtuvo de opacidad de $2,57 \pm 0,666$ nm/mm, espesor $0,288 \pm 0,07$ mm, densidad $1,709 \pm 0,551$ g/cm³, capacidad de absorción de agua $0,274 \pm 0,062$ g/g, color L* $29,74 \pm 9,71$ abc, a* $9,15 \pm 2,34$ c, b* $22,42 \pm 2,14$ c, ΔE $38,93 \pm 6,08$ ab y textura $1,33 \pm 0,27$ ab N/mm².

Quispe (2022), realizó estudio sobre el reaprovechamiento de las cáscaras de plátano *Musa paradisiaca* para la elaboración de bioplástico en el Collao -Ilave, 2021; en para el proceso de elaboración de bioplástico, utilizo 104 gr de almidón, 10 ml de glicerina, 10 ml de vinagre, 40 gr de maicena y 300 ml de agua destilada, , haciendo de estos una mezcla homogénea a 55° C y secado a temperatura ambiente; obteniendo como resultados que respecto a la densidades se obtuvo un promedio de densidad del plástico de cáscara de plátano 0.0035 g/cm³ y donde se comparó con la muestra testigo (botella descartable) donde se obtiene 0.001 g/cm³, en cuanto a su degradabilidad, las muestras sumergidas en agua se degradaron completamente en un periodo de 50 días, las muestras en suelo húmedo no se degradaron completamente, pero presentaron un mayor grado de degradación en comparación con las expuestas a temperatura ambiente; concluyendo que el bioplástico elaborado demuestra resultados óptimos para ser usado como un biopolímero alternativo.

Sanchez (2017), realizó una comparación de la calidad de bioplásticos obtenidos del almidón de los residuos de papa y camote de restaurantes del mercado central del distrito de independencia, en donde extrajo el almidón a partir de dos metodologías diferentes método humero y seco, resultando un rendimiento de 22.30 % y 42.33% respectivamente, con estos almidones extraídos elaboró biopolímeros utilizando como plastificantes agua destilada y glicerina, que brindan plasticidad y elasticidad al material y, como un modificador químico el ácido acético; obteniendo como resultado que la fuerza de tracción, y la fuerza de elongación de los bioplásticos obtenidos a partir de residuos de camote fueron de $0,148\pm 0,92$ (Mpa) y, $18,67\pm 6,17$ respectivamente, siendo estos valores no mayores que el polietileno de baja densidad cuyo valor de fuerza de tracción es de $6,98\pm 0,095$ (Mpa) y la fuerza de elongación es de $51,25\pm 0,95$ %; concluyendo existe una influencia en cuanto a la modificación del almidón para su reticulación, el alcance de la temperatura de fusión aumenta absorbiendo una mayor cantidad de energía (calor); es decir la concentración de almidón es directamente proporcional a la temperatura de fusión hasta un cierto límite.

Sernaqué et al. (2020), analizo la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mangifera indica y musa paradisiaca; para lo cual realizó dos etapas: (1) elaboración del bioplástico añadiendo maicena y, (2) ensayo de biodegradabilidad; obteniendo como resultado que el bioplástico elaborado con cáscara de mango tuvo una reducción del 93,06 % y el bioplástico elaborado con cáscara de plátano un 73,16 % en 4 semanas; concluyendo que la cantidad de glicerol utilizada tiene una relación directa con la biodegradabilidad de la lámina ya que, al aumentar la cantidad de glicerol, aumenta la biodegradabilidad de las láminas.

Quiñones (2017), elaboró un bioplástico a partir de la cáscara de camote como alternativa para aprovechar los residuos orgánicos, para lo cual utilizó el almidón obtenido a partir de la cáscara de camote y el agua destilada, los cuales fueron mezclados con otros aditivos como el ácido acético y la glicerina en distintas concentraciones, obteniendo como resultado que 5000g de cáscara de camote generan un rendimiento de 1096g de almidón y, tres muestras de bioplásticos de las cuales se evaluaron características como su elongación, soporte y biodegradabilidad; concluyendo que sus características dependen de las concentraciones de los aditivos usados en su elaboración.

Meza (2016), elaboró bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel laboratorio, para lo cual utilizó el método por decantación con algunas variantes, ya que se trabajó con un residuo, asimismo adicionó un antioxidante y realizó una variación de la temperatura con la finalidad de evaluar la mejor metodología para obtener una mayor cantidad de almidón, obteniendo una relación de amilosa/amilopectina de 26.21/73.79 y un 89.8% de similitud del espectro evaluado con respecto al espectro del almidón soluble, con el almidón extraído procedió con la elaboración del bioplásticos utilizando una metodología basada en la hidrólisis química del almidón para lograr polimerizarlo, adicionando plastificantes como el agua y el glicerol; donde las pruebas de tracción y elongación indicaron un esfuerzo máximo de 1.47 MPa y una elongación máxima de 19.99% y, la biodegradabilidad aeróbica del bioplástico presentó un alto nivel de degradación de 64.21% en 92 días; concluyendo que la metodología para elaborar el bioplástico más resistente está compuesto por 5 ml de glicerina, 3 ml de ácido acético, 10 g de almidón, 60 ml de agua destilada y se elabora a 150°C y, el comportamiento mecánico del

bioplástico se vio más afectado por la variación de ácido acético que por la variación de glicerol.

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Bioplásticos

Son polímeros de alto peso molecular producidos parcialmente o por completo de materiales provenientes de fuentes renovables; asimismo, los biopolímeros están conformados por oxígeno y nitrógeno, estas cualidades son las que los hace biodegradables, ya que deben formar parte del ciclo de renovación de la naturaleza (Ilele et al., 2024).

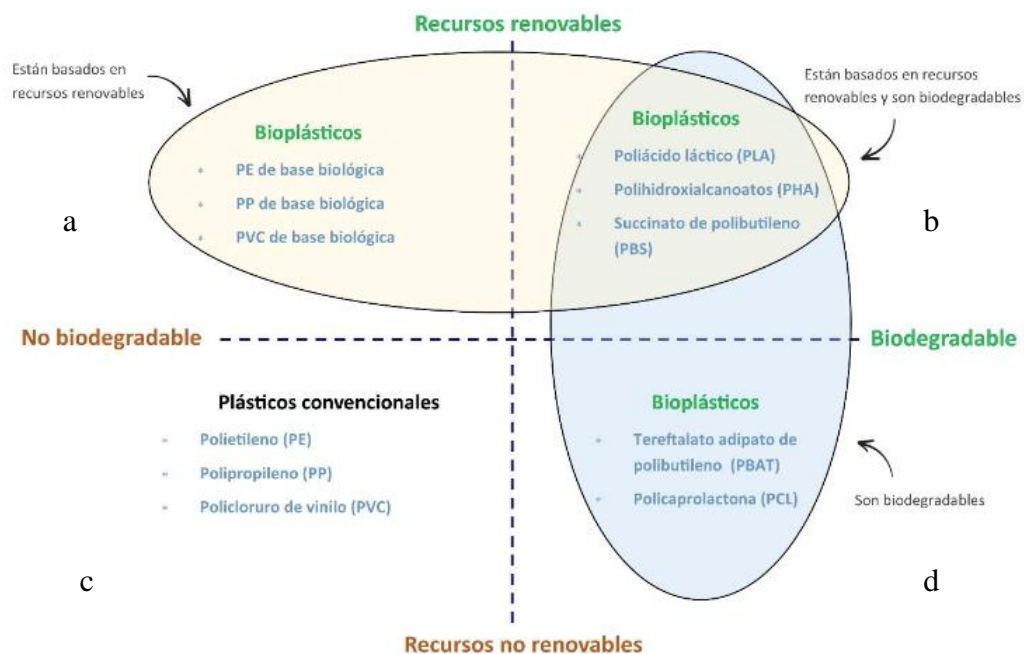
Su biodegradabilidad no depende del tipo de materia prima utilizada para su fabricación, sino que está vinculada a la estructura química del compuesto, además llevar la etiqueta de bioplástico no siempre implica ser biodegradable (Juthi et al., 2024). De hecho, no todos los plásticos procedentes de fuentes renovables son biodegradables, así como no todos los plásticos derivados de fuentes no renovables son persistentes. En este sentido, los bioplásticos son una familia de materiales poliméricos que tienen base biológica, son biodegradables o cumplen ambas características (Sáenz-Galindo et al., 2024).

Los bioplásticos se dividen en tres categorías: los que son de base biológica y biodegradables, los que son únicamente de base biológica y los que son únicamente biodegradables (**ver Figura 1**). Ácido poliláctico (PLA) (Garlotta, 2001; Madhavan Nampoothiri et al., 2010), poli(hidroxialcanoatos) (PHA) (Chanprateep, 2010) y poli(succinato de butileno) de origen biológico (bio-PBS) (Xu & Guo, 2010), así como los plásticos a base de almidón, celulosa, lignina y quitosano, son algunos ejemplos de

bioplásticos que son de origen biológico y biodegradables. Las poliamidas de origen biológico (bio-PP), el poli(etileno) (bio-PE) y el poli(tereftalato de etileno) (bio-PET) son ejemplos de bioplásticos que son de origen biológico pero no biodegradables (Siracusa & Blanco, 2020). Finalmente, la poli (caprolactona) (PCL) (Labet & Thielemans, 2009), alcohol polivinílico (PVA) (Aslam et al., 2018) y el poli(tereftalato de adipato de butileno) (PBAT) son ejemplos de bioplásticos biodegradables derivados de recursos fósiles (Ferreira et al., 2017). Además, los polímeros de origen biológico y químicamente similares a sus equivalentes de origen fósil, como el bio-PE, a veces se denominan polímeros de inserción directa (Coppola et al., 2021; Liu et al., 2023; Mehta et al., 2021).

Figura 1.

Clasificación de los bioplásticos según su origen y biodegradabilidad.



Nota.

- a. Bioplásticos no biodegradables, parcialmente o total de origen biológico como PE, PP o PET de base biológico (los denominados drop-ins) y polímeros técnicos de rendimiento de origen biológico, como PTT o TPC-ET.
- b. Bioplásticos de origen biológico y biodegradables, como PLA, PHA o PBS.
- c. Plásticos convencionales no biodegradables, como PE, PP o PVC.
- d. Bioplásticos que se basan en recursos fósiles y son biodegradables, como el PBAT.

1.3.1.1. Bioplásticos Biodegradables de Origen Biológico

Su biodegradación se da a través de la acción de microorganismos en un periodo de tiempo definido y bajo condiciones específicas, transformándose en productos de desecho naturales como agua, dióxido de carbono y biomasa (Rahman & Bhoi, 2021).

Los bioplásticos de esta categoría incluyen, por ejemplo, mezclas de almidón con una tasa de producción del 17,9% en 2022, así como poliésteres como el ácido poliláctico (PLA) (20,7%), los polihidroxicanoatos (PHA) (3,9%) y el succinato de polibutileno (PBS) (0,9%) (European Bioplastics, 2023). Los polímeros con grupos funcionales activos y flexibles en su estructura tienen una mayor tasa de degradación debido a su facilidad de unión a sitios enzimáticos. La longitud de la cadena del polímero, así como el espesor del material, la morfología cristalina, la microestructura y la composición final impactan el comportamiento y la tasa de degradación, por ejemplo, una estructura de cadena de polímero más corta se degrada más rápido que aquellas con cadenas de polímero más complejas (por ejemplo, PHA) (Uysal et al., 2024).

a. Características

Fabricados a partir de materias primas biológicas como almidón de maíz, caña de azúcar, o celulosa. Asimismo, su resistencia y durabilidad pueden variar ampliamente según el tipo de bioplástico. Algunos tienen propiedades similares a los plásticos tradicionales, mientras que otros pueden ser más frágiles o menos resistentes (Zhao, Xianhui et al., 2023).

Pueden descomponerse en 20 a 45 días si hay suficiente humedad, oxígeno y una cantidad adecuada de microorganismos, que se pueden encontrar en vertederos naturales o estiércol (National Solid Waste Management Department Ministry Of Housing And Local Government Malaysia, 2011) en comparación con los plásticos convencionales, su esperanza de vida es de unos cien a mil años (Ghimire et al., 2020; Wang et al., 2016)

1.3.1.2. Bioplásticos de origen biológico, pero no biodegradables

Los bioplásticos no biodegradables son plásticos producidos a partir de fuentes renovables, como plantas o cultivos, pero que no se descomponen de manera significativa en el medio ambiente. Estos bioplásticos, como el biopolietileno (Bio-PE) con una tasa de producción del 14,8% entre los bioplásticos, se conocen el biopolipropileno (Bio-PP) (3,9%), el biopolietileno tereftalato (Bio-PET) (4,2%), el biopolitrimetilen-tereftalato (Bio-PTT) (13,3%) y la biopoliamida (Bio-PA) (11,1%) (European Bioplastics, 2023), mantienen su integridad estructural durante largos periodos y no se descomponen mediante procesos biológicos típicos.

1.3.1.3. Bioplásticos de origen fósil biodegradables

No todos los plásticos biodegradables proceden de fuentes renovables de origen biológico. Existen polímeros de origen fósil que son biodegradables. Estos, al igual que los plásticos biodegradables de origen biológico identificados anteriormente, se

caracterizan por diversas opciones de fin de vida útil. Los más establecidos de estos biopolímeros son PBAT, policaprolactona (PCL), alcohol polivinílico (PVOH) y ácido poliglicólico (PGA). Las tasas de biodegradación de estos materiales varían sustancialmente (Uysal et al., 2024). Por ejemplo, según la norma ISO14855, aproximadamente el 90 % de la biodegradación en condiciones de compostaje controlado a 58°C se alcanzó para PCL a los 47 días (Funabashi et al., 2009); para PGA a los 100 días (Jem & Tan, 2020), para PBAT a los 90 días (Dammak et al., 2020).

1.3.1.4. Plásticos Convencionales

El plástico es la tercera aplicación del petróleo más usada en el mundo, y al año consumimos 300 millones de toneladas y como consecuencia se lanzan a la atmósfera toneladas de dióxido de carbono. Al adquirir productos con envases hechos de plástico y desechar estos, inconscientemente estamos contaminando al planeta (Pluas et al., 2020).

1.3.2. Residuos orgánicos

Son los que provienen de la maleza y poda como los restos de flores, hojas, tallos, grass y otros similares, así como de los residuos de alimentos como las cáscaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros (Gobierno del Perú, 2023a). Estos representan el 56.70 % de los residuos orgánicos que se generan en el país anualmente que tienen potencial de valorización (es decir, de ser aprovechables) (SIGERSOL-MINAM, 2021).

1.3.2.1. Fuentes de Generación según Sanchez (2017)

- **Residuos sólidos orgánicos institucionales:** Residuos que se generan en las instituciones públicas y privadas como papeles, cartones, residuos de alimentos y plásticos.

- **Residuos sólidos orgánicos de mercados:** Son aquellos residuos que se generan en mercados y centros de ventas de productos alimenticios. Es aprovechable para la elaboración del compost y fertilizante orgánico.
- **Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:** Son residuos que se generan en las tiendas y restaurantes Especialmente los restaurantes por la venta de comidas que requieren de un trato especial por ser fuente de aprovechamiento para la alimentación de ganado porcino.
- **Residuos orgánicos domiciliarios:** Son residuos que se generan en los hogares, la mayoría de residuos son de verduras, frutas y residuos de alimentos preparados.

1.3.2.2. Composición de los residuos sólidos municipales según Indicadores de RSS año 2020 (SIGERSOL-MINAM, 2021).

a. Costa

Tabla 1.

Composición de los residuos sólidos municipales en la Costa.

COMPONENTES	COSTA
Inorgánicos Valorizables	19.60%
Orgánicos	55.76%
No valorizables	15.50%
Peligrosos	9.13%
TOTAL	100%

Nota. El 56% de los residuos sólidos municipales corresponde a residuos orgánicos. Tomado de *Actividad 2 Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*, MINAM, S.f.

b. Sierra

Tabla 2.

Composición de los residuos sólidos municipales en la Sierra.

COMPONENTES	COSTA
Inorgánicos Valorizables	18.30%
Orgánicos	57.80%
No valorizables	15.50%
Peligrosos	9.11%
TOTAL	100%

Nota. El 58% de los residuos sólidos municipales corresponde a residuos orgánicos. Tomado de *Actividad 2 Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*, MINAM, S.f.

c. Selva

Tabla 3.

Composición de los residuos sólidos municipales en la Selva.

COMPONENTES	COSTA
Inorgánicos Valorizables	9.40%
Orgánicos	79.13%
No valorizables	8.53%
Peligrosos	2.98%
TOTAL	100%

Nota. El 79% de los residuos sólidos municipales corresponde a residuos orgánicos. Tomado de *Actividad 2 Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales*, MINAM, S.f.

1.3.3. Plátano (*Musa Paradisiaca*)

El plátano es una fruta de origen asiático, además es una de las frutas más consumidas en el Perú ya que se produce durante todo el año en regiones como San Martín, Piura, Loreto y Huánuco, Además, cuenta con múltiples propiedades nutricionales que resultan beneficiosos para la salud, como, por ejemplo: potasio, magnesio, hierro que aportan energía durante las actividades diarias. También contiene vitamina C, complejo B6, antioxidantes, fibra, entre otros (Gobierno del Perú, 2023b).

Su cáscara contiene almidón, el principal polisacárido de reserva de alimento en las plantas. En realidad, se forma a partir de una mezcla de dos polímeros (amilosa y amilopectina), que están constituidos por unidades de glucosa (De Almeida et al., 2004). Los bioplásticos elaborados a partir de la cáscara de plátano y almidones de banano, se extraen de los desechos de diferentes plantaciones, evitando la acumulación de basura cerca de las zonas de cosecha y zonas residenciales, de tal manera que ayudan a mitigar el impacto de los plásticos convencionales altamente contaminantes (Jiménez et al., 2020).

Los plátanos verdes tienen un alto contenido de almidón, pueden contener entre un 70% y 80% de almidón en base seca e inclusive la cáscara puede contener hasta un 50% de almidón en base seca, representando una gran diversidad de uso debido a que su proceso para la obtención es de un costo menor. En la fruta madura el almidón es transformado gran parte en sacarosa, glucosa y fructosa (Dávila, 2014).

1.3.3.1. Condiciones climáticas para su producción según Gastañadui (2022).

Los bananos son propios de regiones tropicales y subtropicales, y rara vez dan buenos resultados fuera de la banda comprendida entre los 30° N y 30° S. Algunos

cultivos están adaptados a altitudes de hasta 2,300 msnm, pero la mayoría no prospera a más de 600 m de altitud.

La temperatura óptima para la floración ronda los 27 °C, y el crecimiento de los frutos se beneficia de una ligeramente superior. Por encima de los 37 °C las hojas padecen quemaduras y los frutos se deforman; por debajo de los 16 °C el ritmo de desarrollo se reduce sensiblemente, dando lugar a la aparición de una hoja por mes en lugar del período óptimo de una por semana. Por debajo de los 10 °C, la planta detiene su crecimiento por completo, y el desarrollo de los frutos se aborta.

Aún breves accesos de frío pueden matar las inflorescencias, ocasionar la podredumbre de los frutos ya presentes o abortar su desarrollo, dando lugar a frutos pequeños, de color verde gris y sabor débil.

El régimen de lluvias debe ser constante, con unos 100 mm mensuales a lo largo del año (1,800 – 2,200 mm). de agua al año bien distribuidos para su desarrollo metabólico), y no más de tres meses de estación seca.

1.3.3.2. Zonas geográficas de su producción según MIDAGRI (s. f.)

- Costa Norte: 16,54% - Piura y Tumbes.
- Selva Baja: 49,8% - Loreto, San Martín, Ucayali y Madre de Dios.
- Selva Alta: 32,07% - Amazonas, Huánuco, Pasco, Cusco, Puno, Junín y Cajamarca.
- Otros: 1,59% (La Libertad, Ayacucho, Lima, Lambayeque, Ica y Ancash)

1.3.4. Plátano de Variedad Bellaco

El bellaco es una variedad también conocida con los nombres de "harten" o "barraganeta". La planta presenta un pseudo-tallo verde rosado alcanzando una altura de

3.0 m, con un diámetro en su base de 0.24 m. A la madurez comercial el racimo en promedio tiene unos 30 frutos, de unos 30 a 40 cm de largo, con un peso de 400g por fruto). En esta variedad encontramos el cien bellaco plátano, este posee seis y ocho manos con un promedio de 50 frutos. Para fines comerciales se cultiva entre el nivel del mar y los 1320 m de altura. La duración de su ciclo vegetativo varía entre 11 meses a nivel del mar y de 17 o 18 meses a 1320 m de altitud. Se cultiva en el país tanto en la selva como en la costa norte (Waldo, 2015).

1.3.5. Plátano de Variedad Seda

Se le conoce con diferentes nombres: Gros Michel, Guayaquil, Highgate, Cocos, Seda, etc., procedentes de esta variedad han dado lugar a otras variedades que conservan las excepcionales cualidades de la original variedad. Los racimos son naturalmente acondicionados para la exportación, compactos y simétricos; tienen entre 130 y 240 frutos largos, con cáscara de color amarillo intenso en estado maduro, pulpa de buen sabor y suavidad de dónde le viene el nombre de seda recolectados oportunamente son resistentes al transporte, demoran varias semanas en madurar (Waldo, 2015).

1.3.6. Almidón

El almidón es un hidrato de carbono complejo (polisacárido) digerible, del grupo de los glucanos. Consta de cadenas de glucosa con estructura lineal (amilosa) o ramificada (amilopectina). Constituye la reserva energética de los vegetales. En la cocina se valora por ser un hidrocoloide: tiene la capacidad de atrapar agua, lo que provoca la formación de geles, o de espesar un líquido o un producto licuado (Castells, 2009).

De acuerdo a Hernández-Uribe et al., 2008 se identificó hasta el 70% (base seca) de presencia de almidón en frutas en estado inmaduro o verde, específicamente en plátano y mango (Blasco & Gómez, 2014).

1.3.6.1. Estructura química

El almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutson & Grove, 1994). Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan & Hanna, 2004).

1.3.6.2. Importancia

Debido a las propiedades funcionales del almidón, ha sido considerablemente aprovechable en industrias alimentarias como agente espesante, relleno, agente aglutinante y gelificante para una amplia gama de ingredientes. Las cantidades de almidón para uso en la industria alimentaria y no alimentaria es formidable y, de hecho, es un indicador transcendental en la economía de diversos países. Su producción es una de las agroindustrias más importantes en el ámbito mundial, cuya demanda está marcada por la versatilidad del producto (Hernández-Uribe et al., 2008).

1.4. Justificación

Los residuos sólidos se generan diariamente a nivel mundial, y uno de los principales contaminantes es el plástico, que, como se menciona en el punto 1.1. se produce a partir de derivados del petróleo. Esto provoca serios daños ambientales, principalmente debido a su manejo incorrecto, lo que afecta a diversos ecosistemas (Charro, 2015).

En Perú, el impacto negativo de los desechos plásticos ha crecido significativamente, debido a la falta de una infraestructura adecuada para su tratamiento, lo que ha provocado que un alto porcentaje de residuos plásticos se gestione inapropiadamente. En 2016, Perú generó 708,000 toneladas de plástico al año, de los cuales el 43.7% fueron gestionados de manera inadecuada (USAID, 2020).

Por tal motivo, la creciente preocupación por los efectos negativos del plástico ha impulsado la búsqueda de productos alternativos menos contaminantes. En este contexto, los bioplásticos han emergido como una alternativa, ya que se degradan de acuerdo al contenido microbiano en el que se desechan (Garrido, 2020). Según Castillo et al., (2015) estos bioplásticos, elaborados a partir de materiales vegetales como el almidón de plátano, presentan similitudes con los plásticos derivados del petróleo, pero son completamente biodegradables y no tóxicos. Además, la producción de bioplásticos disminuye las emisiones de CO₂ entre 0.8 y 3.2 toneladas en comparación con la producción convencional.

Este enfoque no solo optimiza la gestión de residuos, sino que también está alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible al promover la economía circular y el desarrollo de materiales ecológicos (Valle et al., 2024); donde se minimiza el

desperdicio y se maximiza la reutilización de recursos (Rajput et al., 2024). Estudios económicos han destacado los beneficios potenciales de la adopción generalizada de bioplásticos en términos de creación de empleo, desarrollo de nuevas industrias y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (Edayadulla et al., 2024). Además, la producción de bioplásticos a partir de residuos orgánicos, como los desechos agrícolas y alimentarios, puede contribuir a cerrar los ciclos de materiales y energía en la economía (Zhang et al., 2024). Los bioplásticos representan un sector en crecimiento dentro de la industria de los materiales poliméricos, con una amplia gama de aplicaciones y oportunidades económicas; su adopción y desarrollo están influenciados por una serie de factores económicos, que incluyen los costos de producción, las políticas gubernamentales y las tendencias del mercado (Jasso et al., 2024).

1.5. Formulación del problema

¿Cómo influyen los métodos de extracción de almidón, seco y húmedo, realizados a partir de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) de las variedades Bellaco y Seda, en las propiedades fisicoquímicas del plástico biodegradable obtenido?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Obtener almidón a partir de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) de las variedades Bellaco y Seda, empleando métodos seco y húmedo, para evaluar su uso en plásticos biodegradables.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Describir la composición fisicoquímica de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) de las variedades bellaco y seda.

- Evaluar las diferencias en el rendimiento y la calidad del almidón extraído mediante métodos seco y húmedo a partir de las variedades Bellaco y Seda.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los plásticos biodegradables obtenidos utilizando el almidón extraído.

1.7.Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

H1: Los métodos de extracción de almidón, seco y húmedo, aplicados a la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) de las variedades Bellaco y Seda, influyen significativamente en las propiedades fisicoquímicas de los plásticos biodegradables obtenidos.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- **H1.1:** La composición fisicoquímica de la cáscara de plátano varía entre las variedades Bellaco y Seda, lo que afecta el rendimiento en la extracción del almidón.
- **H1.2:** Existen diferencias significativas entre los métodos seco y húmedo en cuanto al rendimiento y la calidad del almidón extraído, considerando parámetros como humedad y contenido de cenizas.
- **H1.3:** Las propiedades fisicoquímicas de los plásticos biodegradables, tales como humedad, espesor, densidad y biodegradabilidad, se ven significativamente influenciadas por el método de extracción del almidón utilizado

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Enfoque y diseño de la investigación

Esta investigación tiene un enfoque de carácter **cuantitativo**, debido a que se utiliza datos numéricos para probar hipótesis o responder preguntas de investigación, empleando métodos estadísticos para analizar patrones y relaciones en los datos recolectados de manera estandarizada y objetiva (Thomeer et al., 2024), de **diseño experimental** debido a que este tipo de estudio implica la manipulación controlada de una o más variables independientes para observar su efecto sobre las variables dependientes, permitiendo así al investigador determinar si existe una relación causal entre ellas (Bibi et al., 2024). **En los diseños experimentales**, se realiza una asignación aleatoria de los participantes a grupos experimentales y de control, lo que ayuda a minimizar el sesgo y controlar variables externas que podrían influir en los resultados (Field, 2013). Este enfoque permite obtener resultados que pueden ser generalizados a una población más amplia debido a su rigor y estandarización (Bayen et al., 2024).

2.2. Nivel de la investigación

El presente estudio se sitúa en el nivel **aplicado** de la investigación. Este nivel se enfoca en la aplicación práctica de conocimientos científicos para resolver problemas específicos y desarrollar soluciones innovadoras en contextos concretos. En este caso, el objetivo es desarrollar bioplásticos biodegradables a partir de cáscara de plátano, un recurso agrícola común, utilizando métodos de procesamiento en seco y húmedo (Bautista-Beauchesne & Garzon, 2019).

2.3. Alcance de la investigación

La investigación es de corte **transversal** donde Dagnino S. (2015), nos dice que se usa para recopilar datos y describir características o variables de interés en una sola vez en el tiempo. Adicional, el estudio se limita a la aplicación de dos métodos específicos de procesamiento: seco y húmedo (De Martin & Furlan, 2025). Así mismo, la investigación no abordará la producción a escala industrial ni la evaluación económica del proceso, limitándose a pruebas de laboratorio y análisis de propiedades de los materiales.

2.4. Población

Se considera como población la producción promedio del año 2022 de *Musa Paradisiaca* en Perú, que asciende aproximadamente a 2 372.025 de toneladas; al respecto, considerando que la planta de plátano tiene un rendimiento de 12% de materia prima comercial y 88% de residuo, se estima que se habrían generado aproximadamente 19 938 202.5 toneladas de residuo (DIDITTT - ITP, 2023).

2.5. Muestra

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia bajo los siguientes criterios: (1) todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados y (2) accesibilidad en su recolección; sin embargo, es posible que se genere cierto sesgo (Salgado, 2019); en ese sentido, se recolectaron 4.600 Kg de muestra de cáscara de plátano de variedad bellaco y 4.500 Kg de variedad seda.

2.6. Unidad de Análisis

Bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano madura y verde.

2.7. Insumos, aditivos y reactivos

- Glicerina.
- Agua destilada.
- Maicena.
- Ácido acético (Vinagre Blanco).

2.8. Materiales de laboratorio

- Vasos precipitados 50, 100, 250, y 500 mL
- Probetas de 10 y 50 mL.
- Tamizador de 800 μm .
- Espátula.
- Cápsula magnética.
- Papel Aluminio.
- Tela organza.
- Gaza de uso médico.

2.9. Equipos

- Agitador electromagnético.
- Estufa.
- Balanza analítica.
- Micrómetro.

2.10. Procesamiento de recolección de datos

2.10.1.1. Técnicas de investigación bibliográfica

- Análisis documental: Permite determinar el análisis del material estudiado.

- Análisis del contenido: Se estudió de forma objetiva y sistemática el documento leído.
- Fichaje: Se utilizó para construir el marco teórico de la presente investigación.

2.10.1.2. Técnicas de campo

- Observación: Esto permitió recopilar datos directamente del proceso de formulación de bioplásticos a partir de 2 variedades diferentes de almidón de cáscara de plátano, evaluando su efecto en las características fisicoquímicas, ópticas para las conclusiones de la presente investigación.

2.10.1.3. Técnicas de recolección de datos

En la investigación, se emplearon diferentes instrumentos para la obtención de datos, los cuales fueron elaborados de acuerdo con el diseño del estudio:

a. Recolección de información bibliográfica.

- Se utilizaron fichas de investigación o documentación para registrar la información relevante encontrada en fuentes bibliográficas.
- Se realizaron comentarios y resúmenes de los materiales consultados.
- Se emplearon fichas de registro o localización para organizar y ubicar las referencias bibliográficas e información obtenida de internet.

b. Recolección de información en laboratorio.

- Se llevaron notas de observación durante el trabajo en el laboratorio para registrar los procedimientos, resultados y observaciones relevantes.
- Se utilizó una cámara fotográfica para documentar visualmente el proceso y los resultados obtenidos en el laboratorio.

2.11. Procesamiento de tratamiento y análisis de datos

2.11.1. Análisis estadístico de datos

Para identificar la existencia del efecto de los métodos seco y húmedo, así como de las variedades bellaco y seda en el rendimiento de extracción de almidón y de su calidad, medido en términos de porcentaje de ceniza y humedad; se realizó un diseño factorial 2 x 2 (ver Tabla 4) analizado mediante software estadístico Minitab versión 27 para su análisis de varianza (ANOVA); así también, se realizó una prueba de comparación de medias, Tukey, para determinar qué método y qué variedad tienen el mejor efecto.

Importante resaltar que el diseño factorial se utiliza para experimentos con dos o más factores, dado que en general es el más eficiente para ello. En este diseño se investiga todas las combinaciones posibles entre los niveles de los factores (Fernández, 2020); así mismo, la prueba de Tukey se utiliza para crear intervalos de confianza para todas las diferencias en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado (Soporte de Minitab, s. f.).

2.11.2. Diseño Factorial

En la fase experimental para la obtención del almidón a partir de la cáscara de plátano, se empleó un diseño factorial 2 x 2 para evaluar el efecto combinado de los métodos de obtención del almidón (Mét. Húmedo y Mét. Seco) y las variedades de plátano (Bellaco y Seda) en las propiedades del bioplástico obtenido como humedad, espesor, densidad y biodegradabilidad; se consideraron 3 repeticiones en todos los casos.

2.11.3. Factores de estudio y niveles

Los factores de estudio y niveles utilizados en el proyecto de investigación de muestra en la siguiente tabla 4:

Tabla 4.

Matriz de Diseño Factorial.

Tratamientos		Método de obtención de almidón	
		Met. Húmedo (B1)	Mét. Seco (B2)
Variedad Plátano	Bellaco (A1)	A1 B1	A1 B2
	Seda (A2)	A2 B1	A2 B2

Nota: Factores estudiados para extraer el almidón de las variedades de cáscaras de plátano.

Donde:

A1: Variedad Bellaco

A2: Variedad Seda

B1: Método Húmedo para la obtención de almidón.

B2: Método Seco para la obtención de almidón.

Todos los datos se analizaron con el programa estadístico Minitab versión 27, el cual nos permite tabular los datos obtenidos sintetizando en cuadros y gráficos para facilitar la interpretación de datos; adicional, se utilizará para el ANOVA para diseño factorial y prueba de comparación de medias de Tukey.

Tabla 5.

Unidades experimentales.

DATOS	
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	3
Unidades experimentales	12

Nota: Se realizaron 3 repeticiones por cada tratamiento por lo cual se tuvieron 12 unidades de tratamiento.

2.12. Aspectos éticos

El desarrollo de bioplásticos biodegradables tiene como objetivo reducir la contaminación por plásticos, lo cual es una problemática global; en ese sentido, el proyecto presenta un enfoque ético al buscar alternativas más sostenibles y ambientalmente responsables para la producción de materiales que pueden degradarse sin causar daño a los ecosistemas.

Así también, la cáscara de plátano utilizada debe provenir de fuentes responsables que no afecten negativamente la producción alimentaria o el bienestar de las comunidades productoras; además, es fundamental que la investigación no promueva prácticas agrícolas no sostenibles o que contribuyan a la escasez alimentaria.

A su vez, la experimentación para ambos métodos, seco y húmedo, debe seguir las normas de seguridad y salud ocupacional; es ético asegurar que los procedimientos no generen riesgos innecesarios para los investigadores ni para el medio ambiente, especialmente en el manejo de sustancias químicas.

Finalmente, los datos obtenidos deben ser reportados de manera precisa, sin manipulación de resultados, respetando los principios de integridad científica; además, cualquier limitación en los métodos o resultados debe ser claramente indicada.

2.13. Variables de estudio

2.13.1. Variables independientes

- Método de extracción de almidón.
- Variedad de plátano.

2.13.2. Variables dependientes

Se utilizaron estas variables después de haber obtenido el almidón.

- Humedad.
- Rendimiento.
- Ceniza.

Para la elaboración del bioplástico se utilizaron las siguientes variables:

- Humedad.
- Espesor.
- Densidad.
- Biodegradación.

2.14. Extracción de almidón

2.14.1. Métodos de extracción de almidón

Existen 2 métodos para la extracción de almidón, la mayoría de los autores como Martel, 2023 utilizaron el método húmedo y otros como Humpiri, 2018 utilizaron el método seco y otros como Cárdenas, 2018 utilizaron ambos métodos húmedo y seco.

2.14.1.1. Método Húmedo

Lavado: se lavó toda la materia prima (cáscaras de plátano) eliminando así todo residuo que contengan, luego se corta el pedicelo y punta de estas.

Cortar: se procedió a cortar en cuadros pequeños las cáscaras de 2cm aproximadamente.

Molienda: se licuó las cáscaras cortadas por aproximadamente 2 min. con agua destilada hasta obtener una masa lechosa.

Filtrado: se filtró la masa obtenida con una malla o lienzo a fin de extraer todo el líquido lechoso.

Sedimentación: se dejó reposar el líquido extraído en un recipiente por 2 hr.

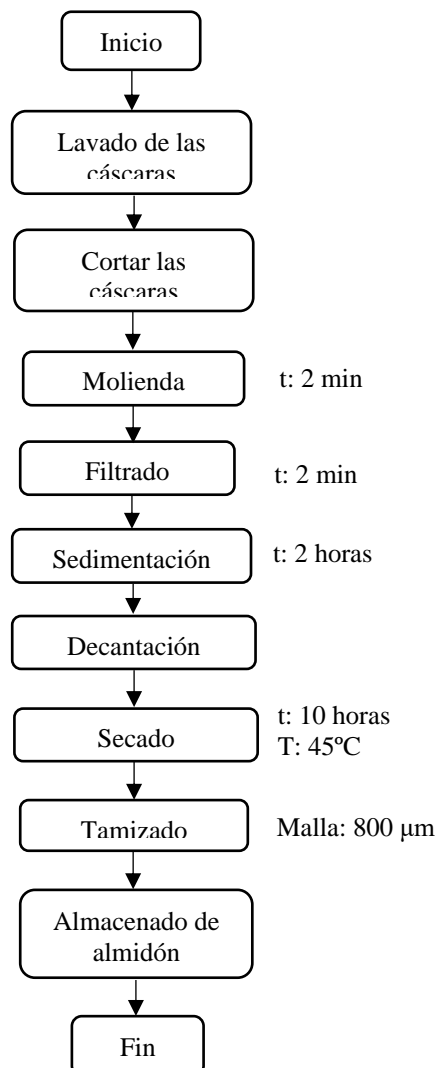
Decantación: se decantó el líquido sobrante del recipiente, dejando solo la materia que posteriormente se convertirá en polvo.

Secado: finalmente se secó el producto final a temperatura de 45°C en el transcurso de 10 horas hr. que la materia prima obtenga un peso constante, inmediatamente dicha muestra se enfrió y se pesó.

Tamizado: El producto seco se tamizó con tamices de 800 µm con la finalidad de obtener partículas uniformes de almidón a partir de las cáscaras de plátano y posteriormente se colocaron en bolsas zip para alimentos y se almacenó a temperatura ambiente.

Figura 2.

Diagrama de flujo del método húmedo.



Nota: Diagrama de flujo del proceso a seguir para extraer el almidón de la cáscara de plátano de ambas variedades mediante método húmedo.

2.14.1.2. Método Seco

Lavado: se lavó toda la materia prima (cáscaras de plátano) eliminando así todo residuo que contengan, luego se corta el pedicelo y punta de estas.

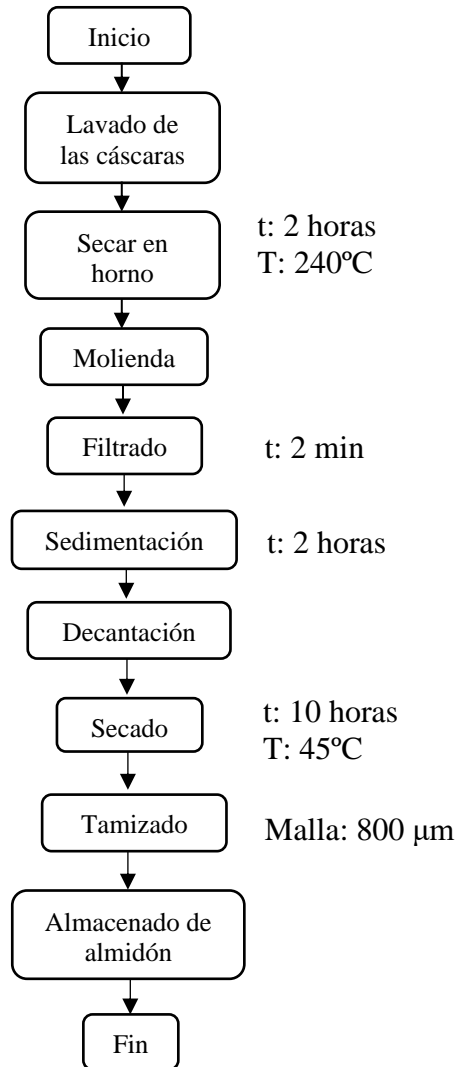
Secado: se dejó secar las cáscaras por 2 horas aprox. en un horno a 240°C, a fin de eliminar el exceso de agua.

Molienda: se sacó las cáscaras secas del horno y procedieron a triturarlas con un molino manual hasta que obtuvieron un polvillo.

Tamizado: finalmente se almacenó el polvo que ha sido previamente tamizado con una grilla de 800µm.

Figura 3.

Diagrama de flujo del método seco.



Nota: Diagrama de flujo del proceso a seguir para extraer el almidón de la cáscara de plátano de ambas variedades mediante método seco.

2.14.2. Parámetros para extracción del almidón

2.14.2.1. Humedad

Se cálculo la humedad utilizando el método de AOAC 930.15 descrito por Calero & Lapo, 2021 , que hace referencia a la gravedad, donde los pesos de cada muestra de las

cáscaras de plátano se diferencian en los dos procesos. El cálculo del porcentaje se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$SS(\%) = \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} * 100$$

Donde:

- SS (%): sustancia seca en porcentaje en masa.
- m: masa de la cápsula vacía, en gramos.
- m1: masa de la cápsula con la muestra, en gramos.
- m2: masa de la cápsula con la muestra posterior al secado, en gramos.
- Humedad (%) = 100 – SS (%).

2.14.2.2. Rendimiento de almidón

Una vez obtenido el almidón por los dos métodos (seco y húmedo) se pesó a fin de determinar el porcentaje de rendimiento de las cáscaras de variedad bellaco y seda utilizando el método de Valerio (Dávila, 2014).

$$\%R = \frac{PA}{PP} * 100$$

Donde:

- %R: Porcentaje de rendimiento de la extracción.
- PA: Peso del almidón seco (g)..
- PP: Peso de la muestra de cáscara (g).

2.14.2.3. Cenizas

Utilizando la metodología de AOAC 942.05 con adaptación de Cali, 2016, se calentaron los residuos en un recipiente de porcelana a una temperatura de 1022°F o 550°C durante 2 horas hasta que las muestras estén de color gris. El cálculo del porcentaje se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$C(\%) = \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} * 100$$

Donde:

- C (%) = Porcentaje de cenizas.
- m: Masa de la cápsula vacía, en gramos.
- m1: masa de la cápsula con la muestra antes de incinerar, en gramos.
- m2: masa de la cápsula con la muestra posterior de la incineración, en gramos.

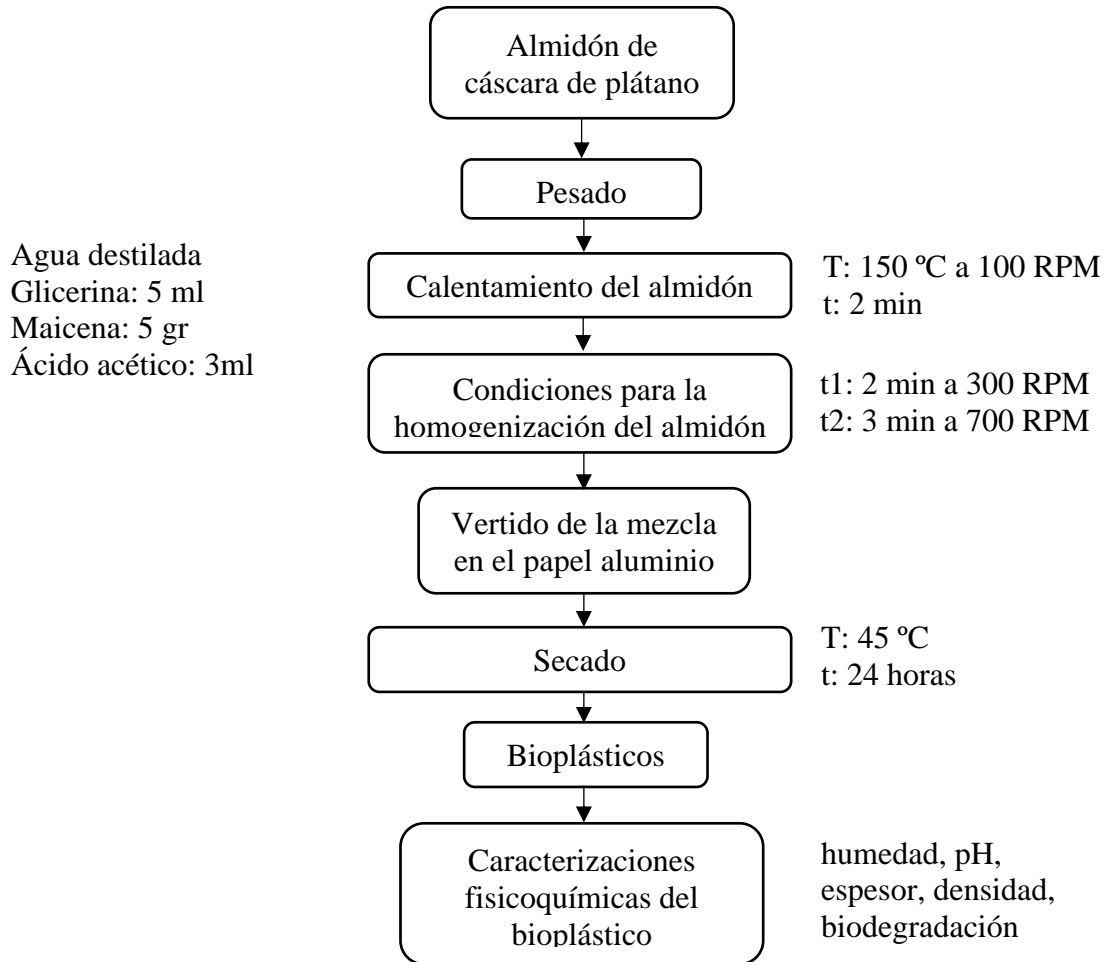
2.15. Obtención del bioplástico

La obtención del bioplástico de cáscara de plátano se realizó mediante lo descrito por Meza, 2016:

- Se pesó las proporciones de almidón de cáscara de plátano con respecto al volumen total a preparar.
- Se procedió a calentar el almidón en 60 ml de agua destilada a 150 °C y a 100 RPM por el tiempo de 2 minutos, seguidamente se adiciono 3 ml de ácido acético, 5 ml de glicerina y 5 gr de maicena.
- Se homogenizó la mezcla a 300 RPM por 2 minutos, luego a 700 RPM por 3 minutos (hasta obtener una consistencia gomosa).
- Se realizó el vertido de la mezcla en placas Petri previamente untadas con aceite (para evitar la adherencia de la mezcla a la superficie del recipiente), inmediatamente se empezó a formar una capa uniforme.
- El secado se realizó en una estufa a 45 °C durante 24 horas .

Figura 4.

Diagrama de flujo de elaboración del bioplástico.



Nota: Diagrama de flujo del proceso a seguir para obtener bioplástico a partir de almidón extraído de la cáscara de plátano de ambas variedades.

2.15.1. Parámetros para elaboración del bioplástico

2.15.1.1. Humedad de bioplástico

De acuerdo al método de AOAC 930.15 descrito por Calero & Lapo, 2021, se secaron las muestras de bioplástico por duplicado a 105 ± 1 °C durante 24 hr. Utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de humedad}(\%) = \frac{(M_w - M_d)}{M_w} * 100\%$$

Donde:

- M_w : Peso de lámina acondicionada
- M_d : Peso seco de la lámina

2.15.1.2. Espesor del bioplástico

Se calculo el espesor del bioplástico mediante la metodología de Calero & Lapo, 2021 realizando control directo utilizando un calibrador digital en 3 puntos diferentes a cada muestra de los tratamientos de polímeros biodegradables y se comparó el resultado con lo mencionado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2542 para las láminas plásticas, las cuales deben tener un espesor nominal de 0,2mm según lo indicado (INEN, 2010).

2.15.1.3. Densidad del bioplástico

Se calculó la densidad de las láminas de bioplásticos utilizando la metodología de Bustamante & Peralta, 2018 y De los Ángeles, 2016 pesando en una balanza y se usó una probeta de 50ml en el que se vertió 25ml de agua destilada, se sumerge la prueba totalmente, se apunta el nivel de agua alcanzado que es el volumen del bioplástico en cm^3 y luego se examina la densidad con las láminas de plástico. Se efectuó la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

- ρ : Densidad

- m: Masa del bioplástico
- V: Volumen de agua

2.15.1.4. Degradación

Se efectuó el cálculo del porcentaje de disminución de peso en un tiempo definido de 10 días para observar las diferentes escenas de biodegradabilidad, justificándose en la metódica de (Charro, 2015).

- Se cortaron las láminas en tiras de 1 cm x 2 cm inmediatamente se empezó a formar una capa uniforme.
- Posteriormente se prepararon frascos de vidrio que contenía compost, se colocó la muestra en una gaza de uso médico, y se introdujeron las muestras hasta una profundidad de 5 cm dentro del compost.
- Transcurridas los 10 días se extrajeron las muestras y pesaron para evaluar la pérdida de masa y comparar con el valor de masa antes de enterrar las muestras. Para lo cual se manejó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Perdida de peso} = \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] * 100$$

Donde:

- Pi: Peso inicial seco.
- Pf: Peso final seco.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Descripción de la composición fisicoquímica de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), de la variedad bellaco y seda.

Tabla 6.

Composición de la cáscara de plátano (Musa paradisiaca).

Composición de la cáscara de Plátano		
	Bellaco (%)	Seda (%)
Agua	69.58	75.12
Almidón	15.37	4.21
Celulosa	7.54	0.92
Sacarosa	9.36	-
Glucosa	0.58	5.19
Dextrosa	1.82	1.76
Gomas	0.67	1.6
Tanino	0.06	0.01
Proteínas	2.1	-
Ceniza	0.76	0.86

Nota. Del 20 al 22% de la materia seca de la cáscara de plátano, está conformada por almidón, que al madurar esta se convierte en azúcares tales como la sacarosa (66%), glucosa (20%) y fluctuosa (4%) empleados en fines industriales y el autoconsumo, Carbajal, 2019.

En la tabla 6 se observan la composición de la cáscara de plátano en su estado verde y maduro, donde la cáscara de plátano en estado verde contiene mayor porcentaje de almidón con 15.37% a comparación de la cáscara de plátano en su estado maduro que contiene un porcentaje mucho menor de 4.21 %.

3.2. Evaluación de las diferencias en el rendimiento y calidad del almidón extraído mediante los métodos húmedo y en seco a partir de las variedades bellaco y seda.

3.2.1. Rendimiento del almidón

Tabla 7.

Porcentaje de rendimiento del almidón.

Tratamiento	Repetición	Cantidad de Cáscara (gr)	Peso de Almidón Obtenido (gr)	Porcentaje de Rendimiento	Media
A1B1	1	755.12	29.60	3.92	3.94
	2	755.48	29.92	3.96	
	3	755.34	29.68	3.93	
A2B1	1	747.35	17.34	2.32	2.31
	2	747.02	16.88	2.26	
	3	747.14	17.56	2.35	
A1B2	1	755.22	17.07	2.26	2.27
	2	755.65	17.68	2.34	
	3	755.64	16.78	2.22	
A2B2	1	747.10	17.03	2.28	2.21
	2	747.24	16.44	2.2	
	3	747.31	16.07	2.15	

Nota. Porcentajes obtenidos del rendimiento del almidón extraído de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano.

En la tabla 07 se muestra el porcentaje de rendimiento total del almidón obtenido mediante dos métodos de extracción y dos tipos de variedad de cáscara de plátano, donde la variedad bellaco mediante método húmedo obtuvo el mayor porcentaje de rendimiento con 3.94 %, a diferencia de la variedad seda mediante método seco que obtuvo un rendimiento de 2.21 %.

3.2.1.1. Comparación de las medias del rendimiento de almidón con el análisis de varianza.

Tabla 8.

ANOVA: Variación del rendimiento del almidón extraído de las muestras.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	6,30709	2,10236	795,85	0,000
Lineal	2	4,47408	2,23704	846,83	0,000
Variedad Plátano	1	2,33201	2,33201	882,78	0,000
Método Obtención	1	2,14208	2,14208	810,88	0,000
Interacciones de 2 términos	1	1,83301	1,83301	693,88	0,000
Variedad Plátano*Método Obtención	1	1,83301	1,83301	693,88	0,000
Error	8	0,02113	0,00264		
Total	11	6,32822			

Nota. Resultados obtenidos del rendimiento de almidón con el análisis de varianza donde el p-value fue menor a 0.05.

En la tabla 08 se visualizan resultados obtenidos del análisis de varianza, donde el estadístico de prueba p-value es menor a 0.05; es decir, existe un efecto significativo de la variedad de plátano, del método de obtención y de la combinación de ambos, en el porcentaje de rendimiento de almidón.

3.2.1.2. Comparación de las medias del rendimiento de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

Tabla 9.

Prueba Tukey del rendimiento a partir de la variedad de plátano.

Variedad	N	Media	Agrupación
Plátano			
Bellaco	6	3,123	A
Seda	6	2,2417	B

Nota. Comparación de medias del rendimiento de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la Tabla 09, se observa que la variedad bellaco presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que promueve un mayor rendimiento en la obtención de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con la variedad seda que tiene una agrupación tipo B.

3.2.1.3. Comparación de las medias del rendimiento de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

Tabla 10.

Prueba Tukey del rendimiento a partir del método de obtención.

Método Obtención	N	Media	Agrupación
M. Húmedo	6	3,105	A
M. Seco	6	2,2600	B

Nota. Comparación de medias del rendimiento de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la Tabla 10, se observa que el método húmedo presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que este método promueve un mayor rendimiento en la obtención de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con el método seco que tiene una agrupación tipo B.

3.2.2. Humedad del almidón

Tabla 11.

Porcentaje de humedad del almidón.

Tratamiento	Repetición	Porcentaje de Humedad	Media
A1B1	1	25.81	25.82
	2	26.21	
	3	25.45	
A2B1	1	13.62	14.83
	2	15.41	
	3	15.45	
A1B2	1	13.54	13.51
	2	13.78	
	3	13.21	
A2B2	1	11.55	11.79
	2	12	
	3	11.81	

Nota. Porcentajes obtenidos de humedad del almidón extraído de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano.

En la tabla 11 se muestra el porcentaje de humedad del almidón obtenido mediante dos métodos de extracción y dos tipos de variedad de cáscara de plátano, donde la variedad seda mediante método seco obtuvo el menor porcentaje de humedad con 11.79%.

3.2.2.1. Comparación de las medias de la humedad de almidón con el análisis de varianza.

Tabla 12.

ANOVA: Variación de la humedad del almidón extraído de las muestras.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	362,638	120,879	352,96	0,000
Lineal	2	298,142	149,071	435,28	0,000
Variedad Plátano	1	176,794	176,794	516,22	0,000
Método Obtención	1	121,349	121,349	354,33	0,000
Interacciones de 2 términos	1	64,496	64,496	188,32	0,000
Variedad Plátano*Método Obtención	1	64,496	64,496	188,32	0,000
Error	8	2,740	0,342		
Total	11	365,378			

Nota. Resultados obtenidos de la humedad del almidón con el análisis de varianza donde el p-value fue menor a 0.05.

En la tabla 12 se visualizan resultados obtenidos del análisis de varianza, donde el estadístico de prueba p-value es menor a 0.05; es decir, existe un efecto significativo de la variedad de plátano, del método de obtención y de la combinación de ambos, en el porcentaje de la humedad de almidón.

3.2.2.2. Comparación de las medias de la humedad de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

Tabla 13.

Prueba Tukey de la humedad a partir de la variedad de plátano.

Variedad Plátano	N	Media	Agrupación
Bellaco	6	20,32	A
Seda	6	12,648	B

Nota. Comparación de medias de la humedad de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la Tabla 13, se observa que la variedad bellaco presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que promueve una mayor humedad en la obtención de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con la variedad seda que tiene una agrupación tipo B.

3.2.2.3. Comparación de las medias de la humedad de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

Tabla 14.

Prueba Tukey del rendimiento a partir del método de obtención.

Método Obtención	N	Media	Agrupación
M. Húmedo	6	19,67	A
M. Seco	6	13,307	B

Nota. Comparación de medias del rendimiento de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la tabla 14, se observa que el método húmedo presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que promueve una mayor humedad en la obtención de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con el método seco que tiene una agrupación tipo B.

3.2.3. Cenizas del almidón

Tabla 15.

Porcentaje de cenizas del almidón.

Tratamiento	Repetición	Porcentaje de Ceniza	Media
A1B1	1	2.36	2.45
	2	2.42	
	3	2.58	
A2B1	1	3.85	3.67
	2	3.64	
	3	3.52	
A1B2	1	4.13	4.08
	2	4.04	
	3	4.08	
A2B2	1	6.14	6.14
	2	6.11	
	3	6.18	

Nota. Porcentajes obtenidos de ceniza del almidón extraído de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano.

En la tabla 15 se muestra el porcentaje de ceniza del almidón obtenido mediante dos métodos de extracción y dos tipos de variedad de cáscara de plátano, donde la variedad seda mediante método húmedo obtuvo el menor porcentaje de ceniza con 3.67%.

3.2.3.1. Comparación de las medias de cenizas de almidón con el análisis de varianza.

Tabla 16.

ANOVA: Variación de cenizas del almidón extraído de las muestras.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	21,2138	7,0713	641,39	0,000
Lineal	2	20,6804	10,3402	937,89	0,000
Variedad Plátano	1	12,6280	12,6280	1145,40	0,000
Método Obtención	1	8,0524	8,0524	730,38	0,000
Interacciones de 2 términos	1	0,5334	0,5334	48,38	0,000
Variedad Plátano*Método Obtención	1	0,5334	0,5334	48,38	0,000
Error	8	0,0882	0,0110		
Total	11	21,3020			

Nota. Resultados obtenidos cenizas del almidón con el análisis de varianza donde el p-value fue menor a 0.05.

En la tabla 16 se visualizan resultados obtenidos del análisis de varianza, donde el estadístico de prueba p-value es menor a 0.05; es decir, existe un efecto significativo de la variedad de plátano, del método de obtención y de la combinación de ambos, en el porcentaje de cenizas de almidón.

3.2.3.2. Comparación de las medias de cenizas de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

Tabla 17.

Prueba Tukey de cenizas a partir de la variedad de plátano.

Variedad			
Plátano	N	Media	Agrupación
Seda	6	5,113	A
Bellaco	6	3,062	B

Nota. Comparación de medias de cenizas de almidón a partir de la variedad del plátano con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la tabla 17, se observa que la variedad seda presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que promueve un mayor porcentaje de cenizas de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con la variedad bellaco que tiene una agrupación tipo B.

3.2.3.3. Comparación de las medias de cenizas de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

Tabla 18.

Prueba Tukey de cenizas a partir del método de obtención.

Método			
Obtención	N	Media	Agrupación
M. Seco	6	4,907	A
M. Húmedo	6	3,268	B

Nota. Comparación de medias de cenizas de almidón a partir del método de obtención con prueba Tukey.

De acuerdo a la comparación de medias que se detalla en la tabla 18, se observa que el método seco presenta una agrupación tipo A, lo cual significa que promueve un mayor porcentaje de cenizas de almidón y a su vez genera una diferencia significativa con el método húmedo que tiene una agrupación tipo B.

3.3. Caracterización fisicoquímica de los bioplásticos obtenidos.

3.3.1. Humedad del bioplástico

Tabla 19.

Porcentaje de humedad del bioplástico.

Tratamiento	Porcentaje de Humedad
A1B1	11.99
A1B1 + maicena	9.28
A2B1	8.73
A2B1 + maicena	7.17
A1B2	6.35
A1B2 + maicena	15.91
A2B2	18.53
A2B2 + maicena	4.12

Nota: Porcentajes obtenidos del cálculo de humedad del bioplástico elaborado a partir de almidón de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano y mediante dos métodos de extracción.

En la tabla 19 se muestra el porcentaje de humedad en cada tratamiento, donde la variedad bellaco mediante el método seco obtuvo el menor porcentaje de humedad con 4.12% mediante el método seco utilizando cáscaras de plátano bellaco.

Estudios como el de Kothekar et al. (2018) mencionan que el plástico de almidón de maíz es una excelente opción para la fabricación de bioplásticos, ya que se obtiene un material más resistente y que se degrada más rápido en comparación con otros bioplásticos; esto siempre que se procese añadiendo agentes de refuerzo. De igual forma (Sernaqué et al., 2020) recomienda que para producir un bioplástico con mejores propiedades mecánicas, como la resistencia al agua, mayor flexibilidad y resistencia al rompimiento, es necesario combinar el almidón con otros materiales poliméricos como el almidón de maíz. Quispe (2022) obtuvo resultados favorables elaborando bioplásticos a partir de almidón de *Musa paradisiaca* y maicena donde la muestra demostró ser biodegradable en agua, suelo y a temperatura ambiente.

3.3.2. Espesor del bioplástico

Tabla 20.

Espesor del bioplástico.

Tratamiento	Medición (mm)			Media (mm)
	1	2	3	
A1B1	0.92	0.55	1.08	0.85
A1B1 + maicena	0.77	1.7	2.39	1.62
A2B1	2.65	2.22	2.31	2.39
A2B1 + maicena	2.16	2.3	2.14	2.20
A1B2	2.35	2.94	1.82	2.37
A1B2 + maicena	1.6	1.21	0.98	1.26
A2B2	2.48	2.71	3.9	3.03
A2B2 + maicena	1.45	1.55	2.75	1.92

Nota: Resultados obtenidos del cálculo del espesor del bioplástico elaborado a partir de almidón de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano y mediante dos métodos de extracción.

En la tabla 20 se muestra el espesor del bioplástico, donde todos los tratamientos superan el parámetro mínimo indicado por la NTE INEN 2542 de 0,2mm.

3.3.3. Densidad del bioplástico

Tabla 21.

Densidad del bioplástico.

Tratamiento	Masa del Bioplástico(g)	Diferencia Volumen del Agua (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
A1B1	4.75	5.04	0.94
A1B1 + maicena	4.88	5.02	0.97
A2B1	5.61	5.01	0.93
A2B1 + maicena	5.53	5.01	1.10
A1B2	4.84	5.04	0.96
A1B2 + maicena	4.93	5.03	0.98
A2B2	4.71	5.05	1.12
A2B2 + maicena	4.82	5.02	0.96

Nota: Resultados obtenidos del cálculo de densidad del bioplástico elaborado a partir de almidón de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano y mediante dos métodos de extracción.

En la tabla 21 se muestra los resultados de la densidad del bioplástico obtenido, donde los tratamientos presentan resultados similares entre sí, siendo la variedad seda mediante método seco el que presenta una mayor densidad 1.12 g/cm³.

3.3.4. Degradación del bioplástico

Tabla 22.

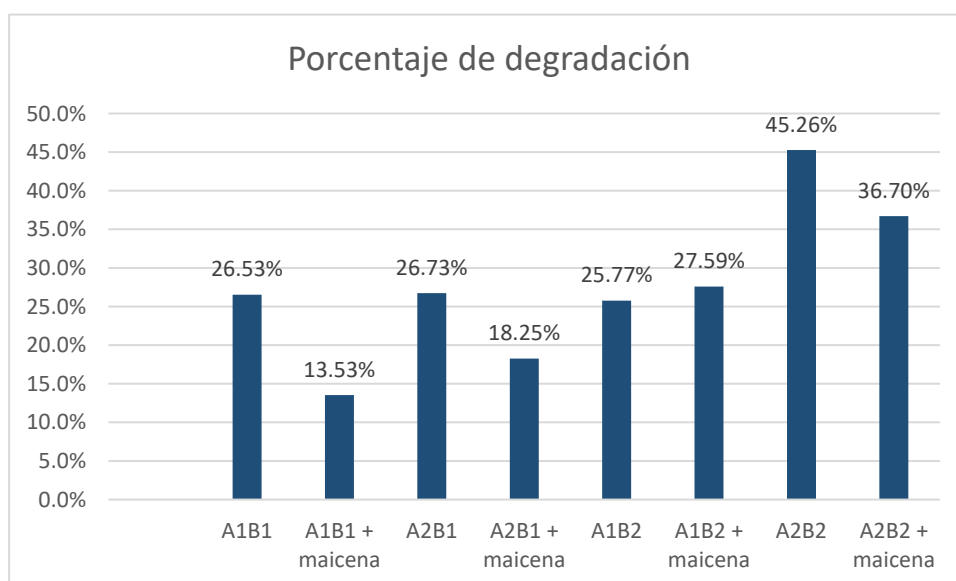
Degradación del bioplástico.

Tratamiento	Peso Inicial Bioplástico (g)	Peso Final Bioplástico (g)	Degradación (g)	Porcentaje de degradación
A1B1	9.8	7.2	2.6	26.53
A1B1 + maicena	17	14.7	2.3	13.53
A2B1	10.1	7.4	2.7	26.73
A2B1 + maicena	12.6	10.3	2.3	18.25
A1B2	9.7	7.2	2.5	25.77
A1B2 + maicena	11.6	8.4	3.2	27.59
A2B2	9.5	5.2	4.3	45.26
A2B2 + maicena	10.9	6.9	4.0	36.70

Nota: Porcentaje de degradación del bioplástico elaborado a partir de almidón de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano y mediante dos métodos de extracción.

Figura 5.

Porcentaje degradación del bioplástico.



Nota: Comparación del porcentaje de degradación del bioplástico elaborado a partir de almidón de dos diferentes variedades de residuos orgánicos de plátano y mediante dos métodos de extracción.

En las tablas 22 y figura 5 se muestra el porcentaje de degradación en cada tratamiento, donde la variedad bellaco mediante el método húmedo obtuvo un mayor porcentaje de degradación con 45.26% en 10 días; siendo así el tratamiento de variedad de plátano de seda con maicena mediante el método seco el que obtuvo menor porcentaje de degradación del bioplástico con 13.53 %.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusiones

Se realizó un estudio respecto a la obtención de almidón mediante métodos en seco y húmedo a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), de la variedad bellaco y seda, para su uso en bioplásticos biodegradables.

En el cual se puede observar que los resultados obtenidos en el estudio demuestran que la variedad Bellaco presenta un mayor contenido de humedad y cenizas en comparación con la variedad Seda (Tabla 6). Estos resultados coinciden con estudios de (Arifin et al., 2024; Calero & Lapo, 2021), quienes destacaron la influencia de la composición química en el rendimiento del almidón; el mayor porcentaje de humedad en la variedad Bellaco puede deberse a una estructura celular menos densa, mientras que la Seda, al tener menor contenido de agua, ofrece un tejido más compacto que favorece una extracción más efectiva de almidón; por otro lado, el método húmedo y variedad bellaco destacó en el rendimiento de almidón, obteniéndose porcentajes de hasta el 3.96%, superando al método seco y variedad seda que alcanzó 2.28% (Tabla 7); esto puede atribuirse a la eliminación más eficiente de agua en el método seco, lo que concentra el almidón; estos hallazgos son consistentes con (Cárdenas, 2018), quien también reportó un rendimiento superior con el método húmedo en cáscaras de banano; asimismo, las pruebas de ANOVA (Tabla 8) y Tukey (Tablas 9 y 10) muestran diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) en los rendimientos según la variedad y el método empleado, demostrando una influencia directa de estas variables en la eficiencia de extracción; a su vez, en cuanto a la calidad del almidón (contenido de cenizas y humedad), se observó un porcentaje promedio más bajo de humedad (13.307%) y más alto de ceniza (4.907%) en las muestras procesadas con el método seco, indicando un almidón más puro; esto es relevante para la

producción de bioplásticos, dado que un menor contenido de impurezas mejora la uniformidad del material final (Holguin, 2019); así también, la humedad de los bioplásticos varió entre 4.12 – 18.53% (Tabla 19) donde la variedad seda mediante el método seco obtuvo el menor porcentaje de humedad con 4.12% , alineándose con lo reportado por (Ledesma et al., 2021), quienes destacaron que un contenido de humedad adecuado mejora la elasticidad de los bioplásticos; asimismo, el método seco resultó en bioplásticos con menor humedad, lo que podría favorecer aplicaciones donde la resistencia a la absorción de agua sea crucial; además, en términos de espesor, los valores oscilaron entre 0.85 y 3.03 mm, sobresaliendo el método seco y variedad seda, mientras que la densidad se ubicó entre 0.93 y 1.12 g/cm³, resaltando el método seco y variedad seda, confirmando la uniformidad y compacidad del material; en ese sentido, comparado con estudios como el de Solórzano et al. (2023), los bioplásticos obtenidos presentan características equivalentes para usos en empaques ligeros, además, el porcentaje de degradación (Figura 5) revela que los bioplásticos degradan entre un 13.53% y 45.26% en condiciones controladas, con resultados superiores cuando se emplea el método seco y variedad seda. Por lo tanto, los resultados subrayan el potencial de la cáscara de plátano como materia prima para bioplásticos biodegradables, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de residuos orgánicos; asimismo, la superioridad del método seco y variedad seda destaca su viabilidad técnica y ambiental. Finalmente, existen limitaciones a considerar como la escala experimental que puede no reflejar completamente el rendimiento y la calidad en aplicaciones industriales; la variación en el contenido de almidón según el grado de madurez del plátano no fue considerada como una variable controlada y las pruebas de biodegradabilidad se limitaron a condiciones de laboratorio, por lo que su replicabilidad en ambientes abiertos no está asegurada.

Por otro lado, descripción fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca*), de la variedad bellaco y seda, presentada en la Tabla 6, pone en evidencia diferencias significativas en su composición química; estas diferencias son atribuibles principalmente a las características genéticas de cada variedad y a factores ambientales como el suelo, la altitud y las condiciones climáticas durante su cultivo (Waldo, 2015); asimismo, en términos de contenido de humedad, se observa que la variedad seda presenta un promedio mayor (75.12%), lo que sugiere una mayor retención de agua en su tejido celular en comparación con la variedad bellaco; esto coincide con estudios previos que señalan que variedades de mayor tamaño y estructura más densa suelen presentar mayor contenido de humedad (Dávila, 2014); esta propiedad es relevante, ya que impacta directamente en el rendimiento del almidón y su comportamiento durante la extracción (Cárdenas, 2018); además, el análisis del porcentaje de cenizas revela una composición mineral ligeramente superior en la variedad seda (0.86%); este resultado podría asociarse a la mayor concentración de minerales esenciales como potasio y magnesio, características comunes en plátanos cultivados en suelos ricos en nutrientes (Calero & Lapo, 2021); sin embargo, esta diferencia, aunque estadísticamente significativa, podría no influir considerablemente en los procesos de extracción del almidón y su posterior aplicación industrial; en cuanto al contenido de almidón, la variedad bellaco registra porcentajes más elevados (15.37%); este hallazgo está alineado con la literatura, que indica que las variedades de mayor tamaño y menor contenido de azúcares simples en estado inmaduro presentan mayores niveles de almidón (De Almeida et al., 2004); esto posiciona a la variedad bellaco como una alternativa más eficiente para procesos industriales donde el almidón es un insumo clave; en ese sentido, es importante señalar que la autenticidad de los datos obtenidos fue corroborada mediante protocolos estandarizados (AOAC 930.15

– determinación de humedad y AOAC 942.05 – determinación de cenizas) (Alsamahi et al., 2023; Kazanović et al., 2024); además, los resultados se encuentran dentro de los rangos reportados por otros autores, reforzando la validez de los mismos; por ejemplo, los valores de humedad y cenizas coinciden con los reportados por (Gastañadui, 2022) para el plátano cultivado en condiciones similares en la región; así también, en comparación con otros estudios, los resultados son consistentes con investigaciones como la de (Cárdenas, 2018), quien también reportó mayor rendimiento de almidón en el método seco para variedades similares; no obstante, cabe señalar que las variaciones en los porcentajes podrían explicarse por diferencias en los métodos de extracción y análisis empleados en cada caso; así también, desde una perspectiva práctica, la mayor concentración de almidón en la variedad bellaco subraya su potencial para aplicaciones en la industria de bioplásticos; sin embargo, las propiedades físicas derivadas de la humedad pueden requerir ajustes en los métodos de procesamiento, especialmente en etapas como el secado y tamizado. Finalmente, existen limitaciones a considerar como no incluir un análisis detallado de los compuestos secundarios (azúcares reductores o polifenoles), que podrían influir en la calidad del almidón extraído, los resultados están basados en una muestra limitada a una región específica, lo que restringe la generalización a otras áreas productoras de plátanos, y no se consideraron las condiciones de madurez de las frutas en el momento de la recolección, las cuales pueden impactar significativamente la composición química.

De acuerdo con los resultados, la comparación de los métodos húmedos y en seco para la obtención de almidón a partir de la cáscara de plátano de la variedad bellaco y seda, las Tablas de la 7 a la 18, evidencian las diferencias clave en rendimiento, humedad y pureza del almidón, además de la influencia del tipo de método y variedad empleada;

en términos de rendimiento, el método húmedo asociado a la variedad bellaco destaca con un porcentaje promedio de 3.94% (Tabla 7); este rendimiento mayor puede atribuirse a la mayor eficiencia del método húmedo para separar compuestos no almidonados, optimizando la extracción (Cárdenas, 2018); en contraste, el método seco asociado a la variedad seda produjo un menor rendimiento (2.21%), lo cual podría deberse a una menor capacidad de retención de agua en el tejido celular de esta variedad (Calero & Lapo, 2021); asimismo, el análisis estadístico (ANOVA, Tabla 8) muestra que tanto la variedad como el método tienen efectos significativos ($p < 0.05$) en el rendimiento del almidón. Las pruebas de Tukey (Tablas 9 y 10) confirman estas diferencias, estableciendo al método húmedo y la variedad bellaco como las combinaciones óptimas para maximizar la cantidad de almidón extraído; por otro lado, en cuanto a la humedad del almidón, los resultados muestran una tendencia decreciente con el uso del método seco, alcanzando valores mínimos de 13.31% (Tabla 14) y de la variedad seda 12.65% (Tabla 13); este nivel de humedad es consistente con estudios de (Holguin, 2019), quienes sugieren que un contenido menor de humedad en el almidón es ideal para mejorar su estabilidad durante el almacenamiento; además, el análisis de varianza (Tabla 12) refuerza la influencia significativa de ambos factores y sus interacciones; así también, la pureza del almidón, evaluada a través del porcentaje de cenizas, es mayor en muestras procesadas mediante el método seco y variedad seda 6.14%, asimismo, el menor contenido de cenizas registrado con el método húmedo y la variedad bellaco (2.45%, Tabla 15) indica un producto más refinado, lo cual es crucial para aplicaciones sensibles como la producción de bioplásticos (Meaño et al., 2014), este patrón está respaldado por la prueba Tukey (Tablas 17 y 18), que evidenció diferencias significativas entre las combinaciones. Desde una perspectiva práctica, la mayor pureza y menor humedad del almidón obtenido con la

variedad seda utilizando el método seco refuerzan su idoneidad para aplicaciones industriales que requieren alta calidad, como la fabricación de bioplásticos (Viana et al., 2022); sin embargo, el método húmedo continúa siendo valioso para procesos en los que se prioriza un mayor rendimiento. Finalmente, existen limitaciones a considerar como las muestras se limitaron a cáscaras de plátano cultivadas en una región específica, lo que restringe la generalización a otras zonas geográficas, no se incluyeron análisis detallados de compuestos secundarios (ej., lípidos y proteínas) que pueden influir en las propiedades finales del almidón y la variabilidad en las condiciones de madurez de las cáscaras no fue controlada completamente, lo que podría haber introducido variaciones en los resultados.

En cuanto a los resultados de la caracterización fisicoquímica de los bioplásticos obtenidos, la Tabla 19 muestra que los valores de humedad oscilan entre 4.12% para el tratamiento con método seco y variedad seda con maicena y 18.53% sin maicena; la baja humedad observada en el tratamiento con maicena se debe a su capacidad de interacción molecular, lo que reduce significativamente la retención de agua, validado por estudios como el de (Calero & Lapo, 2021), quienes reportaron similares disminuciones en bioplásticos con aditivos controlados; esto asegura autenticidad, considerando la replicación estadística aplicada en este estudio; asimismo, en comparación con otros estudios, (Martel, 2023) encontraron porcentajes de humedad de hasta 16.69% en bioplásticos de tusa de maíz, lo que se alinea con los tratamientos obtenidos en este trabajo; además, estos resultados confirman que el uso de almidón de cáscara de plátano con aditivos podría incluso mejorar las características de humedad respecto a otras materias primas; en ese sentido, la significación de estos datos radica en la viabilidad de su aplicación, especialmente en empaques donde se requiere evitar el desarrollo de microorganismos relacionados con altos niveles de humedad. Por otro lado, los espesores

del bioplástico, reportados en la Tabla 20, resultaron en rangos entre 0.85 mm, con el tratamiento de método húmedo y variedad bellaco, y 3.03 mm con el tratamiento de método seco y variedad seda; según estándares como NTE INEN 2542:2010 (INEN, 2010), valores superiores a 0.2 mm aseguran la capacidad del bioplástico para aplicaciones industriales básicas; los datos obtenidos son consistentes con los reportados por (Rojas, 2021), donde espesores de 0.8 mm se relacionaron con un mejor desempeño mecánico del biopolímero; esto autentica los valores medidos en este proyecto; asimismo, en comparación con estudios nacionales y regionales, (Calero & Lapo, 2021) observaron menores espesores (entre 0.21 mm y 0.85 mm) en bioplásticos de cáscara de plátano; este contraste destaca la influencia del método de secado y homogenización utilizado, mostrando que procesos controlados como los realizados en esta tesis permiten obtener estructuras más robustas; por lo tanto, la importancia de este hallazgo recae en la posibilidad de utilizar los bioplásticos más gruesos como empaques reforzados en sectores agroindustriales. Así también, las densidades promedio del bioplástico, reportados en la Tabla 21, resultaron entre 0.93 g/cm³, con el tratamiento método húmedo y variedad seda, y 1.12 g/cm³, con el tratamiento método seco y variedad seda; estos valores se encuentran dentro del rango adecuado para materiales biodegradables según parámetros establecidos en la norma ASTM D792-20 (Pathan & GB, 2023); por lo tanto, el rango obtenido valida la reproducibilidad del diseño experimental aplicado, asegurando autenticidad de los resultados; asimismo, estudios como el de (Sernaqué et al., 2020), quienes reportaron densidades de hasta 1.09 g/cm³ en bioplásticos a base de mango y plátano, sugieren que las condiciones de elaboración influyen notablemente en la compactación y distribución interna de los polímeros; en este caso, el método seco contribuyó a una menor densidad debido a la eliminación parcial de aglomerantes

secundarios; en ese sentido, la significación de estos resultados radica en la adaptabilidad de este bioplástico para fabricar láminas delgadas con propiedades intermedias de permeabilidad al agua y rigidez. Finalmente, la degradación promedio del bioplástico, reportado en la Tabla 22, resultaron en el rango de 13.53% con el tratamiento método húmedo y variedad bellaco con adición de maicena, y 45.26%, con el tratamiento método en seco y variedad seda; esto corrobora el efecto de los aditivos en la velocidad de biodegradación, ya que sustancias como la maicena incrementan la reticulación de las cadenas poliméricas, lo que dificulta la descomposición natural; por lo tanto, este resultado está alineado con los principios de biodegradabilidad propuestos por la norma UNE-EN 13432 (Chávez-Segura & Vejarano, 2021), que establecen requisitos mínimos para plásticos compostables; en ese sentido, estudios similares, como los realizados por (Huzaisham & Marsi, 2020; Solórzano et al., 2023), hallaron degradaciones de 31.92% en bioplásticos de tusa de maíz, resultados inferiores a los obtenidos en este trabajo para ciertas formulaciones; esto demuestra que el almidón de cáscara de plátano tiene ventajas competitivas en condiciones ideales; por lo tanto, la significación de este hallazgo radica en el desarrollo de alternativas ecológicas que contribuyen a reducir el impacto ambiental, cumpliendo parcialmente con los principios de la economía circular. Por último, existen limitaciones a considerar como la humedad fue analizada bajo condiciones controladas de laboratorio, lo que podría diferir del comportamiento del bioplástico en condiciones reales, limitando las implicancias prácticas directas de los valores obtenidos; las diferencias de espesor podrían deberse a la falta de homogeneidad en la distribución de la mezcla durante la fabricación, lo que introduce variabilidad en las propiedades, lo cual, limita la extrapolación de los resultados a grandes volúmenes de producción; no se evaluaron las implicancias de densidades mayores en términos de resistencia mecánica o

interacción ambiental, lo que restringe una interpretación completa de la eficiencia del material; y, el tiempo de evaluación de degradabilidad (10 días) es limitado en comparación con escalas temporales reales. Además, no se simularon distintas condiciones de suelo, como aerobias o anaerobias, lo que restringe el análisis integral de la biodegradabilidad.

4.2. Conclusiones

En esta investigación se evaluó la obtención de almidón mediante los métodos en seco y húmedo a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*), de la variedad bellaco y seda, para su uso en bioplásticos biodegradables. Al respecto, se demostró que los métodos en seco y húmedo y las variedades Bellaco y Seda influye significativamente en las propiedades fisicoquímicas del bioplástico biodegradable obtenido; asimismo, el método húmedo y variedad bellaco evidenció un mayor rendimiento de almidón (3.96%) mientras que el método seco y variedad seda evidenció una mejor calidad de almidón expresado en menor contenido de humedad, 13.307%, y mayor contenido de ceniza, 4.907%, y del bioplástico, caracterizado por un menor contenido de humedad, 4.12%, así como una mayor densidad, 1.12 g/cm³, espesor, 3.03 mm y biodegradación, 45.26%, haciéndolo idóneo para aplicaciones prácticas; por lo tanto, estos resultados respaldan la viabilidad del uso de cáscara de plátano como una solución innovadora y sostenible frente a los plásticos convencionales.

Con respecto al primer objetivo específico, se describió la composición fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca*), de la variedad bellaco y seda, lo cual demuestra que estas presentan diferencias significativas en su contenido de humedad, cenizas y almidón; en ese sentido, la variedad bellaco destaca por su mayor contenido de almidón, posicionándola como una opción idónea para procesos industriales, mientras

que la variedad seda presenta una mayor proporción de minerales; estos resultados reafirman la importancia de seleccionar adecuadamente la variedad en función del objetivo de aprovechamiento, siendo la variedad bellaco particularmente ventajosa para la obtención de biopolímeros biodegradables; sin embargo, dependerá de los métodos y tecnologías de extracción y elaboración.

En cuanto al segundo objetivo específico, se compararon los métodos húmedos y en seco para la obtención de almidón a partir de la cáscara de plátano de la variedad bellaco y seda, donde se demostró que el método húmedo y variedad bellaco maximiza el rendimiento, 3.94%; mientras que el método seco y variedad seda favorece la pureza del almidón con una menor humedad 11.79% y mayor contenido de ceniza 6.14%; asimismo, la variedad bellaco resalta por su mayor rendimiento y menor contenido de cenizas, lo que la posiciona como la mejor opción para procesos industriales; en ese sentido, estos hallazgos reafirman la importancia de seleccionar la combinación adecuada de método y variedad según el propósito de la aplicación, contribuyendo al aprovechamiento sostenible de este subproducto agrícola.

De conformidad con el tercer objetivo específico, se caracterizó fisicoquímicamente los bioplásticos obtenidos, confirmando su viabilidad técnica para aplicaciones específicas, ya que los espesores registrados entre 0.85 mm (método húmedo y variedad bellaco) y 3.03 mm (método seco y variedad seda), superan el mínimo establecido por la norma NTE INEN 2 542 (≥ 0.2 mm), asegurando un material adecuado para usos prácticos, mientras que los valores de degradación alcanzaron hasta un 45.26% en el tratamiento método seco y variedad seda, ratificando su potencial en entornos donde se requiera biodegradación acelerada; además, los métodos de procesamiento tienen un impacto significativo en propiedades clave como la humedad y

la densidad, ya que en términos de humedad, los tratamientos bajo método seco, especialmente con la variedad seda y adición de maicena, alcanzaron valores bajos de 4.12%, ideales para aplicaciones en ambientes con alta exposición a humedad ambiental, mientras que las densidades oscilaron entre 0.93 g/cm³ (método húmedo y variedad seda) y 1.12 g/cm³ (método seco y variedad seda), favoreciendo propiedades intermedias ideales para empaques flexibles; por otro lado, la adición de maicena influyó positivamente en la reducción de humedad y la mejora de propiedades estructurales, pues los tratamientos con maicena, como método seco y variedad seda con adición de maicena, presentaron la menor humedad (4.12%) y densidades más estables (1.11 g/cm³), lo que sugiere que su inclusión aumenta la estabilidad dimensional del material, haciéndolo apto para empaques más resistentes a la degradación por agua.

REFERENCIAS

- Alsamahi, A. S. K. H., Alhmoudi, H. A. A., Mirza, S. B., & Ridouane, F. L. (2023). Comprehensive analysis of nutritional composition, mineral content, antimicrobial activity, and theoretical evaluation of phytochemicals in henna (*lawsonia inermis*) from the Fujairah, United Arab Emirates. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(7), 2614-2630. Scopus. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.2>
- Arifin, I. A., Marsi, N., Rus, A. Z. M., Jamal, I. I., & Said, A. M. (2024). Biodegradable, Physical and Mechanical Characteristics of Banana Peel (*Musa Paradisiaca*) for Bio-plastics Polymer Composites. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 115(1), 1-17. Scopus. <https://doi.org/10.37934/aram.115.1.117>
- Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering & Science*, 58(12), 2119-2132. <https://doi.org/10.1002/pen.24855>
- Bautista-Beauchesne, N., & Garzon, C. (2019). Conceptualizing corruption prevention: A systematic literature review. *Journal of Financial Crime*, 26(3), 719-745. Scopus. <https://doi.org/10.1108/JFC-10-2018-0106>
- Bayen, S., Elliott, C., Arlorio, M., Ballin, N. Z., Birse, N., Brockmeyer, J., Chahal, S., Corradini, M. G., Hanner, R., Hann, S., Laursen, K. H., Mihailova, A., Steininger-Mairinger, T., Suman, M., Tian, L., van Ruth, S., & Xia, J. (2024). Towards a harmonized approach for food authenticity marker validation and accreditation. *Trends in Food Science and Technology*, 149. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104550>

- Becerra, B., Rivera, J., Vargas, J., Ramírez, R., & Navarro, F. (2014). Procesos de la elaboración del papel para la producción del cartón corrugado. *1ª ed. San Salvador*, 196.
- Bibi, A., Lin, M., Brailovskaia, J., & Margraf, J. (2024). Mental health of university students of Pakistan and Germany and the right to health care. *International Journal of Human Rights in Healthcare*, 17(4), 449-462. Scopus. <https://doi.org/10.1108/IJHRH-05-2022-0040>
- Blasco, G., & Gómez, F. (2014). Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp.*). *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 14(2).
- Calero, M., & Lapo, E. (2021). *Diseño de una línea de producción de envases biodegradables a partir de bioplástico, aprovechando residuos del plátano (musa paradisiaca) con aplicación para el uso de empaquetado de alimentos* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6123>
- Cali, M. P. (2016). *Elaboración y evaluación nutricional de galletas a base de harina de trigo (*triticum aestivum*) con semilla de chía (*salvia hispánica*)* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5038/1/56T00639%20UDCTFC.pdf>
- Carbajal, S. (2019). Obtención de empaques biodegradables a partir de colágeno y almidón. *Αγαη*, 8(5), 55.
- Cárdenas, M. (2018). *Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero* [Universidad Politécnica

- Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>
- Castells, P. (2009). *El almidón*.
<https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/biocarburantes-489/el-almidn-1136>.
- Castillo, R., Escobar, E., Fernández, D., Gutiérrez, R., Morcillo, J., Núñez, N., & Peñaloza, S. (2015). Bioplástico a Base de la Cáscara del Plátano. *Revista de Iniciación Científica*, 1(1), 34-37.
- Chanprateep, S. (2010). Current trends in biodegradable polyhydroxyalkanoates. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110(6), 621-632.
<https://doi.org/10.1016/J.JBIOOSC.2010.07.014>
- Charro, M. M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata* [Universidad Central del Ecuador].
<https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Chávez-Segura, G., & Vejarano, R. (2021). Biodegradability assessment of bioplastics from oca (Tuberous oxalis) starch using digital imaging. En Larrondo Petrie M.M., Zapata Rivera L.F., & Aranzazu-Suescun C. (Eds.), *Proc. LACCEI int. Multi-conf. Eng. Educ. Technol.* (Vols. 2021-July). Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions; Scopus.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.202>
- Coppola, G., Gaudio, M. T., & Chakraborty, S. (2021). *Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment | Earth Systems and Environment*. 5, 231-251.

Dammak, M., Fourati, Y., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Mutjé, P., & Boufi, S. (2020).

Blends of PBAT with plasticized starch for packaging applications: Mechanical properties, rheological behaviour and biodegradability. *Industrial Crops and Products*, 144.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669019310714>

Dávila, F. V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.17162/riu.v3i2.517>

De Almeida, A., Ruiz, J., López, N., & Pettinari, J. (2004). Bioplásticos: Una alternativa ecológica. *Revista Química Viva*, 3(3), 122-133.

De Martin, S., & Furlan, A. L. (2025). *Wisdom Discourse in the Ancient World* (p. 225). Scopus. <https://doi.org/10.4324/9781003485094>

DIDITTT - ITP. (2023). *Aprovechamiento de subproductos de cultivo de plátano: Fibra y celulosa vegetal*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5304100/4760251-boletin-vei-ec001-2023-aprovechamiento-de-subproductos-del-cultivo-de-platano.pdf>

Edayadulla, N., Divakaran, D., Chandraraj, S. S., Sriariyanun, M., Suyambulingam, I., Sanjay, M. R., & Siengchin, S. (2024). Suitability study of novel Bio-plasticizer from Agave sisalana leaf for biofilm applications: A biomass to biomaterial approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(16), 19675-19691. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04172-2>

Ellen Macarthur Foundation. (2016). *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-new-plastics-economy-rethinking-the-future-of-plastics>

- European Bioplastics. (2023). *Actualización del desarrollo del mercado de bioplásticos 2023*. <https://www.european-bioplastics.org/market/>
- Fernández, S. (2020). *DISEÑO DE EXPERIMENTOS: DISEÑO FACTORIAL*. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Ba_o_Sheila.pdf?sequence=1#:~:text=Dise%C3%B1os%20factoriales,los%20niveles%20de%20los%20factores.
- Ferreira, F., Cividanes, L., Gouveia, R., & Lona, L. (2017). *An overview on properties and applications of poly(butylene adipate-co-terephthalate)–PBAT based composites*. 59, E7-E15. <https://doi.org/10.1002/pen.24770>
- Funabashi, M., Ninomiya, F., & Kunioka, M. (2009). Biodegradability Evaluation of Polymers by ISO 14855-2. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(8), 3635-3654.
- García, A. V. (2015). *Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz*. <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>
- Garlotta, D. (2001). A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Journal of Polymers and the Environment* 2001 9:2, 9(2), 63-84. <https://doi.org/10.1023/A:1020200822435>
- Garrido, R. (2020). *Elaboración de un bioplástico a partir de la palta (*Persea americana*) con cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) y almidón de papa (*Solanum tuberosum*), con su efecto de elasticidad*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_8a723511ede9520520edd5529f4f0006

- Gastañadui, W. (2022). *Efecto de niveles de fertilización nitrogenada en el crecimiento y producción de cormos de Plátano (*Musa paradisiaca*). Var. Hartón en Atalaya—Ucayali* [Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía]. <https://api-repositorio.unia.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8b43e58d-cf3d-4256-997e-58232548bfd3/content>
- Ghimire, S., Flury, M., Scheenstra, E. J., & Miles, C. A. (2020). Sampling and degradation of biodegradable plastic and paper mulches in field after tillage incorporation. *Science of The Total Environment*, 703, 135577. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135577>
- Gobierno del Perú. (2023a). *Esto debes saber sobre los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos aprovechables*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/763484-esto-debes-saber-sobre-los-residuos-solidos-organicos-e-inorganicos-aprovechables>
- Gobierno del Perú. (2023b). *Inacal aprueba requisitos de calidad del plátano para mejorar su comercialización y consumo*. <https://www.gob.pe/institucion/inacal/noticias/848250-inacal-aprueba-requisitos-de-calidad-del-platano-para-mejorar-su-comercializacion-y-consumo>
- González, B. (2020). *Bioplásticos, una alternativa sostenible*. <https://tecnosolucionescr.net/blog/230-bioplasticos-una-alternativa-sostenible#:~:text=Los%20pl%C3%A1sticos%2C%20gracias%20a%20la,de%20autom%C3%B3viles%20y%20las%20telecomunicaciones>.
- Guan, J., & Hanna, M. A. (2004). Extruding Foams from Corn Starch Acetate and Native Corn Starch. *Biomacromolecules*, 5(6), 2329-2339. <https://doi.org/10.1021/bm049512m>

- Hernández-Uribe, J. P., Rodríguez-Ambriz, S. L., & Bello-Pérez, L. A. (2008). Obtención de jarabe fructosado a partir de almidón de plátano (*musa paradisiaca* l.). Caracterización parcial. *Interciencia*, 33(5), 372-376.
- Holguin, J. S. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Humpiri, Y. (2018). *Reutilización de residuos de la cáscara de banano (*musa cavendish*) y plátano (*musa paradisiaca*) para la obtención de bioplásticos* [Universidad Nacional del Altiplano de Puno]. https://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/14887/Humpiri_Mamani_Yulay_Naisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huzaisham, N. A., & Marsi, N. (2020). Utilization of banana (*Musa paradisiaca*) peel as bioplastic for planting bag application. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 11(4), 108-118. Scopus. <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.4.2020.013>
- Ilele, F. M., Nie, W., Akanyange, S. N., Qifan, T., Qiu, B., & Liu, F. (2024). Cassava Starch-Based Copolymer Gel with Surfactant: A Sustainable, High-Performance Solution for Environmentally Friendly Coal-Dust Suppression in Industrial Mining. *Journal of Environmental Engineering (United States)*, 150(12). Scopus. <https://doi.org/10.1061/JOEEDU.EEENG-7663>
- INEN. (2010). *NTE 2 542 Láminas plásticas. Requisitos.*

- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, Chris, Siegler, T., Perryman, Miriam, Andrady, Anthony, Narayan, Ramani, & Lavender Law, Kara. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean | *Science*. *Science*, 347, 768-771.
- Jem, J., & Tan, B. (2020). The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(2), 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.002>
- Jiménez, M., Rubio, J. F., Perez, V., Guerrero, A., & Romero, A. (2020). Comparison between pea and soy protein-based bioplastics obtained by injection molding. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(20). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.50412>
- Juthi, Z. T., Jabeen, M., Islam, M. R., Biswas, P., & Ahmed, S. (2024). Biopolymer-based coating materials for antiviral and antifungal applications: Recent advances in formulations and characterization. *Chemical Engineering Journal*, 498. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.155000>
- Kazanović, R., Maksimović, S., Stanković, M., Ibišević, M., Tadić, V., & Nešić, I. (2024). Comparative Characteristics of Plum Seed Oil Obtained by Supercritical and Soxhlet Extraction. *Acta Facultatis Medicae Naissensis*, 41(3), 429-438. Scopus. <https://doi.org/10.5937/afmnai41-47083>
- Knutson, C., & Grove, M. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 71(5), 469-471.
- Kothekar, S., Shukla, S., & Suneetha, V. (2018). A Brief Study on Starch Based Bioplastics Produced From Staple Food Items. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 11(11), 4878-4883. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2018.00888.0>

- Labet, M., & Thielemans, W. (2009). Synthesis of polycaprolactone: A review. *Chemical Society Reviews*, 38(12), 3484-3504. <https://doi.org/10.1039/B820162P>
- Ledesma, A. A., Dalgo, V. M., Flores, L. M., & Chango, G. C. (2021). Bioplásticos de almidón de maíz y quinua para uso como envolturas alimenticias biodegradables. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2080>
- Liu, S., Guo, J., Liu, X., Yang, R., Wang, H., Sun, Y., Chen, B., & Dong, R. (2023). Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: A pilot prospective study. *Science of The Total Environment*, 854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158699>
- Madhavan Nampoothiri, K., Nair, N. R., & John, R. P. (2010). An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, 101(22), 8493-8501. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2010.05.092>
- Martel, G. A. (2023). *Obtención de bioplásticos a partir de cáscara de papa (Solanum tuberosum) y plátano (Musa paradisiaca) de residuos de pollerías y tacacherías de la ciudad de Huánuco*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Meaño, N., Ciarfella, A., & Dorta, A. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*, 26(2), 182-188.
- Mehta, N., Cunningham, E., Roy, D., Cathcart, A., Dempster, M., Berry, E., & Smyth, B. (2021). Exploring perceptions of environmental professionals, plastic processors, students and consumers of bio-based plastics: Informing the development of the sector. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 574-587.
- Meza, P. N. (2016). *Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de*

laboratorio [Universidad Nacional Agraria la Molina].

<https://hdl.handle.net/20.500.12996/2016>

MIDAGRI. (s. f.). *Codiciones Agroclimaticas del Cultivo de Plátano.*

https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/biblioteca-virtual/estados-fenologicos/platano_condiciones_agroclimaticas.pdf

National Solid Waste Management Department Ministry Of Housing And Local Government Malaysia. (2011). *A study on plastic management in Peninsular Malaysia.*

<https://jpspn.kpkt.gov.my/jpspn/resources/Images%20JPSPN/Sumber%20Rujukan/Kajian/JPSPN-Plastic-Study-Final-Report-GESB-Softcopy-English-Ed2-1.pdf>

ONU. (2018). *De vuelta al futuro: Los científicos acuden a la naturaleza para buscar alternativas al plástico.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/de-vuelta-al-futuro-los-cientificos-acuden-la-naturaleza-para>

ONU. (2023). *Todo lo que necesitas saber sobre la contaminación por plásticos.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-contaminacion-por-plasticos#:~:text=La%20humanidad%20produce%20m%C3%A1s%20de,invaden%20la%20cadena%20alimentaria%20humana.>

Ortiz, M. (2019). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*) con aplicación potencial en envases* [Universidad El Bosque].

<https://repositorio.unbosque.edu.co/items/34b6ca0f-ce0b-4ab5-a440-c75e1cad7556>

- Parlamento Europeo. (2018). *Reciclaje y residuos de plástico en la UE: Hechos y cifras*.
<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20181212STO21610/reciclaje-y-residuos-de-plastico-en-la-ue-hechos-y-cifras>
- Pathan, Y., & GB, V. K. (2023). Potential of Agave angustifolia marginata for composite and textile applications – A new source of natural fibre. *Industrial Crops and Products*, 203. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117213>
- Pluas, R. J., Martinez, C. A., & Zambrano, Y. E. (2020). Los bioplásticos: Para una alternativa ecológica. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 5(10), 274-282.
- Quiñones, S. R. (2017). *Elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de camote como alternativa para aprovechar los residuos orgánicos, Callao, 2017* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/124448>
- Quispe, R. (2022). *Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano musa paradisiaca para la elaboración de bioplástico en El Collao—Ilave, 2021*. [Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/478>
- Rahman, M. H., & Bhoi, P. R. (2021). *An overview of non-biodegradable bioplastics*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621004388>
- Rajput, A., Pingale, P., Bagad, P., Patil, R., & Musale, S. (2024). Biodegradable polymers in sustained and controlled drug delivery. En *Handbook of Biodegradable Polymers: Applications in Biomedical Sciences, Industry, and the Environment* (pp. 67-104). Scopus.

- Riera, M. A., & Palma, R. (2018). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
- Rojas, G. A. (2021). *Análisis preliminar en procesos de almidón termoplástico para la generación de bioplástico a partir de tres semillas aguacate, mango y tamarindo* [Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/5008>
- Rosenboom, J.-G., Langer, R., & Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy. *Nature Reviews Materials*, 7, 117-137.
- Ruíz, C. (2022). *Obtención de bioplástico a partir de la extracción de almidón de los residuos de papa capiro* [Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/9059>
- Sáenz-Galindo, A., Ramos-González, R., Arredondo-Valdés, R., García-García, J. D., Sepúlveda-Torre, L., Martínez-Moreno, E., & Dávila-Medina, M. (2024). Recent advances in biodegradable polymer-based nanocomposites for energy and environmental applications. En *Application of Engineering Principles and Practices In Biotechnology* (pp. 169-190). Scopus.
- Salgado, D. C. (2019). *Muestra probabilística y no probabilística*. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108928/secme-10911_1.pdf?sequence=
- Samaniego, J. M. (2019). *Biopolímeros: Una alternativa a los plásticos derivados del petróleo*. <https://culturacientifica.utpl.edu.ec/biopolimeros-una-alternativa-a-los-plasticos-derivados-del-petroleo/>

modeling/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-
method/

Thomeer, M. B., Brantley, M., & Hernandez, E. M. (2024). Using mixed methods approaches to study families and relationships. *Journal of Marriage and Family*, 86(5), 1374-1392. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jomf.12974>

USAID. (2020). *Estudio de caso: Los desechos plásticos en el mar y la gestión de residuos sólidos en Perú*. https://urban-links.org/wp-content/uploads/Peru_Marine_Plastics_CS_Spanish.pdf

Uysal, I., Cagdas, E., Realini, C., Çakmak, H., Öz, E., Espinosa Víctor, E., Morcillo, R., Oz, F., Nurmi, M., Cerqueira, M., Perera, K., Ayhan, Z., Arserim-Uçar, D., Kanakaki, C., Chrysochou, P., Marcos, B., & Corredig, M. (2024). Bioplastic packaging for fresh meat and fish: Current status and future direction on mitigating food and packaging waste. *Trends in Food Science & Technology*, 152(6), 104660.

Valle, C., Voss, M., Calcio Gaudino, E., Forte, C., Cravotto, G., & Tabasso, S. (2024). Harnessing Agri-Food Waste as a Source of Biopolymers for Agriculture. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(10). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app14104089>

Viana, E. B. M., Leite, N. O., Ribeiro, J. S., Almeida, M. F., Souza, C. C. E., Resende, J. V., Santos, L. S., & Veloso, C. M. (2022). Development of starch-based bioplastics of green plantain banana (*Musa paradisiaca* L.) modified with heat-moisture treatment (HMT). *Food Packaging and Shelf Life*, 31. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100776>

Waldo, S. (2015). *Optimización de Parámetros Tecnológicos para la Elaboración de Bebida Instantánea Liofilizada (Panetela) a Base de Plátano verde (Musa*

Paradisiaca L.) y *Leche* [Universidad Nacional de San Martín].

https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/572/1/TFAI_19.pdf

Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7-17.

Xu, J., & Guo, B. H. (2010). Poly(butylene succinate) and its copolymers: Research, development and industrialization. *Biotechnology Journal*, 5(11), 1149-1163.
<https://doi.org/10.1002/BIOT.201000136>

Zhang, W., Khan, A., Ezati, P., Priyadarshi, R., Sani, M. A., Rathod, N. B., Goksen, G., & Rhim, J.-W. (2024). Advances in sustainable food packaging applications of chitosan/polyvinyl alcohol blend films. *Food Chemistry*, 443. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138506>

Zhao, Xianhui, Wang, Ying, Chen, Xiaowen, Yu, Xinbin, Li, Wei, Zhang, Shuyang, Meng, Xianzhi, Zhao, Zhi Min, Dong, Tao, Anderson, Alexander, Aiyedun, Antony, Li, Yanfei, Webb, Erin, Wu, Zili, Kunc, Vlastimil, Ragauskas, Arthur, Ozcan, Soydan, & Zhu, Hongli. (2023). *Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for food packaging*. 6(1), 97-127.

ANEXOS

Anexo N° 1 – Extracción de almidón mediante método seco.

Variedad Bellaco

Variedad Seda

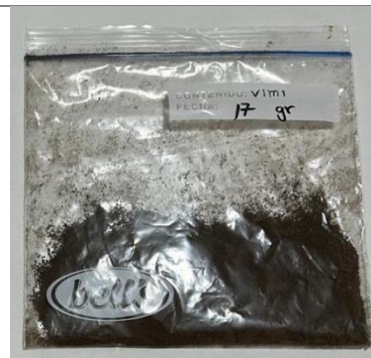
Cáscaras previamente lavadas y pesadas antes de introducirlas en el horno.



Cáscaras después de salir del horno



Almidón Extraído



Anexo N° 2 – Extracción de almidón mediante método húmedo.

Variedad Bellaco

Variedad Seda

Cáscaras previamente lavadas y pesadas antes de introducirlas en el horno.



Molienda de cáscaras



Almidón Post sedimentación y previo a ser secado el horno



Almidón extraído



Anexo N° 3 – Elaboración del bioplástico.

1. Pesado de las muestras de almidón.



2. Adición y mezcla de todos los componentes.



3. Homogeneización de las muestras.



4. Secado en Horno.



5. Bioplásticos.

