

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES



ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE
CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) DEL MERCADO
CENTRAL DEL CALLAO, 2024

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

JOSE AYRTON FERNANDEZ PICOY

KEVIN AYRTON LAVADO TORRES

ASESOR: CARLOS ODORICO TOME RAMOS

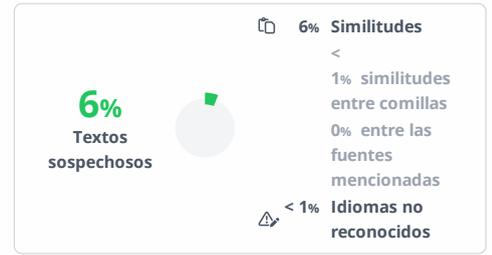
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL AMBIENTE

Callao, 2024

PERÚ



1A; FERNANDEZ PICOY-Jose Ayrton; LAVADO TORRES-Kevin Ayrton; TESIS CON CTT.



Nombre del documento: 1A; FERNANDEZ PICOY-Jose Ayrton; LAVADO TORRES-Kevin Ayrton; TESIS CON CTT..pdf ID del documento: a56d0148828d98c487f41df820703354da3a3fd0 Tamaño del documento original: 3,61 MB	Depositante: FIARN PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION Fecha de depósito: 22/7/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 22/7/2024	Número de palabras: 16.964 Número de caracteres: 110.037
--	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	alicia.concytec.gob.pe Descripción: Elaboración de bioplásticos con residuos org... 9 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (167 palabras)
2	repositorio.ucv.edu.pe Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a bas... 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (152 palabras)
3	repositorio.upsc.edu.pe 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (124 palabras)
4	www.academia.edu (PDF) Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano... 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (140 palabras)
5	alicia.concytec.gob.pe Descripción: Grado de Biodegradabilidad del Bioplástico E... 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (92 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.ucv.edu.pe Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano Musa par... 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
2	dspace.esPOCH.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	repositorio.esPAM.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	repositorio.unac.edu.pe	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	renati.sunedu.gob.pe Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Reutilizaci... 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

IX CICLO TALLER DE TESIS



ANEXO 3

ACTA N° 005-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 198 ACTA N°005-2024 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 10 días del mes de agosto del año 2024, siendo las 10:43 horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales** de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la **Universidad Nacional del Callao**:

Dr.	Eduardo Valdemar Trujillo Flores	: Presidente
MSc.	María Antonieta Gutiérrez Díaz	: Secretaria
Dr.	Jorge Quintanilla Alarcón	: Vocal
Mtro.	Carlos Odorico Tome Ramos	: Asesor

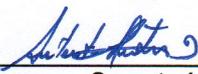
Con el quórum reglamentario de ley, de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, y habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, se dio inicio al acto de sustentación de la tesis, de los bachilleres Jose Ayrtón Fernandez Picoy y Kevin Ayrtón Lavado Torres, titulada: "ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera presencial en el auditorio de la Facultad;

Luego de la exposición, la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, el jurado acordó: Dar por **APROBADO** la presente tesis, con la escala de calificación cualitativa **BUENO** y calificación cuantitativa **QUINCE (15)**, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio de 2023.

Se dio por cerrada la Sesión a las 11:14 horas del día sábado 10 de agosto del año en curso.



Presidente
Dr. Eduardo Valdemar Trujillo Flores



Secretaria
MSc. María Antonieta Gutiérrez Díaz



Vocal
Dr. Jorge Quintanilla Alarcón



Asesor
Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR

PRESIDENTE: DR. EDUARDO VALDEMAR TRUJILLO FLORES

SECRETARIO: MSC. MARÍA ANTONIETA GUTIÉRREZ DÍAZ

VOCAL: DR. JORGE QUINTANILLA ALARCÓN

ASESOR: MTRO. CARLOS ODORICO TOME RAMOS

Nº DE LIBRO: 001

Nº DE FOLIO: 198

Nº DE ACTA: 005

FECHA DE APROBACION DE TESIS: 10 DE AGOSTO, 2024

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO:

ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024

AUTORES:

FERNANDEZ PICOY, JOSE AYRTON CODIGO ORCID 0000-0002-0074-6158
DNI 76372790

LAVADO TORRES, KEVIN AYRTON CODIGO ORCID 0000-0001-8261-1291
DNI 72084159

ASESOR:

TOME RAMOS CARLOS ODORICO CODIGO ORCID 0000-0003-4528-162X
DNI 07685630

LUGAR DE EJECUCIÓN:

LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.

UNIDAD DE ANÁLISIS:

CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

APLICADA / CUANTITATIVO / EXPERIMENTAL

TEMA OCDE

1.05.08 CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

DEDICATORIA

A Dios por guiarme, darme perseverancia para terminar mi carrera, fortaleciéndome cada día y permitirme llegar a este momento.

A mis padres Víctor Fernandez, Johana Picoy y a mi hermana Fabiola que me apoyaron en los momentos malos y buenos durante la elaboración de la tesis, por ser fuente de inspiración y creer siempre en mí.

A mis familiares y amigos, quienes me brindaron soporte con palabras de aliento.

Jose F.P.

A Dios por iluminarme en este gran pasaje de la vida llamada tesis, a mis motores y ejemplos a seguir que son mis padres Milagros Torres y Luis Lavado, por sus consejos y apoyo; a mi hermanito Gianmarco por su paciencia en mis ocurrencias sobre mi investigación.

A mis abuelos Don Jovino, Doña Julia y Doña Lucila que siempre me cubren con su manto eterno desde el cielo y Don Ernesto que me impulsa a ser mejor cada día; a mis mascotas que fueron mis compañeros de vigilia durante mi etapa universitaria.

A mis familiares y amigos que creen en mí y lo demuestran con sus acciones.

Kevin Lavado

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por su protección y por darnos la oportunidad de alcanzar este logro.

A nuestras familias, por su esfuerzo, confianza, apoyo y motivación en todo momento.

Agradecemos a la Universidad Nacional del Callao por brindarnos la oportunidad de aprender y ser parte de su reconocida casa de estudios. Especialmente, agradecemos a la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales por su invaluable contribución a nuestra preparación profesional.

Queremos agradecer a nuestro asesor Mtro. Carlos Odorico Tome Ramos por su orientación, apoyo y motivación durante el desarrollo de la investigación, así como a los profesores y amigos que nos respaldaron para hacer posible este presente estudio y acompañaron en nuestra etapa universitaria.

Al personal técnico y administrativo del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, por proporcionarnos el espacio y las facilidades para llevar a cabo la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN	17
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Descripción de la realidad problemática	19
1.2. Formulación de problema	21
1.3. Objetivos	22
1.4. Justificación	22
1.5. Delimitantes de la investigación	23
II. MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes	25
2.2. Bases Teóricas	31
2.3. Marco Conceptual	41
2.4. Definición de términos básicos	43
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
3.1. Hipótesis	46
3.1.1. Hipótesis General	46
3.1.2. Hipótesis Específica	46
3.1.3. Operacionalización de las variables	47
IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48
4.1. Diseño Metodológico	48
4.2. Método de investigación	50
4.3. Población y Muestra	59
4.4. Lugar de estudio	60

4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	61
4.6.	Análisis y procesamiento de datos	62
4.7.	Aspectos éticos en investigación	62
V.	RESULTADOS	63
5.1.	Resultados Descriptivos.....	63
5.2.	Resultados Inferenciales.....	76
5.3.	Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis	85
VI.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
6.1.	Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	95
6.2.	Contrastación de los resultados con otros estudios similares	97
6.3.	Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	98
VII.	CONCLUSIONES.....	99
VIII.	RECOMENDACIONES.....	100
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de la cáscara de plátano verde.....	32
Tabla 2 Composición nutricional de la cáscara de limón	35
Tabla 3 Densidad, conductividad térmica y eléctrica de diferentes materiales .	39
Tabla 4 Matriz de Operacionalización de Variables	47
Tabla 5 Tratamiento para la elaboración del Bioplástico	50
Tabla 6 Técnicas para analizar datos	61
Tabla 7 Técnica e Instrumento de recolección de datos	61
Tabla 8 Resultados experimentales de las propiedades físico-mecánicas y biodegradación	63
Tabla 9 Resultados Descriptivos de las propiedades físico-mecánicas y biodegradación	64
Tabla 10 Resultados Descriptivos de la Biodegradación de Bioplástico.....	74
Tabla 11 Optimización de las propiedades del Bioplástico.....	76
Tabla 12 Análisis de Varianza de Tracción de rotura	77
Tabla 13 Análisis de Varianza de Elongación	80
Tabla 14 Análisis de Varianza de Biodegradación	83
Tabla 15 Matriz de consistencia.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la amilosa.....	33
Figura 2 Estructura de amilopectina.....	34
Figura 3 Bioplástico.....	36
Figura 4 Bioplásticos representativos.....	38
Figura 5 Diseño Experimental.....	49
Figura 6 Recolección de la cáscara de plátano verde.....	52
Figura 7 Procesos para la obtención del almidón.....	52
Figura 8 Extracción del floema de la cáscara de plátano verde.....	53
Figura 9 Aplicación de la solución de anti pardeamiento y secado de la cáscara de plátano verde.....	53
Figura 10 Producción de almidón de la cáscara de plátano verde.....	54
Figura 11 Elaboración del Bioplástico.....	54
Figura 12 Elaboración de Bioplástico.....	55
Figura 13 Ensayo de Tracción.....	56
Figura 14 Ensayo de Elongación.....	57
Figura 15 Prueba de Biodegradación.....	58
Figura 16 Procedimiento de Investigación.....	59
Figura 17 Ubicación del Mercado central del Callao.....	60
Figura 18 Efectos principales entre la tracción de rotura y la temperatura de secado.....	65
Figura 19 Efectos principales entre elongación y temperatura de secado.....	66
Figura 20 Efectos principales entre biodegradación y temperatura de secado.....	67
Figura 21 Efectos principales entre tracción de rotura y tiempo de secado.....	68
Figura 22 Efectos principales entre elongación y tiempo de secado.....	69
Figura 23 Efectos principales entre biodegradación y tiempo de secado.....	70
Figura 24 Efectos principales entre tracción de rotura y proporción de almidón.....	71
Figura 25 Efectos principales entre elongación y proporción de almidón.....	72
Figura 26 Efectos principales entre biodegradación y proporción de almidón.....	73
Figura 27 Media de Biodegradación del Bioplástico durante treinta días.....	75

Figura 28 Curva de Biodegradación del Bioplástico elaborado de cada tratamiento.....	76
Figura 29 <i>Diagrama de Pareto respecto a la Tracción de Rotura</i>	78
Figura 30 <i>Gráfica de contorno de la Tracción de Rotura</i>	79
Figura 31 Diagrama de Pareto con respecto a la Elongación.....	81
Figura 32 Gráfica de Contorno de Elongación.....	82
Figura 33 Diagrama de Pareto con respecto a la Biodegradación.....	84
Figura 34 Gráfico de contorno de Biodegradación	85
Figura 35 Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Tracción de Rotura	86
Figura 36 Prueba de homogeneidad de varianza de la Tracción de Rotura vs Tratamiento.....	87
Figura 37 Función de Autocorrelación de los residuos de Tracción de Rotura	88
Figura 38 Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Elongación	89
Figura 39 Prueba de homogeneidad de varianza de la Elongación vs Tratamiento.....	90
Figura 40 Función de Autocorrelación de los residuos de Elongación.....	91
Figura 41 Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Biodegradación ..	92
Figura 42 Prueba de homogeneidad de varianza de la Biodegradación vs Tratamiento.....	93
Figura 43 Función de Autocorrelación de los residuos de Biodegradación.....	94
Figura 44 Ficha N° 1	111
Figura 45 Ficha N° 2	112
Figura 46 Ficha N° 3	113
Figura 47 Ficha N° 4	114
Figura 48 Ficha N° 5	115
Figura 49 Validación de Especialista N° 1	116
Figura 50 Validación de Especialista N° 2.....	117
Figura 51 Validación de Especialista N° 3.....	118
Figura 52 Certificado de Acreditación.....	119
Figura 53 Materiales y equipos	120
Figura 54 Proceso de elaboración de bioplástico	120

Figura 55 Equipo de resistencia mecánica	121
Figura 56 Análisis proximal de cáscara de plátano verde	122
Figura 57 Biodegradación a los primeros 10 días	123
Figura 58 Biodegradación a los primeros 20 días	124
Figura 59 Biodegradación a los primeros 30 días	125
Figura 60 Análisis proximal de la cáscara de plátano verde	126
Figura 61 Ensayos de Tracción y elongación del bioplástico.....	128

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACIS: Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas

ANOVA: Análisis de la Varianza (por sus siglas en inglés)

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (por sus siglas en inglés)

FIARN: Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales

IES RAMÓN Y CAJAL: Instituto Ramón y Cajal

MINAM: Ministerio del Ambiente – Perú

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

SPDA: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental

UNAC: Universidad Nacional del Callao

USAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional

RESUMEN

El incremento de la contaminación plástica, resultado del uso excesivo de bolsas desechables y materiales similares, junto con su disposición inadecuada, impacta negativamente en la salud y el ambiente. Por esta razón, se propuso al bioplástico como una medida para sustituir al plástico convencional y mitigar estos efectos. En este marco, la investigación tuvo como objetivo evaluar el almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) proveniente del Mercado Central del Callao para la elaboración de bioplásticos, se centró en determinar los parámetros del almidón de la cascara de plátano verde que influyen en las propiedades del bioplástico. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con un nivel explicativo y enfoque cuantitativo. Se produjeron bioplásticos a partir de cáscaras de plátano verde mediante el método seco, empleando un diseño factorial fraccionado 2^{3-1} con tres repeticiones. Se evaluaron indicadores como la temperatura de secado (90 °C y 105 °C), el tiempo de secado (6 y 8 horas) y la proporción de almidón (12 % y 14 %). Los resultados obtenidos mostraron una resistencia a la tracción de 1.530 MPa, una elongación del 23,15 % y una biodegradabilidad del 49,12 %. Estos valores óptimos se alcanzaron con una temperatura de secado de 105 °C, un tiempo de secado de 8 horas y una proporción de almidón del 14 %. En conclusión, se confirmó la relevancia del almidón de cáscara de plátano verde en la producción de bioplásticos, mediante un análisis de varianza.

Palabras clave: almidón, cáscara de plátano verde, biodegradación, tracción de rotura, elongación, bioplástico.

ABSTRACT

The increase in plastic pollution, resulting from the excessive use of disposable bags and similar materials, along with their improper disposal, negatively impacts both health and the environment. For this reason, bioplastics were proposed as a measure to replace conventional plastics and mitigate these effects. In this context, the research aimed to evaluate the starch from green banana peels (*Musa paradisiaca*) sourced from Mercado Central del Callao for the production of bioplastics, focusing on determining the starch parameters that influence the properties of the bioplastic. The methodology used was of an applied type, with an explanatory level and a quantitative research. Bioplastics were produced from green banana peels using the dry method, employing a fractional factorial design 2^{3-1} with three repetitions. Indicators such as drying temperature (90 °C and 105 °C), drying time (6 and 8 hours), and starch proportion (12% and 14%) were evaluated. The results showed a tensile strength of 1.530 MPa, an elongation of 23.15%, and biodegradability of 49.12%. These optimal values were achieved with a drying temperature of 105 °C, a drying time of 8 hours, and a starch proportion of 14%. In conclusion, the relevance of green banana peel starch in the production of bioplastics was confirmed through variance analysis.

Keywords: starch, green banana peel, biodegradation, tensile strength, elongation, bioplastic.

INTRODUCCIÓN

Cada año, se evidencia la presencia de fragmentos plásticos en diversos entornos, desde los océanos hasta regiones remotas del planeta (Buteler 2019). Los desechos sólidos en países en desarrollo como Perú han generado impactos adversos en los ecosistemas marinos y su biodiversidad. Esto se ha visto exacerbado por la falta de infraestructura apropiada para estos residuos (USAID 2020). Las regulaciones, que restringen el uso de bolsas de plástico y el impulso de opciones biodegradables, reflejan los esfuerzos en curso para abordar la contaminación plástica (Vázquez et al. 2016). Ante este contexto una alternativa prometedora son los bioplásticos derivados de almidón y otras fuentes renovables (Rimac 2019).

Vázquez et al. (2016) señalan que, si bien se han propuesto alternativas como el reciclaje, el interés por fabricar plásticos con menor impacto ambiental ha aumentado, dando lugar al surgimiento de términos como bioplástico. Clavijo (2023) indica que estos materiales, caracterizados por su menor toxicidad y su capacidad de descomposición más rápida, representan un avance hacia una producción más sostenible. Por tanto, el análisis estadístico descriptivo proporcionado por estudios como el de Cárdenas (2018) ofrece una comprensión más detallada de la calidad y el rendimiento del bioplástico elaborado a partir de recursos locales, como el almidón de cáscara de plátano verde.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao para la elaboración de bioplásticos, como parte de una estrategia sostenible para abordar el problema de la contaminación plástica.

Esta investigación se basó en una amplia bibliografía sobre el uso, fabricación, procesos y propiedades de la cáscara de plátano verde y bioplásticos, abarcando desde la conceptualización hasta la elaboración y metodología utilizada. Con un enfoque cuantitativo, tipo aplicativo, nivel explicativo y un diseño experimental. Se llevaron a cabo diversos tratamientos donde se determinó sus propiedades físico-mecánicas y capacidad de biodegradación del bioplástico elaborado.

En el apartado I, se expuso la problemática global y local de la contaminación plástica y se presentó los objetivos del estudio. En el apartado II se estableció los fundamentos teóricos de las variables del estudio y se revisaron antecedentes sobre la elaboración de bioplásticos, sus metodologías y las propiedades del almidón de cáscara de plátano verde. En el apartado III se formularon las hipótesis de estudio y la matriz de operacionalización de variables. En el apartado IV, se describió la metodología, el diseño experimental y el procedimiento para obtener bioplásticos. El apartado V se presentó los resultados descriptivos e inferenciales que responden a los objetivos e hipótesis. En el apartado VI se discuten las hipótesis a la luz de los datos obtenidos y estudios previos. El apartado VII se determinó las conclusiones del estudio, y el apartado VIII se proporcionó las recomendaciones para futuras investigaciones.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La globalización implica un crecimiento significativo en los flujos de información, capital, inversión extranjera, materiales y comercio transnacional. Este fenómeno abarca la integración transnacional y transcultural de diversas actividades humanas y no humanas, con efectos tanto positivos como negativos en el medio ambiente. Es decir, aumenta la contaminación, pero también impulsa iniciativas para su mitigación. Estos efectos varían según la ubicación geográfica, resultando en una disminución de la contaminación en países desarrollados y un aumento en países en desarrollo (Espino et al. 2020). El plástico derivado del petróleo, surgido en la década de los 50 como un material globalizado, experimentó un crecimiento sin precedentes debido a su versatilidad y bajo costo. En los años 80, la producción de plástico superó la de otros materiales, pero al llegar al final de su vida útil, estos plásticos se desechaban en vertederos (Lema et al. 2020). El tiempo de descomposición de los productos plásticos varía significativamente, desde 100 a 1000 años, lo que subraya la urgencia de abordar este problema, tal como son las botellas de plástico que se demora en degradarse 500 años (Del Rosario et al. 2020).

Según la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental-SPDA (2023), a nivel mundial, se produce anualmente más de 400 millones de toneladas de plástico, con menos del 10% reciclado y gran parte destinado a un solo uso. En 2022, las advertencias sobre el crecimiento descontrolado de la producción plástica y la falta de gestión adecuada de residuos son preocupantes, ya que se proyecta que para 2050 los vertederos y el medio ambiente albergarán alrededor de 12 mil millones de toneladas de desechos plásticos (ACIS 2022).

En el Reino Unido, la disposición final de los productos plásticos generalmente implica su envío a vertederos, lo que contribuye significativamente a la contaminación ambiental. Para abordar este problema, se lleva a cabo el proyecto Erasmus Plus 2020, "Reframing Perspectives on Sustainability: Appreciating Opposing Views to Influence Others and Drive Change", que se centra en encontrar soluciones para la contaminación plástica. Este proyecto destaca la importancia de la participación ciudadana y la educación ambiental

colaborativa. Un evento celebrado en Edimburgo del 2023 demostró la efectividad de este enfoque a través de conferencias, talleres y actividades prácticas centradas en el plástico como contaminante y recurso (Tao et al. 2024). Por otro lado, en Ecuador, la contaminación plástica surge como un desafío considerable, dado que el 80 % de los hogares emplea bolsas plásticas, tal como se presenta en el año 2019 que generó 528,000 toneladas de residuos plásticos, que representan el 11% del total de desechos sólidos del país. Para hacer frente a esta situación, se está implementando el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo que señala medidas preventivas tales como el uso de materiales alternativos y la promoción del reciclaje, con la activa participación de la comunidad local incentivada a mejorar la calidad de vida y reducir la contaminación (López-Aguirre et al. 2020).

Resulta oportuno mencionar que frente a las costas de Chile y Perú se descubrió unas islas de plástico en 2017 por la fundación de Algalita Marine Research and Education, estimando una superficie de 2.6 millones de kilómetros cuadrados, siendo esta casi dos veces la superficie de Perú (MINAM 2018). La cual es consecuencia de una inadecuada gestión de los residuos de plástico impactando significativamente al ecosistema marino.

Ahora bien, en el Perú se generan más del 35% de los residuos plásticos que no tienen una disposición adecuada, el 58% de residuos de plásticos de ámbito municipal son plástico de un solo uso y el 48,8% de los residuos plásticos provienen de Lima y Callao (MINAM 2020). El interés en los envases biodegradables ha crecido significativamente debido a la necesidad de reducir el uso de plásticos sintéticos y encontrar alternativas que no afecten al medio ambiente, especialmente en la preservación de la calidad y seguridad de los alimentos. (Díaz 2021).

En la región del Callao, se enfrentan importantes retos ambientales, principalmente debido a la actividad industrial, el transporte y la deficiente gestión de residuos sólidos, siendo este último un problema crucial. Según el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (Sigersol), el Callao genera diariamente 374 toneladas de residuos municipales, evidenciando serias dificultades en su recolección y manejo adecuado. Este problema repercute

negativamente en el entorno, afectando el suelo, el agua y la biodiversidad. En Lima y Callao, se producen más de 886 toneladas diarias de residuos plásticos, de los cuales solo alrededor del 1% se recicla, lo que agrava la degradación ambiental y pone en riesgo la fauna marina (Figueroa Minaya et al. 2023). Además, la mala gestión de estos residuos impacta la salud pública, tal como DIRESA Callao (2023) menciona como las enfermedades respiratorias en 12.88 %, gastrointestinales en 16.20% y de la piel en 3.4 %. La acumulación de desechos también facilita la proliferación de plagas, vectores de enfermedades infecciosas, exacerbadas por el crecimiento poblacional y la urbanización.

La problemática en Lima y Callao está aumentando la preocupación ambiental y económica, lo que conlleva cambios en los entornos biológicos y socioeconómicos. Sin embargo, al agregar valor a los residuos sólidos orgánicos, estos pueden convertirse en una herramienta para mejorar la calidad ambiental. Hoyos (2022) señala que los residuos sólidos orgánicos son un recurso fundamental para la producción de diversos productos, como bioplásticos y biocombustibles, entre otros. Por otro lado Avellán et al. (2020) manifiesta que es posible producir películas plásticas biodegradables y flexibles a partir de almidón de cáscaras de yuca, así como de olote de maíz, papa, plátano y otros polímeros.

En definitiva, se pudo observar que los residuos sólidos orgánicos, como las cáscaras de plátano verde, ya no son considerados meramente basura, sino que han sido convertidos en valiosa materia prima para la producción de bioplásticos. Esto no solo disminuye la cantidad de desechos que llegan a los vertederos, sino que también genera nuevas oportunidades para la creación de productos útiles y ecológicos.

1.2. Formulación de problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao influye en la elaboración de bioplástico Callao, 2024?

1.2.2. Problema específico

¿De qué manera la temperatura de secado de la obtención de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?

¿De qué manera el tiempo de secado de la obtención de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?

¿De qué manera la proporción de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao en la elaboración del bioplástico, 2024.

1.3.2. Objetivo específico

Determinar la temperatura de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.

Determinar el tiempo de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.

Determinar la proporción de almidón derivado de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.

1.4. Justificación

La investigación surge como respuesta a la necesidad urgente de abordar y mitigar el impacto ambiental provocado por el uso excesivo y desapropiado del plástico en la vida diaria de la humanidad (IES RAMON Y CAJAL 2019). El aumento de la contaminación plástica ha generado la necesidad de buscar y adoptar nuevas alternativas que no solo cubran las labores cotidianas, sino que también promuevan la sostenibilidad del planeta. La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos D.L. N° 1278 (2016) menciona que los residuos representan, oportunidades para ser utilizados en otras aplicaciones más allá de ser simplemente descartados. Por otro lado, es importante mencionar, la Ley N° 30884 (2018), porque es la que regula el plástico de un solo uso y los envases

descartables, propone una disminución gradual en el uso de bolsas de plástico, con el fin de reducir su empleo en un 35% durante el primer año y contempla la prohibición total de las bolsas de plástico después de un período de transición. Las regulaciones mencionadas refuerzan la necesidad de adoptar alternativas más sostenibles, como el bioplástico elaborado a partir de cáscaras de plátano verde, para cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible tales como ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura; ODS 12: Producción y Consumo Responsables; ODS 13: Acción por el Clima; ODS 14: Vida Submarina y ODS 15: Vida de Ecosistemas Terrestres.

Además, se busca promover la conciencia social sobre el uso y la gestión de residuos sólidos en la sociedad actual, con el fin de abordar eficazmente los desechos sólidos y fomentar una sociedad más responsable y consciente del medio ambiente. Este enfoque no solo se centra en la gestión efectiva de los residuos sólidos, sino también en fomentar una sociedad más eco-consciente, ofreciendo una alternativa sostenible que contribuya a mejorar la calidad de vida y preservar el entorno natural. Asimismo, estas iniciativas están contempladas en el Compromiso 3 de todas las municipalidades, para su enfoque integral hacia la gestión sostenible de los recursos y la reducción de residuos sólidos.

La producción de bioplásticos a partir de cáscaras de plátano verde no solo proporciona una alternativa sostenible que mejora la calidad de vida y preserva el medio ambiente, sino que también aprovecha un subproducto normalmente desechado, transformándolo en un recurso económico útil. Esta alternativa podría ser más viable económicamente que los plásticos convencionales derivados del petróleo, reduciendo los costos asociados con la adquisición y el transporte de materias primas y mitigando los riesgos relacionados con la volatilidad de los precios del petróleo en el mercado internacional y las fluctuaciones en los tipos de cambio.

1.5. Delimitantes de la investigación

1.5.1. Delimitación teórica

La investigación se adentró en el estudio detallado del almidón extraído de la cáscara de plátano verde, una variable central en el proceso de elaboración de bioplásticos. Para comprender plenamente este elemento, se consideraron las

diversas metodologías reportadas por diferentes investigadores para su obtención, lo que incluye variaciones en factores como la temperatura y el tiempo de secado. Esta diversidad de métodos proporciona un amplio espectro de opciones para la fabricación de bioplásticos, permitiendo explorar diferentes enfoques y técnicas.

A nivel nacional, se identificó una escasez de literatura sobre la elaboración de bioplásticos utilizando almidón de cáscara de plátano verde, lo que subraya la necesidad de realizar investigaciones. Por otro lado, a nivel internacional, se observó una abundancia de artículos científicos que abordan este tema desde diversas perspectivas y metodologías. Estos estudios internacionales proporcionaron una base sólida de conocimiento. A pesar de esta diversidad, se decidió adoptar la metodología propuesta por Barrios (2017) debido a su relevancia y eficacia en la producción de bioplásticos con características específicas.

1.5.2. Delimitación temporal

El desarrollo teórico y experimental se llevó a cabo entre los meses de enero hasta junio del año 2024. Que comprende desde el estado del arte, recolección de las cáscaras de plátano verde del Mercado central del Callao hasta la elaboración del bioplástico y ensayos estandarizados.

1.5.3. Delimitación espacial

Durante el transcurso de la investigación destinada a producir bioplástico a partir del almidón presente en la cáscara de plátano verde mediante el método de secado, la recolección de las muestras de cáscara de plátano verde se llevó a cabo en el Mercado central del Callao, situado en el Jr. Cochrane con Jr. Saloom. Se realizó una serie de experimentos en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales (FIARN) de la Universidad Nacional del Callao (UNAC). Posteriormente, las muestras tanto de cáscara de plátano verde como de bioplástico obtenido fueron remitidas al laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (Slab Perú) debidamente acreditado para llevarse a cabo análisis estandarizados.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Verma et al. (2024), en su estudio titulado “Transformación de cáscara de plátano en película biodegradable adicionada con almidón y carboximetilcelulosa y su caracterización”, tuvo como objetivo la elaboración de películas biodegradables a partir de cáscaras de plátano. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, preparó las películas utilizando pasta de cáscara de plátano, almidón de maíz, sal sódica de carboximetilcelulosa y glicerol como plastificante. Se evaluaron propiedades como la resistencia a la tracción, el alargamiento y la biodegradabilidad, encontrándose en los rangos de 0.825–1.158 MPa, 18.976–25.516% y 65.034–70.002%, respectivamente. La película con un 0.5% de almidón mostró una mejor resistencia a la tracción (1.158 MPa). Se concluyó que, al aumentar el contenido de almidón, la película se vuelve más permeable al vapor de agua y más soluble. Este estudio evidencia la viabilidad de convertir estas cáscaras de plátano en películas biodegradables mediante la inclusión de almidón de maíz y carboximetilcelulosa. Además, al caracterizar las propiedades mecánicas de estas biopelículas, ofrecen datos comparativos que son esenciales para orientar y validar los resultados de bioplásticos.

Karne et al. (2023) en su artículo titulado “Síntesis de material biodegradable a partir de cáscaras de plátano”, tiene como objetivo determinar la influencia de la concentración de plastificante y aglutinante en la biodegradabilidad del bioplástico. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se empleó glicerina y HCl variando sus cantidades en cada muestra. Las variaciones en los componentes afectaron la biodegradabilidad, siendo el bioplástico con mayor cantidad de glicerina el más biodegradable, alcanzando un 82% de degradación después de una semana. Se examinaron factores como resistencia y flexibilidad en relación con la biodegradabilidad, explorando posibles modificaciones. Se concluye que la alta biodegradabilidad del bioplástico se muestra en alta concentración de glicerina, siendo relevante porque demuestra la viabilidad y las condiciones óptimas para la degradación de

bioplásticos. Este estudio evidencia la relevancia de la glicerina en los bioplásticos y explica su comportamiento con la biodegradabilidad entre otras propiedades como la resistencia y flexibilidad. Los cuales aportan datos esenciales para la caracterización y comparación de resultados.

Enríquez (2022) en su investigación en su tesis titulado “Aplicación de un acabado textil repelente al agua a base de un bioplástico de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*) en un tejido plano 100% pes”, tuvo como objetivo aplicar un acabado textil repelente al agua a base de un bioplástico de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en un tejido plano 100% PES. Este estudio es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se llevó a cabo la aplicación de un acabado textil repelente al agua utilizando un bioplástico elaborado a partir de cáscaras de plátano en un tejido plano de poliéster al 100%, donde se llevaron a cabo pruebas de repelencia al agua y resistencia al lavado doméstico después de aplicar el acabado en el sustrato textil. Los resultados de las pruebas se tabularon de manera ordenada para un análisis preciso y fiable de los datos, utilizando el programa estadístico PAST 4. La investigación evidencia en la aplicación de un bioplástico de cáscara de plátano como su elaboración hasta el acabado textil repelente al agua en tejidos de poliéster. Además, aporta en el proceso de elaboración de bioplástico como la temperatura y tiempo de secado. Macêdo et al. (2022), en su investigación titulado “Desarrollo de bioplásticos a base de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca* L.) modificado con tratamiento calor-humedad (HMT)”, tuvo como objetivo evaluar el impacto de la modificación en los bioplásticos elaborados a partir de almidón de plátano verde. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se identificó una relación directa entre las propiedades mecánicas de los bioplásticos y las características pastosas de los almidones. Específicamente, el bioplástico producido con almidón modificado en condiciones de 25% de humedad, 100 °C y 23,92 h (PM04) mostró mejoras notables en la resistencia a la tracción, el alargamiento y la deformación en comparación con el bioplástico de almidón nativo. El estudio evidencia una base empírica sobre el almidón del plátano verde mediante tratamiento calor-humedad que afecta las propiedades mecánicas de los bioplásticos como la resistencia a la tracción y el alargamiento.

Kiran V et al. (2022), en su estudio titulado “Síntesis y caracterización de bioplástico a base de almidón de cáscara de plátano para la preparación de tubos intravenosos”, tuvo como objetivo elaborar tubos intravenosos centrándose en los residuos orgánicos. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, implica la fabricación y evaluación de tres muestras de bioplásticos, con pruebas que incluyen la degradación del suelo y propiedades mecánicas. Los resultados indican que la muestra II posee las propiedades necesarias para aplicaciones futuras, como la fabricación de tubos intravenosos para infusiones y transfusiones. La investigación evidencia la viabilidad de estos bioplásticos para aplicaciones médicas, como la fabricación de tubos intravenosos. Las evaluaciones de degradación del suelo y propiedades mecánicas ofrecen una comprensión detallada de las características y el comportamiento de estos bioplásticos en condiciones reales.

Espin (2021) en su tesis titulado “Valoración de la cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano) residual, para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos”, tuvo como objetivo producir láminas de plástico biodegradable utilizando la cáscara de plátano residual (*Musa paradisiaca*) como materia prima para el embalaje de alimentos. Esta investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, las láminas de plástico fueron evaluadas en términos de sus propiedades físicas, de degradación y mecánicas. Se determinó que el tratamiento número cuatro, con un contenido de almidón del 3.974%, fue el más efectivo, cumpliendo con los estándares establecidos por la norma INEN 1456, lo que lo hace adecuado como materia prima para la producción de láminas. En cuanto al análisis de las propiedades de las láminas plásticas biodegradables, se observó que las del tratamiento número uno mostró mejores características de tracción según la norma INEN 2635, así como una mayor transmisión de vapor de agua según la norma ASTM D1653-93. Respecto a su biodegradabilidad, se determinó que las láminas requieren 21 días para degradarse completamente, convirtiéndose en plásticos compostables según la norma INEN 2643. El estudio evidencia que la evaluación completa de los atributos físicos, químicos y microbiológicos del almidón extraído de la cáscara de plátano, junto con los ensayos de las propiedades degradativas

y mecánicas de las láminas de plástico, proporciona una comprensión profunda sobre la calidad y el desempeño de estos materiales.

Cárdenas (2018) en su investigación en su tesis titulado “Extracción de almidón a partir de residuos de banano (*Musa paradisiaca*) para la elaboración de un biopolímero”, tuvo como objetivo extraer el almidón de la cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) para la posterior elaboración de biopolímeros mediante procesos físico químicos. Este estudio es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se obtuvo almidón a partir de cáscaras de plátano (*Musa paradisiaca*) mediante dos métodos distintos, con rendimientos del 22,30% y 42,33% respectivamente, los cuales se caracterizaron mediante espectroscopia infrarroja IR, mostrando propiedades similares a las de los plásticos sintéticos. Este trabajo contribuye a la investigación al proporcionar información sobre la extracción y modificación del almidón de cáscaras de plátano, así como sobre la caracterización de los biopolímeros resultantes.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Guerrero (2020), su investigación “Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*)”, tuvo como objetivo determinar la tasa de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) y diferentes concentraciones de plastificantes y aditivos. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo y de nivel explicativo, para ello se extrajo almidón de la pulpa de plátano mediante licuado, sedimentación y lavados con agua fría. Los bioplásticos se formularon con glicerina y urea como plastificantes, ácido acético como conservante y cloruro de calcio como aditivo. Se evaluó la biodegradabilidad durante 21 días en diferentes ambientes (suelo de relleno sanitario, orillas de río, agua estancada y al aire libre), midiendo las variaciones de peso. Además, se realizaron pruebas mecánicas para determinar la elongación y la flexión de los bioplásticos formulados. Las tendencias del porcentaje de biodegradabilidad en los cuatro entornos fueron similares para las cuatro formulaciones, promediando: 97,5 % en las orillas del río, 92,9 % en el suelo de relleno sanitario, 80,3 % en agua estancada y 68,2 % al aire libre. El bioplástico obtenido con 6,25 % de almidón, 78,125 % de agua destilada, 3,125

% de ácido acético, 10,938 % de urea y 1,562 % de cloruro de calcio mostró la mayor elongación (29,9 %) y longitud de flexión (3,2 cm). El presente estudio señala que el estudio resalta la oportunidad de utilizar subproductos como la cáscara de plátano para valorizar residuos orgánicos, lo que podría optimizar las mezclas de almidón y mejorar tanto la biodegradabilidad como las propiedades mecánicas de los bioplásticos.

Chuquista y Uriarte (2020) en su tesis titulada “Elaboración de bioplástico usando la cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano) recolectada del mercado Modelo, Chiclayo”, tuvo como objetivo principal, elaborar bioplástico usando cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano) recolectada del Mercado Modelo, Chiclayo. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo de nivel descriptivo, y la población de estudio consistió en todos los desechos de cáscaras de plátano, con una muestra de 2,5 kg de cáscaras de plátano. Por consiguiente, se realizaron ensayos de biodegradabilidad del producto del bioplástico por un periodo de 7 días, se pusieron 3 muestras de 5 cm de largo y ancho cada una en agua, suelo húmedo y temperatura ambiente respectivamente. Finalmente, concluyendo que los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* (plátano) son eficientes para la elaboración de bioplástico, ya que, proporciona buena resistencia, elasticidad y flexibilidad. El estudio sugiere un impacto económico positivo en la comunidad al abrir oportunidades para la gestión de residuos y la creación de nuevos productos. Además, los ensayos de biodegradabilidad proporcionan datos empíricos sobre la eficiencia de los bioplásticos de cáscara de plátano en diversos entornos.

Chinchayhuara y Quispe (2018) en su tesis titulada “Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo – 2018”, tuvo como objetivo elaborar bioplásticos derivados de residuos orgánicos, con características iguales a los plásticos convencionales. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo, la muestra fue de 1 kg de plátano de seda donde el proceso de elaboración de los bioplásticos fue muy sencillo pues los reactivos que se empleó fueron el ácido acético o vinagre blanco, glicerina vegetal, agua, cáscara de plátano licuado haciendo de estos una mezcla

homogénea a una cierta temperatura de la misma manera con la cáscara de mango luego en un molde se dejó secar a temperatura ambiente. Finalmente, el bioplástico obtenido de cáscara de plátano tuvo una biodegradabilidad de 0.009 g en un tiempo de dos semanas, densidad de 0.6049 (g/cm³), si es flexible, peso de 1.2098 g y el bioplástico de cáscara de mango tuvo una biodegradabilidad de 0.001g en un tiempo de dos semanas, densidad de 0.2752 (g/cm³), si es flexible, peso de 0.5510 g. El estudio utiliza recursos locales para hacer bioplásticos, lo que podría tener beneficios económicos y sociales al promover su uso. Contribuyendo que el bioplástico de cáscara de plátano se degrada más lentamente que el del mango.

Humpiri (2018), señala en su tesis titulado “Reutilización de residuos de la cáscara de banano (*Musa cavendish*) y plátano (*Musa paradisiaca*) para la obtención de bioplásticos”, tiene como objetivo reutilizar los desechos de cáscaras de banano y plátano para la producción de un bioplástico basado en el almidón extraído de estas cáscaras. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. En este estudio, se exploraron dos métodos para la elaboración de bioplástico a partir de cáscaras de banano y plátano. El primero implicó el lavado, secado, trituración y moldeado de las cáscaras, mientras que el segundo método incluyó un tratamiento con bisulfito de sodio, cocción, secado y procesamiento del almidón obtenido. Se realizaron pruebas fisicoquímicas en ambos bioplásticos, observando mejores resultados con el bioplástico de cáscara de banano. Las pruebas de degradabilidad en agua mostraron una degradación del bioplástico de cáscara de plátano entre el 2.46% y el 85.64%, y del bioplástico de cáscara de banano entre el 2.94% y el 84.39%, durante un período de 1 a 40 días. Estos resultados indican que ambos bioplásticos se degradan fácilmente. Se logró alcanzar el objetivo establecido, obteniendo mejores resultados con el segundo método. Este estudio aborda la utilización de cáscaras de plátano como la principal fuente para la producción de bioplásticos, resaltando que el plátano verde (*Musa paradisiaca*) exhibe características sobresalientes en la elaboración de bioplásticos en contraste con otras variedades de plátano.

Barrios (2017) señala en su tesis titulado “Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano *Musa paradisiaca* para la elaboración de bioplástico en Yangas - Santa Rosa de Quives, 2017”, tiene como objetivo Elaborar un bioplástico a partir del reaprovechamiento de las cáscaras de plátano *Musa paradisiaca* en Yangas - Santa Rosa de Quives, 2017. El tipo de investigación es aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo desarrollándose en tres fases: extracción de almidón, elaboración del bioplástico y evaluación de la biodegradabilidad según la Norma ISO 17556:2012. La muestra se obtuvo de siete juguerías, recolectando 1 kg de cáscaras de plátano en cada establecimiento. En la primera fase, se utilizó el método de decantación y cuarteo con variaciones de temperatura y antioxidantes para obtener el almidón a partir de 7 kg de cáscaras de plátano. La segunda fase incluyó la hidrólisis química para polimerizar el almidón con plastificantes como agua y glicerol. En la última fase, se empleó compost para la degradación, comparando con un control negativo de polietileno de baja densidad (PEBD), un control positivo de fécula de maíz y el bioplástico de almidón de plátano objeto de estudio. El bioplástico alcanzó un peso de 37,68 g, seguido de la fécula de maíz con 33,95 g, el polietileno con 13,05 g y el control en blanco con 12,63 g. En conclusión, se demuestra la factibilidad de elaborar un bioplástico a partir del almidón de las cáscaras de plátano *Musa paradisiaca*, aunque su biodegradabilidad dependerá de la composición del suelo. Este estudio menciona un procedimiento de extracción de almidón que implica un método seco con variaciones de temperatura, destacando que la biodegradación del bioplástico resultante estará influenciada por la composición del suelo circundante.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Plátano Verde (*Musa paradisiaca*)

El plátano como fruta tropical de manera natural presenta una forma curva y alargada además el árbol crece en racimos que puede contener de 2 a 20 frutos. En cuanto al color su cáscara presenta un color verdoso o amarillo. El interior de la pulpa del fruto contiene una tonalidad blanca además tiene una consistencia harinosa destacando su sabor dulce, intenso y un olor agradable.

El tamaño y peso del fruto que se comercializa internacionalmente de acuerdo con los parámetros de calidad tiene en promedio una longitud de 7.5” y un peso aproximadamente 200 gramos (Agurto et al. 2022).

2.2.1.1. Cáscara de plátano verde

El subproducto del proceso industrial del plátano es la cáscara, aproximadamente contiene el 30% del peso del fruto. Se ha encontrado que la cáscara de plátano es una buena fuente de aminoácidos esenciales, proteínas, fibra dietética, potasio y ácidos grasos poliinsaturados. Además, contiene sustancias antimicrobianas y antioxidantes, así como compuestos fotoquímicos con actividad contra radicales libres. Los residuos del plátano debido a su composición son fuentes de almidón y celulosa, viables a ser usados como materia prima en la construcción de productos con valor agregado, por plástico biodegradable. Es importante recalcar que la disposición inadecuada de los desechos agrícolas puede incentivar la contaminación de aguas subterráneas y suelos debido a la proliferación de hongos y bacterias propios de la descomposición, se muestra la composición en la Tabla 1 (Duque 2024).

Tabla 1

Composición química de la cáscara de plátano verde

Componente	Cáscara de Plátano Verde
Humedad (%)	91,62
Proteína Cruda (%)	5,19
Energía bruta (kcal)	4383
Calcio (%)	0,37
Fósforo (%)	0,28
Ceniza (%)	16,30

Nota. Adaptado de Duque (2024)

Este componente se presenta como una fuente viable para la producción de bioplástico. Además, las cáscaras de plátano muestran un potencial significativo para la obtención de pectina, un subproducto vegetal de relevancia económica en la industria alimentaria. El aprovechamiento de estas cáscaras no solo ofrece una alternativa para obtener bioplástico, sino que también contribuye a mitigar los problemas ambientales asociados a la contaminación por residuos

agroindustriales generados durante el procesamiento del plátano, según señalan Calero y Lapo (2021).

2.2.2. Almidón

El almidón desempeña un papel significativo en la composición de diversos productos, y su presencia varía según el tipo y el origen de los productos agrícolas. Por ejemplo, en las leguminosas, su contenido oscila entre el 25 y el 50%, mientras que en los tubérculos puede representar entre el 60 y el 90%.

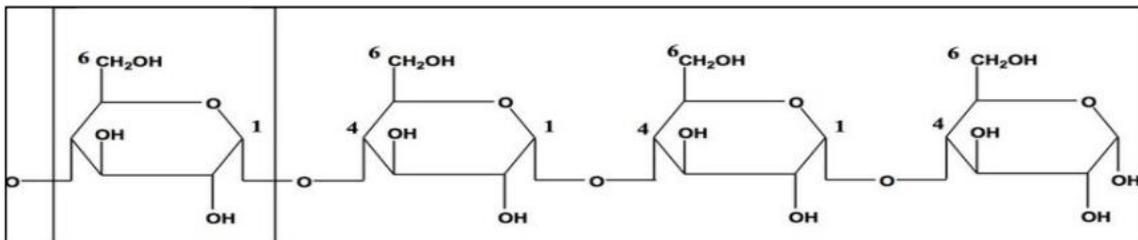
El almidón está compuesto por la amilosa y la amilopectina, que se originan a partir de la glucosa, uniendo estas moléculas mediante enlaces alfa glucosídicos (Alarcón y Caicedo 2021).

2.2.2.1. Amilosa

La amilosa se forma mediante la condensación de D-glucopiranososa mediante enlaces glucosídicos (1,4), generando cadenas lineales que varían de 200 a 2500 unidades con pesos moleculares de hasta un millón. Básicamente, la amilosa consiste en α -D-(1,4)-glucano, donde su unidad recurrente es α -maltosa. En términos generales, los almidones suelen contener alrededor del 25% de amilosa y su estructura se presenta como en la Figura 1 (2021).

Figura 1

Estructura de la amilosa



Nota. Tomada de Espín Bedón (2021)

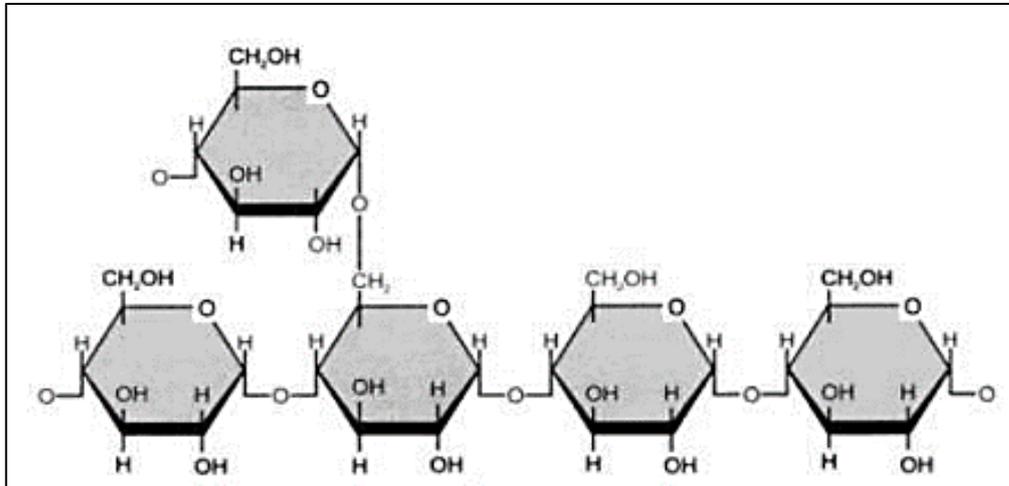
2.2.2.2. Amilopectina

La amilopectina, un polisacárido ramificado, presenta ramificaciones que se componen de unidades de maltosa (glucosa-glucosa con enlaces en α (1 \rightarrow 4)), conectadas mediante puentes isomaltosa. Esta molécula consiste en una cadena de glucosa relativamente corta, con alrededor de 30 unidades, unidas por enlaces α (1 \rightarrow 4) y α (1 \rightarrow 6). En comparación con la amilosa, la amilopectina es considerablemente más grande. La presencia de amilopectina es fundamental

para conferir cristalinidad a la mayor parte de los almidones, ya que uno de los atributos naturales del almidón es su semicristalinidad y su estructura se presenta como en la Figura 2 (2021).

Figura 2

Estructura de amilopectina



Nota. Tomada de Caiza (2021)

2.2.3. Tipos de extracción de almidón

La extracción de almidón implica separar componentes de los alimentos mediante métodos que permiten obtener el almidón para su uso en diversos procesos industriales o alimentarios, con el fin de desarrollar nuevos productos. En el método seco, se lleva a cabo la molienda del fruto para producir harina, la cual es posteriormente tamizada para obtener el almidón. Este proceso es común en operaciones de menor escala y facilita la obtención de un producto final de calidad mejorada. Por otro lado, en el método húmedo, se tritura el guineo en presencia de agua para eliminar la fibra y la proteína de la pulpa, luego se decanta y lava el material para separar componentes diferentes al almidón, y finalmente se seca el almidón resultante. Este enfoque también implica reducir el tamaño del fruto, tritarlo, eliminar la fibra y la proteína con agua, decantar el agua y secar el material para obtener el almidón (Nizama 2021).

2.2.3.1. Capacidad antioxidante de cáscara de limón

La actividad antioxidante, considerada como un indicador confiable de la capacidad antioxidante de los alimentos, es crucial para evaluar su calidad

nutricional, donde se atribuye principalmente a compuestos como la vitamina C. La cáscara de limón, un subproducto de la industria agrícola, es una rica fuente de nutrientes esenciales como la vitamina C, ácido cítrico, calcio y magnesio, entre otros tal como se presenta en la Tabla 2 (Albuja 2023).

Tabla 2

Composición nutricional de la cáscara de limón

Información nutricional	Contenido en 100 g
Proteínas	0.9 g
Agua	89.3 g
Lípidos	0.6 g
Hidratos de Carbono	8.7 g
Fibra	2.8 g
Vitamina A	1 g
Vitamina C	62.6 g

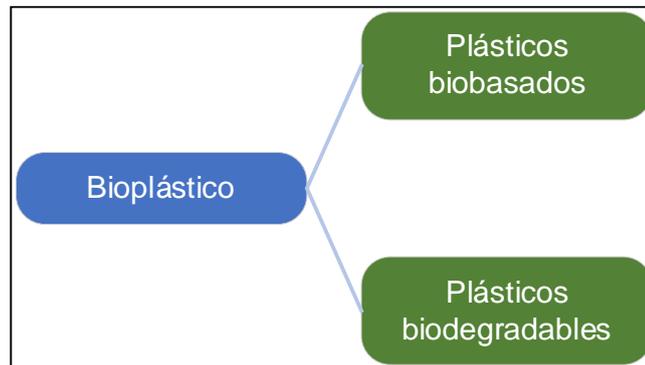
Nota. Tomada de Albuja (2023)

2.2.4. Bioplásticos

En los últimos años, ha habido un notable incremento en la producción de polímeros obtenidos a partir de fuentes renovables. Los bioplásticos, tales como aquellos derivados de aceites vegetales, maíz y almidón de guisantes, han sido sintetizados por microorganismos. Este desarrollo responde a la creciente necesidad de sustituir los polímeros derivados de combustibles fósiles. Factores como la escasez de recursos fósiles, la fluctuación de precios, el impacto ambiental y las problemáticas asociadas con la eliminación de residuos son fundamentales en la transición hacia plásticos de origen biológico. Además, se puede entender como bioplástico tal como se muestra en la Figura 3 (Ashter 2016).

Figura 3

Bioplástico



Nota. Tomada del libro "Introduction to Bioplastics" (2016)

2.2.4.1. Clasificación de Bioplástico

i. Plásticos Biobasados

Son aquellos que se elaboran utilizando biomasa, que es la materia orgánica presente en los seres vivos y proviene principalmente de recursos naturales renovables, como plantas, algas y microorganismos. En ciertos casos, se pueden fabricar incluso a partir de residuos. A diferencia de los biopolímeros que se encuentran de manera natural, como el almidón, las proteínas, la lignina y el quitosano, los plásticos biobasados necesitan procesos químicos adicionales antes de su aplicación. Esto puede lograrse mediante dos procedimientos distintos:

- La manipulación química de algún componente extraído de plantas, como maíz, soya, yuca y caña de azúcar, sigue un proceso común que parte de la generación de etanol, ácido láctico y otros compuestos fundamentales mediante la fermentación del almidón presente en las plantas. Posteriormente, se transforman estos compuestos para obtener los monómeros que servirán como base para la producción de plásticos. Este método posibilita la obtención de plásticos como el ácido poliláctico (PLA), así como polietileno, polipropileno, nylon y otros plásticos convencionales que comparten las mismas propiedades que los polímeros equivalentes obtenidos del petróleo.
- La extracción de precursores y monómeros, que se generan como una forma de almacenar energía dentro de las células de algunas plantas y

microorganismos, constituye otra vía. Aunque se ha demostrado que ciertos pastos pueden producir polihidroxicanoatos hasta en un 3.7% de su peso, este proceso sigue siendo costoso y complejo.

ii. Plásticos Biodegradables

Pueden originarse tanto de recursos renovables como de combustibles fósiles. Es importante destacar que la capacidad de biodegradación no depende del material de origen, sino de la estructura química del plástico. No obstante, para que ocurra la biodegradación, se requieren condiciones específicas, como la presencia de microorganismos competentes y condiciones ambientales adecuadas. La mayoría de los plásticos biodegradables ha sido diseñada para someterse a este proceso en entornos particulares, siendo propensos a la acción de microorganismos presentes en procesos de compostaje, ambientes marinos o, en menor medida, en entornos sin oxígeno, como los que se encuentran en sistemas de producción de biogás a partir de residuos.

En síntesis, el “Bioplástico” se refiere a un tipo de plástico cuya composición total proviene de:

- a) Materias primas de origen renovable y es biodegradable
- b) Materias primas de origen renovable y no es biodegradable
- c) Materias primas de origen petroquímico y es biodegradable

Los bioplásticos más representativos tenemos los siguientes según su composición tal como se observa en la Figura 4 (Vázquez et al. 2016)

Figura 4

Bioplásticos representativos

Bioplásticos	Biobasado	Biodegradable	Propiedades	Observaciones
Ácido poliláctico (PLA)	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">• Similares a las del PET, aunque con menor resistencia a la temperatura	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente se fabrica a partir de maíz• Uno de los bioplásticos más usados
Bio-polietileno (BIO-PE)	✓	✗	<ul style="list-style-type: none">• Idénticas a las del polietileno convencional	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente se fabrica a partir de la caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio
Policaprolactonas (PCL)	✗	✓	<ul style="list-style-type: none">• Resistente al agua, aceites, solventes y cloros	<ul style="list-style-type: none">• Se emplea en la fabricación de poliuretanos
Polihidroxialcanoatos (PHA)	✓	✓	<ul style="list-style-type: none">• Dependientes del polímero específico• Muy sensibles a las condiciones de procesamiento-	<ul style="list-style-type: none">• Se extraen de las células de plantas y microorganismos• Su costo es hasta diez veces mayor al de los plásticos convencionales

Nota. Tomada de “Bioplásticos y plásticos degradables” (Vázquez et al. 2016)

2.2.5. Proceso de elaboración de bioplásticos

Para fabricar una película a base de almidón, es fundamental considerar dos aspectos que afectan su estructura. La proporción entre amilosa y amilopectina es determinante para la transparencia y biodegradabilidad del producto final. Durante la gelatinización, la incorporación de un plastificante mejora las propiedades físicas y mecánicas de la película, como su resistencia y flexibilidad. Se opta por la glicerina como plastificante debido a su afinidad por el almidón, gracias a los grupos hidroxilos que facilitan su solubilidad en agua. Aunque la glicerina puede reducir la resistencia inicial, concentraciones de almidón superiores al 25% resultan en una película más elástica y resistente. La glicerina, con sus propiedades viscoelásticas, tiene afinidad con materiales orgánicos y es económica y fácilmente accesible. Además, los plastificantes, como la glicerina, el sorbitol y el alcohol polivinílico, aumentan la viscosidad y humedad de la película (Pérez 2021).

2.2.5.1. Plastificantes

Se utilizan agentes plastificantes para conferir flexibilidad a los polímeros, reduciendo su cristalinidad o punto de fusión por debajo de su punto de transición vítrea. El agua es recomendada, pero su extracción es complicada, por lo que se

limita su presencia comparada con el almidón, aumentando su punto de ebullición. El glicerol, otro plastificante, se usa ampliamente para aumentar la flexibilidad de los bioplásticos de almidón. Este descompone los enlaces glucosídicos del almidón, aumentando la separación entre las cadenas de glucosa y regulando su solubilidad, lo que resulta en una estructura molecular más flexible y resistente a la retrogradación. Las moléculas del plastificante no se unen químicamente al polímero y pueden evaporarse con el tiempo (Macías y Zambrano 2023).

2.2.5.2. Caracterización de polímeros

Los plásticos varían significativamente en composición y estructura, comparten un conjunto de propiedades que los distingue de otros materiales. La Tabla 3 ilustra un ejemplo de algunas de estas propiedades comunes a todos los plásticos (RICO y GOMIS 2012).

Tabla 3

Densidad, conductividad térmica y eléctrica de diferentes materiales

Material	Densidad (g/cm ³)	Cond. Term. (W/mK)	Cond Elec. (S)
Plásticos	0.9-2.3	0.15-0.5	---
PE	0.9-1.0	0.32-0.4	---
PC	1.0-1.2	---	---
PVC	1.2-1.4	---	10 ⁻¹⁵
Acero	7.8	17.5	5.6
Aluminio	2.7	211	38.5
Aire	---	0.05	---

Nota. Adaptado del libro "Tecnología de Polímeros. Procesado y Propiedades" (2012).

2.2.5.3. Propiedades mecánicas de los polímeros

Las propiedades mecánicas de los materiales reflejan cómo responden a las fuerzas que actúan sobre ellos, lo que es crucial para comprender su comportamiento ante diferentes condiciones. Es fundamental tener un conocimiento detallado de estas propiedades antes de someter un material a tensiones que puedan comprometer su integridad física (Vélez et al. 2021) .

Según Holguin (2019), algunas de estas propiedades son las siguientes:

- Elasticidad: Esta propiedad se refiere a la capacidad de un material para recuperar su forma original una vez que se elimina la tensión aplicada.

- Plasticidad: Se refiere a la capacidad de un material para deformarse permanentemente cuando se somete a un esfuerzo aplicado, perdiendo así su forma original.
- Dureza: Indica la resistencia de un material a ser penetrado por otro, proporcionando información sobre su resistencia al desgaste en presencia de abrasivos.
- Fragilidad: Se refiere a la tendencia de un material a fracturarse sin experimentar deformación plástica cuando se somete a un esfuerzo.

2.2.5.4. Resistencia a la Tracción

Es una propiedad mecánica que se examina mediante el ensayo de tracción realizado en muestras de material, con el fin de entender su capacidad de resistir y comportarse ante fuerzas de tracción. Durante este proceso, la muestra se somete a fuerzas opuestas en ambos extremos hasta que se produce su ruptura (Castillo 2022).

2.2.5.5. Elongación

Es un tipo de deformación que ocurre cuando un material experimenta cambios en su forma debido a la tensión aplicada. Cuando nos referimos a la tensión, la muestra se deforma mediante el estiramiento, que es lo que denominamos elongación. La elongación final es esencial para cualquier tipo de material, ya que indica hasta qué punto puede estirarse una muestra antes de romperse. Por otro lado, la elongación elástica representa el porcentaje de elongación que puede alcanzarse sin que la muestra experimente una deformación permanente. En otras palabras, indica hasta qué punto puede estirarse la muestra y luego recuperar su longitud original una vez que se suspende la tensión (Domínguez 2022).

2.2.5.6. Biodegradación

La biodegradación se refiere a cualquier cambio físico o químico en un material causado por la actividad biológica, donde los microorganismos descomponen hidrocarburos como polímeros en productos naturales como dióxido de carbono, agua, metano y compost, dependiendo de si el proceso es aeróbico o anaeróbico, y está influenciado por condiciones ambientales y características del material (Goel et al. 2021).

Este proceso, también conocido como biorremediación, es llevado a cabo por microorganismos como bacterias y hongos, que liberan enzimas para descomponer la estructura molecular del plástico, reduciendo su peso con el tiempo, y es ampliamente respaldado por la comunidad científica debido a su eficacia en condiciones aeróbicas o anaeróbicas. Los avances en ingeniería genética han facilitado la creación de organismos transgénicos utilizados en la biorremediación para abordar problemas de contaminación, mediante el desarrollo de plantas y microorganismos genéticamente modificados para mejorar su capacidad de degradación de agentes contaminantes a través de la remediación microbiana, degradación enzimática y fitorremediación (Posada et al. 2023).

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Almidón de Cáscara de plátano verde

La cáscara de plátano contiene almidón, un polímero natural vegetal, adecuado para producir películas biodegradables. Su punto de gelatinización, entre 60 y 70 grados Celsius, lo hace soluble en agua caliente pero no en fría, evitando así la absorción de agua bajo estas condiciones. Principalmente compuesto por amilosa y amilopectina, siendo esta última predominante, el almidón de cáscara de plátano es idóneo para productos biodegradables. Se extrae de frutas no maduras, obteniéndose 18 gramos de almidón de 300 gramos de cáscara de plátano (Acosta 2021).

Las cáscaras de plátano verde tienen aproximadamente un 30% de almidón en su masa seca, lo que las convierte en un recurso importante. El almidón de estas cáscaras es adecuado para diversos productos debido a sus propiedades, como su temperatura de gelatinización a 65 °C, influenciada por la concentración de sacarosa, y su viscosidad relacionada con el contenido de amilosa y el fenómeno de retrogradación. La extracción de almidón se puede realizar mediante métodos seco y húmedo, dependiendo de la materia prima y bajo la influencia de la temperatura y el tiempo (Alarcón y Caicedo 2021).

Para la presente investigación se está considerando, al almidón de la cáscara de plátano verde como materia prima para la elaboración de diversos productos biodegradables. Esto es relevante ya que la cáscara de plátano, que

frecuentemente se considera un residuo orgánico, contiene una cantidad sustancial de almidón que puede ser aprovechado. El proceso de extracción del almidón se realiza mediante el método seco, donde se debe tener en cuenta tanto el tiempo como la temperatura durante el secado del floema para lograr un alto rendimiento. Posteriormente, el material se muele y tamiza para obtener el almidón requerido.

2.3.2. Elaboración del Bioplástico

El bioplástico elaborado a partir de almidón de plátano comparte características con los plásticos fabricados a partir de derivados del petróleo. La principal diferencia entre el plástico convencional y el producido con almidón radica en que el segundo es completamente biodegradable y no tóxico. Una vez degradado, puede incluso utilizarse como material de compostaje (abono). Esta ventaja se deriva de la naturaleza vegetal de la materia prima, lo que reduce nuestra dependencia del petróleo, que ha dominado nuestra sociedad durante décadas (Castillo et al. 2015).

La elaboración de bioplásticos requiere, además de almidón, la inclusión de plastificantes como la glicerina, agua y otros, con el fin de obtener un producto que posea las características físico-químicas y mecánicas adecuadas. Esto es necesario para asegurar la producción de un producto con la resistencia necesaria para su uso en diversas aplicaciones industriales (Cruz et al. 2021).

Los atributos físico-mecánicos son determinantes para la calidad del bioplástico y abarcan aspectos como la tracción, que se refiere al aumento de la carga aplicada en relación con la tensión, la elongación, que implica la deformación o alargamiento de un material entre dos puntos hasta su ruptura, y la degradabilidad (Contreras y Quispe 2020).

Para la presente investigación se está considerando la elaboración del bioplástico a partir de almidón, el cual es completamente biodegradable debido a su origen vegetal. Este material resulta de una síntesis que implica la combinación de plastificantes, agua, ácido acético, entre otros componentes, con el propósito de obtener un producto con características físico-mecánicas específicas. Esto incluye la resistencia a la tracción, que se refiere a la capacidad del material para resistir una carga antes de romperse, y la elongación, que

indica su capacidad para deformarse. Además, su biodegradabilidad los hace compostables y más sostenibles en términos ambientales.

2.4. Definición de términos básicos

Ácido Acético: Es representado por la fórmula $\text{CH}_3\text{-COOH}$ o ácido etanoico según la IUPAC, es un compuesto químico con puntos de fusión y ebullición de $16,6\text{ }^\circ\text{C}$ y $117,9\text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. En disolución acuosa, puede formar su base conjugada, el anión acetato, al perder un hidrógeno del grupo carboxilo, lo que lo convierte en un ácido débil con una constante de disociación de $K_a = 1,75 \cdot 10^{-5}$ a $20\text{ }^\circ\text{C}$. Ampliamente utilizado en la industria alimentaria como componente principal del vinagre, el ácido acético desempeña un papel crucial en la transformación de azúcares y grasas en energía, así como en la regulación del colesterol y el equilibrio del pH para mantener funciones metabólicas y fisiológicas normales (Ariza y Gómez 2022).

Ácido cítrico: Este ácido se encuentra de forma natural en diversos tejidos vegetales, especialmente en plantas cítricas como limones y limas, donde se produce abundantemente y con niveles bajos de ácido málico. Otros frutos como cerezas, fresas y frambuesas también contienen ácido cítrico en proporciones similares al ácido málico. Históricamente, limones, limas y piñas han sido las principales fuentes comerciales naturales de ácido cítrico.

En la producción industrial, el ácido cítrico se obtiene mediante la fermentación fúngica de la glucosa. (Ventura-Muñoz et al. 2019).

Agua destilada: El agua puede ser sometida a procesos de destilación para retirarles todos sus elementos disueltos como microorganismos, y llevarla a un estado de máxima pureza. El agua destilada no es distinta molecularmente del agua ordinaria, pues se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O). Sin embargo, ha sido despojada de las sales minerales que usualmente la acompañan, como fluoruros y otros electrolitos (Vanegas 2020).

Celulosa: Es una valiosa fuente renovable, ya que forma parte de la pared celular de todas las plantas junto con la lignina y la hemicelulosa, aunque su proporción puede variar según la especie. Se estima que la celulosa constituye alrededor del 33% de la materia vegetal, siendo el algodón y la madera ejemplos destacados por su alto contenido de este polímero orgánico (Curilla y Dias 2020).

Compostable: Materiales susceptibles de descomposición en entornos biológicos controlados mediante un estándar que involucra diversos microorganismos (Atiwesh et al. 2021).

Degradación abiótica: Es la descomposición a través de procesos químicos y físicos (pH, luz, calor, etc) (Cahuana 2019).

Floema: Se compone de tubos cribosos, los cuales son células vivas que carecen de núcleo y contienen citoplasma con perforaciones o poros en su membrana. Su función principal es transportar los productos de la fotosíntesis desde las hojas hasta todos los órganos y tejidos de la planta (Alvarado 2020).

Gelatinización: Es un proceso en el cual el almidón, al ser calentado en presencia de agua, experimenta un aumento en su tamaño y se hincha debido a la absorción de agua. Esto conlleva a la ruptura de los gránulos de almidón, liberando la amilosa y la amilopectina en el agua, lo que resulta en la formación de una mezcla viscosa. Este proceso es fundamental en la cocina y la industria alimentaria, ya que es responsable de la textura y consistencia de muchos alimentos cuando se cocinan (Avellán et al. 2021).

Gelificación Térmica: Es un proceso en el cual se modifica la temperatura de acuerdo con la propiedad que se desea evaluar. En este proceso, un agente plastificante se introduce rápidamente a través de los poros del material a recubrir, de forma irreversible. Esta acción conduce a la adsorción del plastificante, generando la formación de conglomerados entre las partículas del material (Quintanilla 2023).

Glicerina: Es un tipo de alcohol líquido que se emplea en la industria cosmética por sus propiedades beneficiosas para la piel. Se utiliza en la elaboración de diversos productos cosméticos, como el jabón, y también puede ser aprovechada en la preparación de remedios caseros (Espinoza y Oscco 2021).

Pardeamiento Enzimático: Es un proceso crucial que ocurre en alimentos ricos en fenoles, como vegetales y mariscos, alterando su sabor, color y valor nutricional. Se desencadena por enzimas como la polifenol-oxidasa y la catecol-oxidasa, que convierten los fenoles en melaninas y benzoquinonas, dando lugar a pigmentos marrones en la superficie de los alimentos. Este fenómeno, también conocido como oxidación de los alimentos, requiere oxígeno para su desarrollo

y puede ser regulado mediante la inhibición de la actividad enzimática, lo que resulta fundamental para preservar la calidad de los alimentos (Cardona 2020).

Polímero: Es una molécula de gran tamaño, conocida como macromolécula, compuesta por unidades químicas simples llamadas monómeros, que se repiten a lo largo de su estructura. Por ejemplo, el etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) puede ser la unidad básica a partir de la cual se fabrica el polietileno ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$)_n, utilizado para producir envases de plástico, entre otros productos (Jaramillo et al. 2022).

Sorbitol: También conocido como glucitol, es un tipo de alcohol polihídrico que se incluye en el grupo de los osmolitos orgánicos, que son compuestos que ayudan a regular la presión osmótica. Cuando se encuentra presente en una solución, el sorbitol puede influir en la respuesta al estrés térmico y salino de otras moléculas, como proteínas y polímeros. Estas influencias pueden ser el resultado de interacciones directas entre el sorbitol y otras moléculas, así como de la estructura y dinámica del agua en la solución. (Tomás 2023)

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

El almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

3.1.2. Hipótesis Específica

La temperatura de secado de la obtención del almidón de cascara de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

El tiempo de secado de la obtención del almidón de cáscara de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

La proporción de almidón de la cáscara plátano verde influye significativamente en la elaboración del bioplástico.

3.1.3. Operacionalización de las variables

Tabla 4

Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	INDICE	MÉTODO	TÉCNICA
Y: Elaboración de Bioplásticos	Los bioplásticos elaborados a partir de almidón deben integrar plastificantes como la glicerina, así como agua y otros aditivos, para lograr un producto con propiedades físico-mecánicas apropiadas. (Cruz et al. 2021)	Plástico biodegradable con propiedades físico-mecánicas que dependerá de las proporciones de almidón de cascara de plátano verde y plastificantes.	Propiedades físico-mecánicas y biodegradación	Pruebas físico-mecánicas	MPa y %	Tracción y elongación	Observación experimental con el equipo Omnitest-25
				Porcentaje degradación	%	Biodegradación anaerobia	Observación experimental de la biodegradación en suelo
X: Almidón de cascara de plátano verde (<i>Musa paradisiaca</i>)	El almidón contenido en la cascara de plátano ofrece la posibilidad de fabricar diversos productos debido a sus propiedades adecuadas para este fin. El proceso de extracción de almidón se divide en dos métodos, el método seco y el húmedo. (Alarcón y Caicedo 2021)	La cascara de plátano verde en distintas proporciones de masa será sometida a un proceso de secado, ajustando la temperatura y tiempo para la elaboración de almidón.	Almidón de cascara de plátano verde	Temperatura de secado	90°C 105 °C	Térmico	Observación experimental Ficha de observación N° 1
				Tiempo de secado	6 h 8 h	Cronometría	Observación experimental Ficha de observación N° 2
				Proporción de almidón	12% 14%	Gravimetría	Observación experimental Ficha de observación N° 3

Nota. Y=Variable Dependiente, X= Variable Independiente.

IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Diseño Metodológico

El estudio presenta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en una serie de procedimientos específicos, como la manipulación de la cáscara de plátano verde según su temperatura y tiempo de secado, así como la variación en la proporción de almidón. Estos aspectos se consideran en la recopilación y análisis de datos numéricos para examinar cómo la variable en estudio afecta diversas propiedades de los bioplásticos. Según Hernández y Mendoza (2018), el enfoque cuantitativo se caracteriza por la recopilación y análisis de datos numéricos para medir variables y examinar relaciones entre ellas. Utiliza instrumentos como pruebas estandarizadas o fichas para recolectar información y técnicas estadísticas para analizar los datos con el objetivo de identificar patrones, tendencias y asociaciones entre las variables estudiadas.

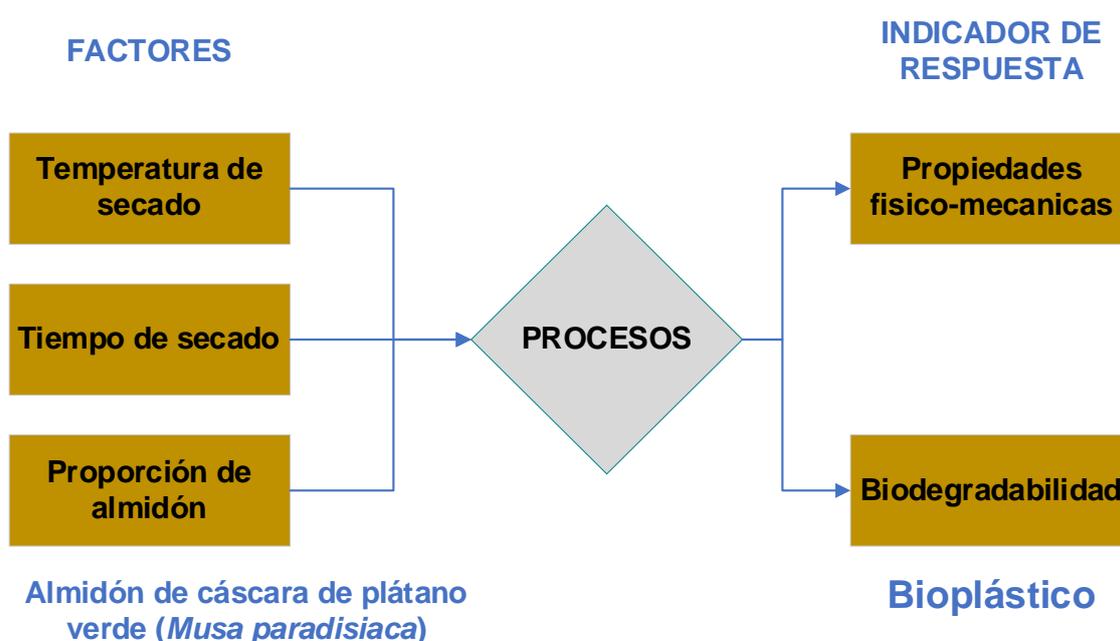
El tipo de investigación se clasifica como aplicada, dado que busca desarrollar un bioplástico a partir de la cáscara de plátano verde como una alternativa al plástico convencional. Se basa en conocimientos previos, como la extracción y polimerización del almidón, para crear un producto sostenible, según la definición proporcionada por Romero Urréa et al. (2021), este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque en la aplicación de conocimientos existentes. Además, se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, ya que se apoya en los resultados y avances de esta última.

El nivel de investigación es explicativo ya que no se limita solo a describir las propiedades del bioplástico elaborado a partir del almidón de la cáscara de plátano verde, sino que también intenta identificar y explicar los efectos de diferentes parámetros (como la temperatura de secado, el tiempo de secado y la proporción de almidón) en las propiedades del bioplástico (como la tracción de rotura, la elongación y la biodegradación), según Hernández y Mendoza (2018), implica el estudio de las relaciones causales entre variables, buscando comprender el porqué y el cómo de los fenómenos estudiados. Este nivel va más allá de la simple descripción de hechos y se enfoca en establecer conexiones entre variables para explicar fenómenos y predecir resultados.

El estudio se caracteriza por utilizar un diseño experimental, ya que se enfoca en manipular variables clave de la cáscara de plátano verde, como su temperatura y tiempo de secado, así como la proporción de almidón, para luego evaluar las propiedades del bioplástico resultante. Ramos (2021) sostiene que el diseño se distingue por la manipulación deliberada de la variable independiente y el análisis de cómo esto afecta a una variable dependiente, tal como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Diseño Experimental



El estudio utilizó un diseño factorial fraccionado 2^{3-1} para comparar diversos tratamientos o condiciones y determinar cuáles tienen mayor influencia en las propiedades del bioplástico. Se centró en la temperatura y el tiempo de secado para la obtención de almidón a partir de cáscaras de plátano verde, así como en las proporciones de almidón en la elaboración del bioplástico, con 3 repeticiones para cada tratamiento. Según Fernández (2020), este tipo de diseño permite evaluar de manera eficiente múltiples factores y sus interacciones con un número reducido de experimentos.

Tabla 5*Tratamiento para la elaboración del Bioplástico*

N°	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de Secado (h)	Proporción de almidón (%)	Trx, E y B
Tratamiento 1	90	6	14	Y
Tratamiento 2	105	6	12	Y
Tratamiento 3	90	8	12	Y
Tratamiento 4	105	8	14	Y

Nota. Trx: Tracción, E: Elongación, B: Biodegradabilidad.

4.2. Método de investigación

El estudio de elaboración de bioplástico a partir de cáscara de plátano verde se basa en un enfoque metodológico hipotético-deductivo. Esto implica la formulación de hipótesis sobre cómo ciertas variables, como la temperatura de secado, el tiempo de secado y la proporción de almidón, afectarán las propiedades del bioplástico. Estas hipótesis se derivan de teorías existentes y conocimientos previos sobre la elaboración de bioplásticos y se ponen a prueba mediante experimentos controlados. Los resultados de estos experimentos se utilizan para validar o refutar las hipótesis iniciales, lo que contribuye al avance del conocimiento en este campo y proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Tal como señala Sánchez (2019), el método hipotético-deductiva consiste en la generación de hipótesis a partir de dos premisas, una universal y otra empírica, para llevarla a la contrastación empírica. Tiene la finalidad de comprender los fenómenos y explicar el origen o las causas que la generan.

4.2.1. Materiales, Insumos y Equipos

- Cáscara de Plátano Verde, utilizando como suministro de materia prima para la realización de los experimentos, proveniente del Mercado central del Callao
- Cooler de 7 L

- Cuchillo
- Exprimidor
- Licuado de cáscara de limón, será utilizado como solución anti pardeamiento para la cáscara de plátano verde
- Papel de aluminio de 5 m
- Balanza analítica de 200g de capacidad
- Estufa
- Pilon y Mortero
- Agua destilada de 1 L
- Tamiz N° 60
- Ácido Acético de 1L de capacidad
- Glicerina de 1 L de capacidad
- Plancha eléctrica
- Vaso precipitado de 100 ml
- Vaso precipitado de 500 ml
- Vaso precipitado de 1000 ml
- Espátula
- Pipeta de 5 ml y propipeta
- Pinzas
- Aceite vegetal

En el Anexo 5 se visualiza los materiales y equipos mencionados.

4.2.2. Procedimiento

Paso 1: Recolección y selección de la cáscara de plátano verde

Las cáscaras de plátano verde fueron recolectadas en los establecimientos del Mercado Central del Callao, tal como se muestra en la Figura 6, conservándolo en un cooler de 7 L. De esta muestra mediante ensayo de análisis proximal en laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (SLab Perú) se determinó sus características tales como Carbohidratos, Ceniza, Energía total, Grasa, Humedad, Proteínas (Anexo 7)

Figura 6

Recolección de la cáscara de plátano verde

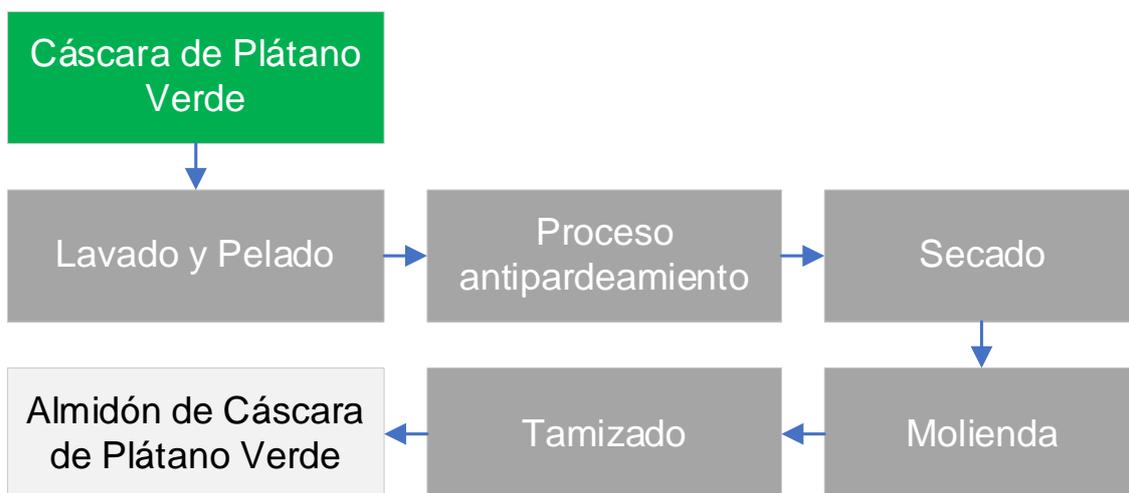


Paso 2: Extracción del almidón mediante el proceso de vía seca a partir de la cáscara de plátano verde

En la Figura 7, se presenta el desarrollo de procesos para la obtención de almidón de cáscara de plátano verde.

Figura 7

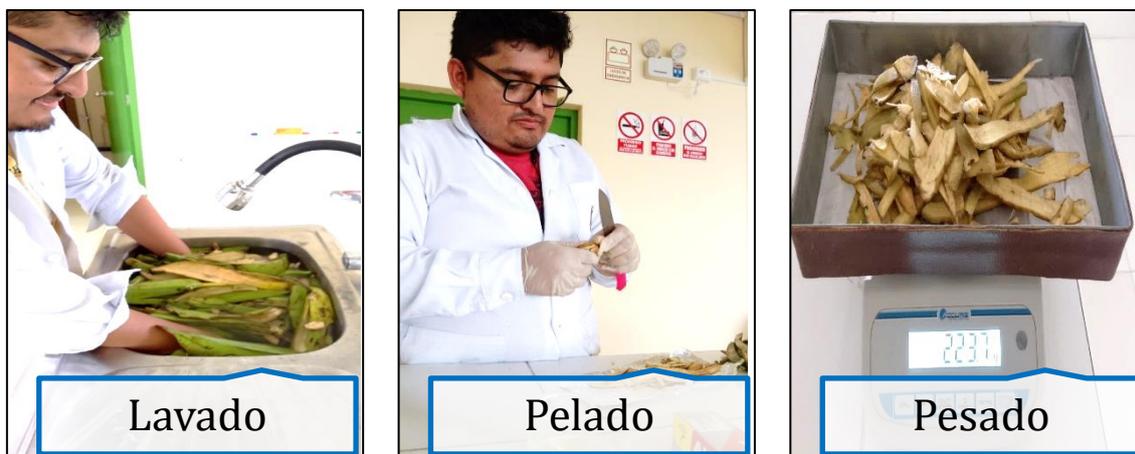
Procesos para la obtención del almidón



En la Figura 8, se lavó la cascará de plátano verde con agua destilada y se extrajo el floema para su pesado.

Figura 8

Extracción del floema de la cáscara de plátano verde



Luego se aplicó la solución anti pardeamiento es decir licuado de limón en vaso precipitados de 500 ml por un periodo de 15 minutos para posteriormente ser secado en la estufa a temperatura de 90 y 105 °C con diferente tiempo de 6 y 8 horas tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Aplicación de la solución de anti pardeamiento y secado de la cáscara de plátano verde



En la Figura 10, el floema secado se pesó en la balanza analítica, para luego con el mortero y pilón seguir con su molienda en partículas finas y homogéneas, que fueron tamizadas con la malla N° 60 para obtener el almidón.

Figura 10

Producción de almidón de la cáscara de plátano verde

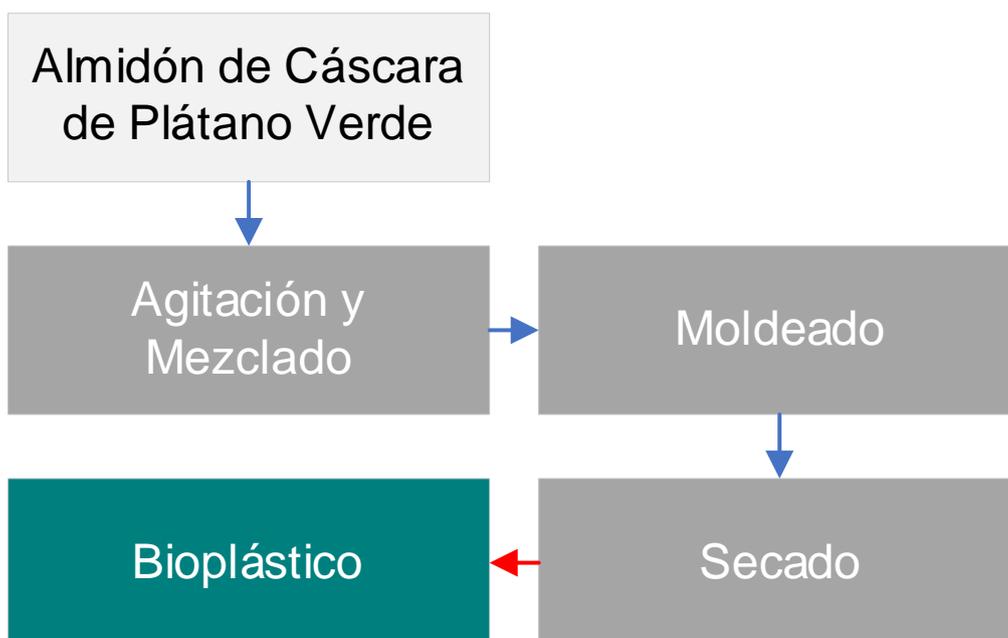


Paso 3: Elaboración del bioplástico obtenido a partir de la cáscara de plátano verde

En la Figura 11, se presenta el desarrollo de procesos para la obtención de almidón de cáscara de plátano verde.

Figura 11

Elaboración del Bioplástico

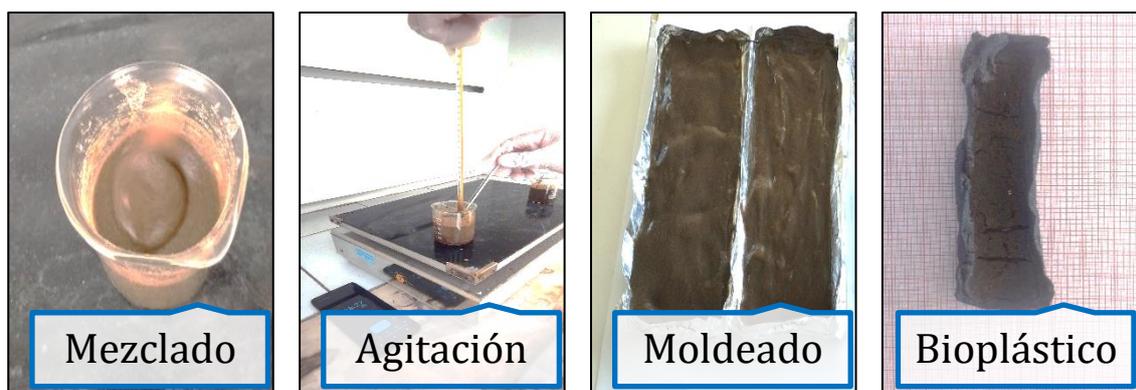


La Figura 12 presenta el proceso combinando el almidón en proporciones de 12% y 14% con 60 ml de agua destilada en un recipiente de precipitados de 100 ml. A continuación, se calentó la mezcla utilizando una plancha eléctrica a temperatura de 70 °C donde se gelificó la mezcla, mientras se agitó

constantemente con una bagueta. Después, se incorporó 5 ml de glicerina y 10 ml ácido acético hasta obtener una mezcla uniforme. Posteriormente, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente y se aplicó aceite vegetal en un molde de aluminio. Finalmente, se secaron a 100 °C durante 6 horas y se dejó enfriar a temperatura ambiente para que se endurezca.

Figura 12

Elaboración de Bioplástico



Paso 4: Evaluación del bioplástico obtenido a partir de la cáscara de plátano verde

Las propiedades físico-mecánicas del bioplástico se evaluaron en un laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (Slab Perú); donde se realizaron los siguientes ensayos:

- **Ensayo de Tracción**

Los esfuerzos de tensión y compresión se consideran como esfuerzos normales, que ocurren cuando la fuerza actúa perpendicularmente al área de interés, lo que resulta en elongación o acortamiento, respectivamente tal como se presenta en la Ecuación 1.

$$\frac{P}{F} = \text{Tensión } (\sigma) \quad (1)$$

En el Sistema Internacional de Unidades, las tensiones se expresan comúnmente en megapascales, siendo 1 MPa equivalente a 10^6 N/m² o 1 N/mm², y en algunos casos, en gigapascales, donde 1 GPa es igual a 10^3 MPa. Otras veces, se utiliza la antigua unidad del Sistema Inglés, libras por pulgada

cuadrada, y para la conversión de psi a MPa, el factor es aproximadamente 1 MPa equivalente a 145 psi (Askeland y Wright 2017).

Se empleó una muestra de dimensiones 5 cm de ancho por 15 cm de largo, la cual se aseguró en los extremos con mordazas y se montó en el equipo, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13

Ensayo de Tracción



Nota. Obtenido de Slab Perú S.A.C.

- **Ensayo de Elongación**

Se evaluó la elongación en términos de porcentaje, que se calcula dividiendo la longitud final de la muestra después del estiramiento (L) por su longitud original (L_0), y luego multiplicando el resultado por 100, tal como se presenta en la Ecuación 2.

$$\frac{L}{L_0} * 100\% = \textit{Elongación} \quad (2)$$

Hay varios aspectos asociados con la elongación que varían según el tipo de material bajo estudio. Dos medidas importantes son la elongación final y la elongación elástica. Se realizó ensayos a una muestra de dimensiones 5 cm de ancho por 15 cm de largo, la cual se aseguró en los extremos con mordazas y se montó en el equipo, como se muestra en la Figura 14

Figura 14

Ensayo de Elongación



Nota. Obtenido de Slab Perú S.A.C.

- **Prueba de Biodegradabilidad**

La biodegradabilidad se evaluó por el método gravimétrico, en un tiempo de exposición de 30 días, y se analizó la pérdida de peso cada 10 días en condiciones anaeróbicas (10 cm de profundidad). Se tomaron varias muestras de dimensiones de 5 cm x 15 cm. Se calculó la pérdida de peso según la siguiente Ecuación 3.

$$\% \text{ Perdida de peso} = \left[\frac{\text{peso inicial} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} \right] * 100 \quad (3)$$

El suelo para esta prueba se recolecto de áreas verdes cercanas al lugar de investigación. Se utilizaron recipientes de 15 cm de altura y malla de 20 cm x 20

cm para cada tratamiento para poder garantizar que las condiciones del suelo se mantenían constantes durante toda la experimentación, así como las condiciones anaeróbicas planteadas, tal como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

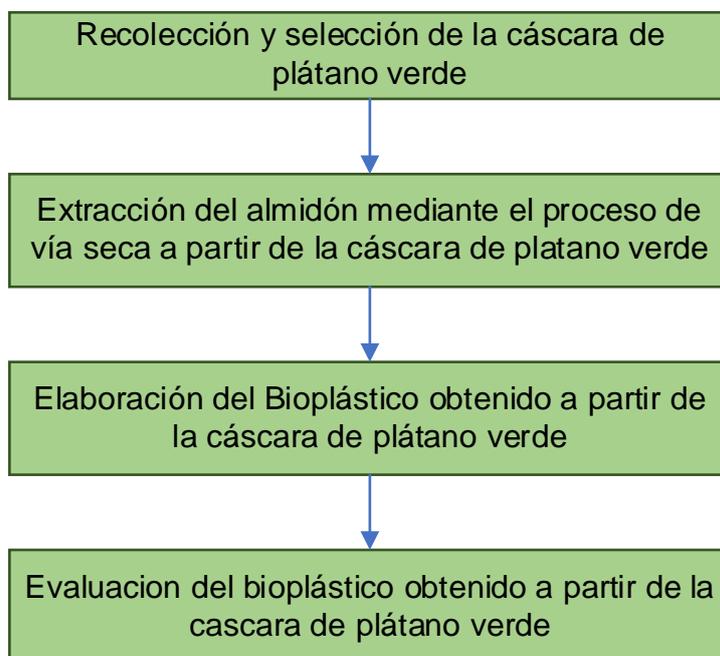
Prueba de Biodegradación



En definitiva, las cáscaras de plátano verde procedente del Mercado central del Callao, se caracterizaron sus propiedades (Anexo 7) y se describe su proceso en almidón. Para este último proceso se requirió de un lavado, pelado y secado en la estufa. El bioplástico a partir de almidón se sometió a diferentes ensayos de las propiedades físico-mecánicas y biodegradación. En la Figura 16, se presenta el procedimiento de investigación empleado.

Figura 16

Procedimiento de Investigación



4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población

La población comprende todas las unidades de estudio que poseen las características necesarias para ser consideradas en la investigación, ya sean personas, objetos, grupos o fenómenos (Ñaupas et al. 2018).

La población del estudio fueron todas las cáscaras de plátano verde procedente de los establecimientos del Mercado central del Callao, ubicado en la Av. Cochrane con Av. Sáenz Peña.

4.3.2. Muestra

La muestra se constituye como una porción seleccionada de la población, con el fin de representarla y recabar información relevante sobre la misma. En este estudio, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, donde los elementos de la muestra fueron elegidos de forma no aleatoria, sino considerando su disponibilidad y la experiencia de los investigadores. Se seleccionaron aquellos elementos fácilmente accesibles y dispuestos a participar en el momento de la investigación (Ñaupas et al. 2018)

La muestra utilizada en el estudio consistió en 2,5 kg de cáscara de plátano verde, recolectada mediante un muestreo intencional no probabilístico del Mercado Central del Callao, siguiendo la práctica común de varios autores. Se utilizó esta cantidad debido a que, la dosificación del almidón varía de 12% o 14%, y se mezcló proporcionalmente con los plastificantes en los cuatro tratamientos para la producción del bioplástico.

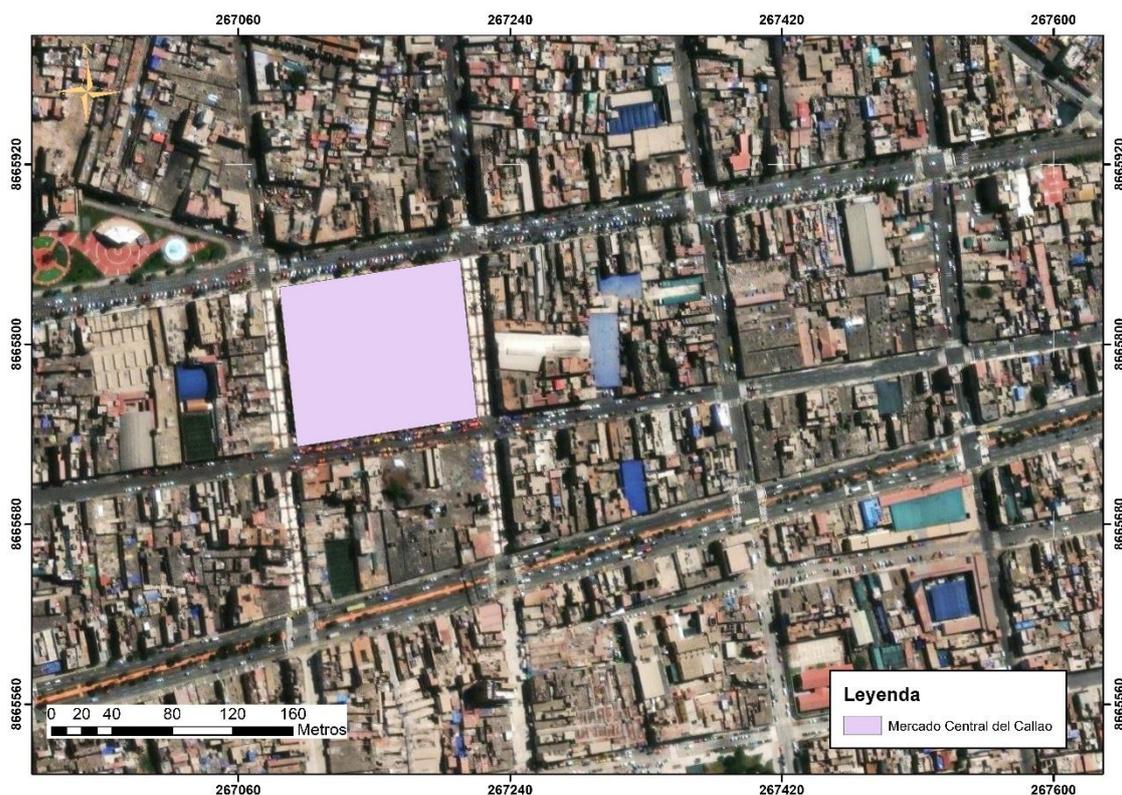
4.4. Lugar de estudio

El lugar donde se realizó la parte experimental fue en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao. Además, los análisis físico-mecánicos fueron realizados en el laboratorio acreditado Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. (Slab Perú).

Por otro lado, la cáscara de plátano verde proviene de los establecimientos del Mercado central del Callao, donde su ubicación se presenta en la Figura 17.

Figura 17

Ubicación del Mercado central del Callao



Nota.Datum: WGS 1984 UTM L18 S

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

4.5.1. Técnica para la recolección de la información

La técnica para recopilar la información durante la investigación fue:

La observación experimental se refiere a la recopilación sistemática y directa de información mediante un registro cuidadoso y detallado de los eventos. (Medina et al. 2023). Tales técnicas son presentadas en la Tabla 6.

Tabla 6

Técnicas para analizar datos

Parámetro	Técnica
Cáscara de plátano verde	Análisis proximal
Temperatura de secado	Registro de datos
Tiempo de secado	Registro de datos
Proporción de almidón	Registro de datos
Resistencia a tracción	ASTM D638
Elongación	ASTM D638
Biodegradación	ASTM D5511

4.5.2. Instrumento para la recolección de la información

Para la recolección de información se emplearon instrumentos adecuados al tipo de investigación, los cuales se presentan en la siguiente Tabla 7.

Tabla 7

Técnica e Instrumento de recolección de datos

Técnica	Instrumento de recolección de datos
Registro de datos	Ficha de observación N° 1. Análisis de propiedades físico-mecánicas y biodegradación según la temperatura de secado para la obtención de almidón (Anexo 2) Ficha de observación N° 2. Análisis de propiedades físico-mecánicas y biodegradación según el tiempo de secado para la obtención de almidón (Anexo 2) Ficha de observación N° 3. Análisis de propiedades físico-mecánicas y biodegradación según la proporción de almidón (Anexo 2) Ficha de observación N° 4. Análisis proximal de la cáscara de plátano verde (Anexo 2) Ficha de observación N° 5. Biodegradación del bioplástico (Anexo 2)

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Para la presente investigación, según López et al. (2019), el estudio se centró en el análisis y procesamiento de datos experimentales mediante técnicas estadísticas utilizando el software Minitab 21 y MS Excel 2019. Para ello, se implementó un diseño factorial fraccionado 2^{3-1} , que permitió evaluar la influencia de variables clave como la temperatura y el tiempo de secado, así como la proporción de almidón, en las propiedades del bioplástico.

A través de gráficos descriptivos, como diagramas de cajas y gráficos de barras, se examinaron los valores extremos y las tendencias de las variables de interés, como la tracción de rotura, la elongación y el porcentaje de biodegradación. Estos gráficos proporcionaron una representación visual clara de la distribución de los datos y permitieron identificar posibles patrones o relaciones entre las variables estudiadas.

Además, se llevaron a cabo análisis inferenciales, incluyendo optimización de superficie de respuesta, análisis de varianza, diagramas de Pareto y pruebas de normalidad y homogeneidad de residuos, con el fin de validar los resultados obtenidos y garantizar la confiabilidad de las conclusiones. Estas técnicas permitieron identificar de manera precisa y objetiva cualquier efecto significativo de las variables independientes en las propiedades del bioplástico.

4.7. Aspectos éticos en investigación

Los autores de la presente investigación titulada “ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024” aseguran la autenticidad y confiabilidad del estudio, que cumple fielmente al código de ética de investigación aprobado por RDU N° 210-2017-CU y la directiva N° 004-2022-R, establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados Descriptivos

5.1.1. Resultados descriptivos de los experimentos

Antes de interpretar los resultados de los indicadores en función de los factores, se presentan los factores del diseño experimental, que son la temperatura de secado, el tiempo de secado y la proporción de almidón. A continuación, se detallan los datos obtenidos de las propiedades físico-mecánicas y la biodegradación del bioplástico en la Tabla 8. Estos resultados descriptivos ofrecen una visión general del comportamiento de los datos obtenidos mediante los 4 tratamientos experimentales, los cuales se desarrollaron en triplicado y de manera aleatoria.

Tabla 8

Resultados experimentales de las propiedades físico-mecánicas y biodegradación

N°	TRATAMIENTO	°C	h	Alm %	TRACCIÓN (MPa)	ELONGACIÓN (%)	BIODEGRADACIÓN (%)
1	TR1	90	6	14	1.009	25.86	35.72
2	TR2	105	6	12	0.183	15.23	24.78
3	TR3	90	8	12	0.753	23.72	44.94
4	TR4	105	8	14	1.458	22.72	37.44
5	TR1	90	6	14	1.161	26.07	59.29
6	TR2	105	6	12	0.395	19.98	69.88
7	TR3	90	8	12	0.896	26.26	37.64
8	TR4	105	8	14	1.507	21.56	70.34
9	TR1	90	6	14	1.168	18.79	33.41
10	TR2	105	6	12	0.682	18.97	31.78
11	TR3	90	8	12	0.900	20.26	35.48
12	TR4	105	8	14	1.626	25.19	32.95

Nota. °C= Grados Celsius, h= Hora y Alm %=Proporción de Almidón.

La Tabla 9 presenta los valores promedio y la desviación estándar de la resistencia a la tracción, la elongación y la biodegradación del bioplástico, junto con sus valores máximos y mínimos para los tratamientos.

Tabla 9

Resultados Descriptivos de las propiedades físico-mecánicas y biodegradación

VARIABLE	N	Mínimo	Máximo	MEDIA	DESV.EST.
Tracción de rotura (MPa)	12	0.183	1.626	0.978	0.439
Elongación (%)	12	15.23	26.26	22.10	3.50
Biodegradación (%)	12	24.78	70.34	44.38	14.73

Nota. DESV. EST. = Desviación Estándar.

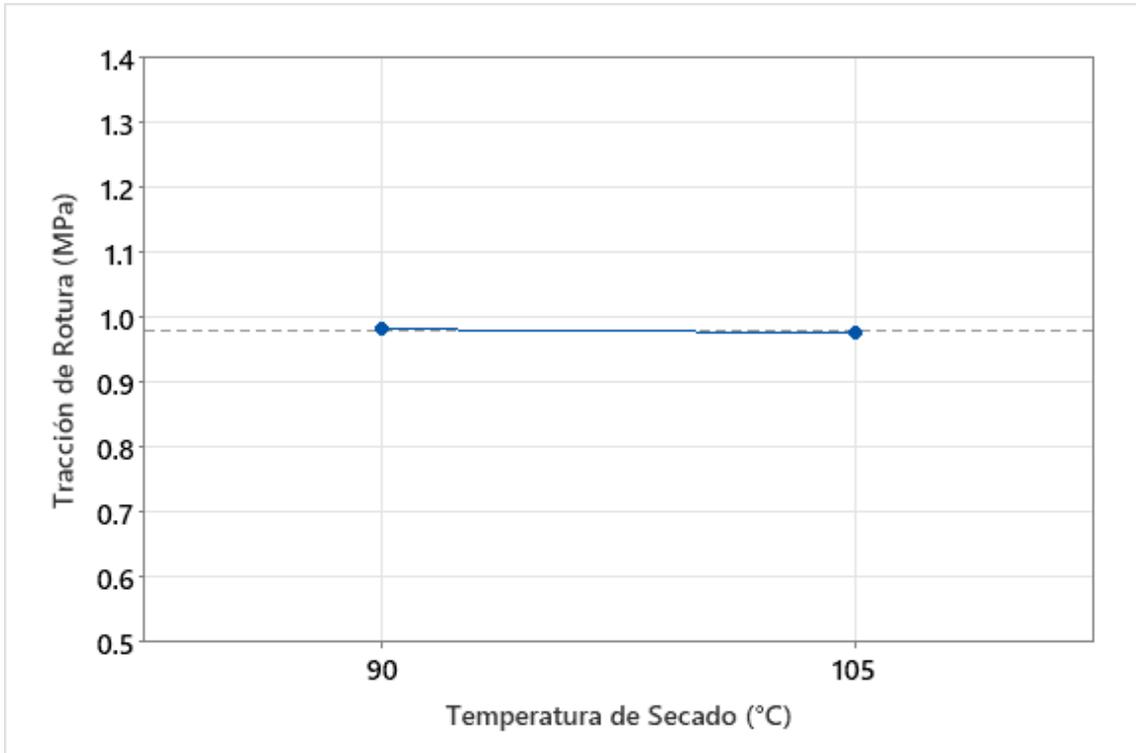
5.1.1.1. Resultados Descriptivos de la temperatura de secado

Se realizaron análisis de las propiedades físico-mecánicas y de biodegradación de los bioplásticos obtenidos, mediante ensayos de tracción de rotura, elongación y tasa de biodegradación, considerando la variación de la temperatura de secado del almidón de la cáscara de plátano verde entre 90 °C y 105 °C.

La Figura 18 muestra que el efecto de la temperatura es negativo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor tracción de rotura de 0.981 MPa en los bioplásticos se logra trabajando a una temperatura de secado de 90 °C.

Figura 18

Efectos principales entre la tracción de rotura y la temperatura de secado

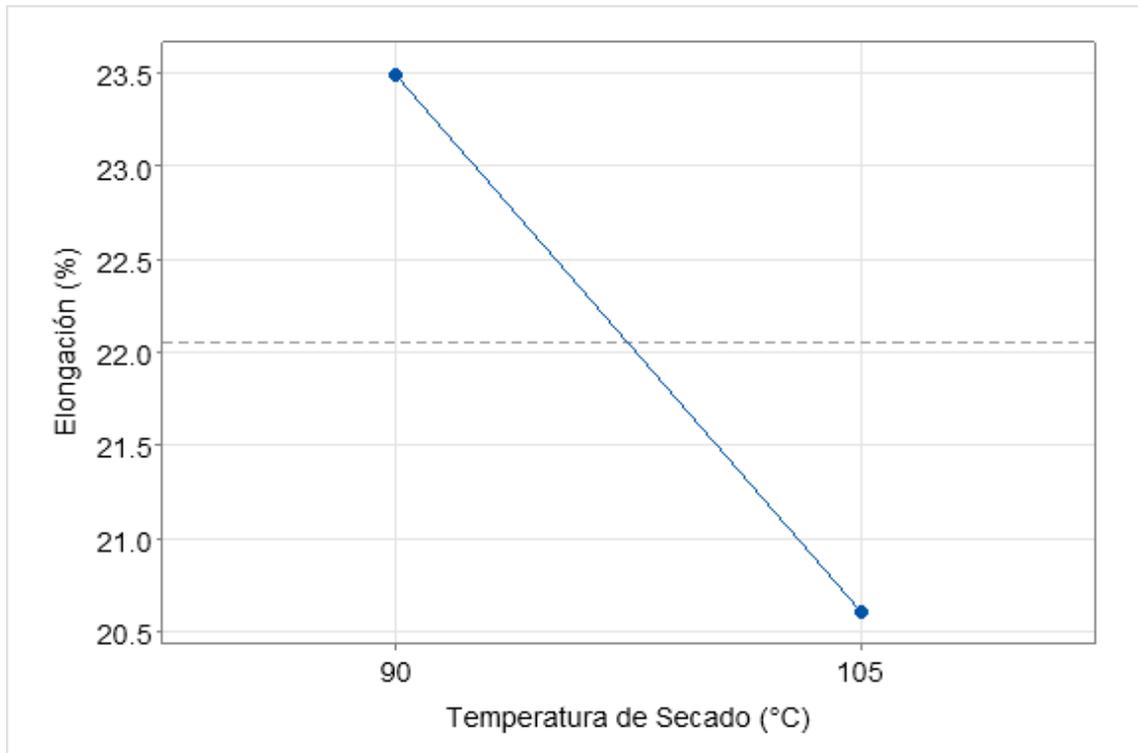


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 19 muestra que el efecto de la temperatura es negativo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor elongación de 23.5 % en los bioplásticos se logra trabajando a una temperatura de secado de 90 °C.

Figura 19

Efectos principales entre elongación y temperatura de secado

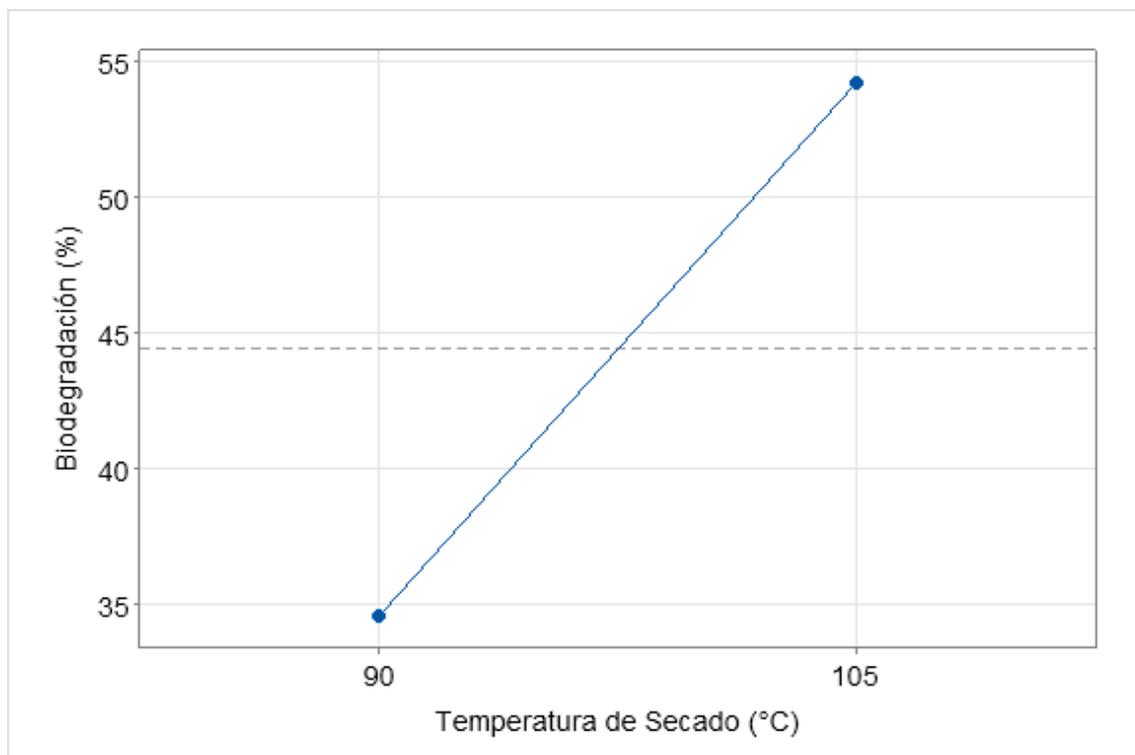


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 20 muestra que el efecto de la temperatura es positivo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor biodegradación de 54.2 % en los bioplásticos se logra trabajando a una temperatura de secado de 105 °C.

Figura 20

Efectos principales entre biodegradación y temperatura de secado



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

Se observa una tendencia en los datos recopilados en relación con la temperatura de secado. Es decir, se evidencia que este factor tiene un efecto positivo en el porcentaje de biodegradación del bioplástico, lo que indica que, a temperaturas más altas de secado, existe una mayor degradación del bioplástico. Por otro lado, se nota un efecto negativo en cuanto a la resistencia a la tracción y la elongación del bioplástico con respecto a la temperatura de secado. Este hallazgo sugiere que temperaturas más altas de secado pueden conducir a una disminución en la fuerza y la flexibilidad del material biodegradable.

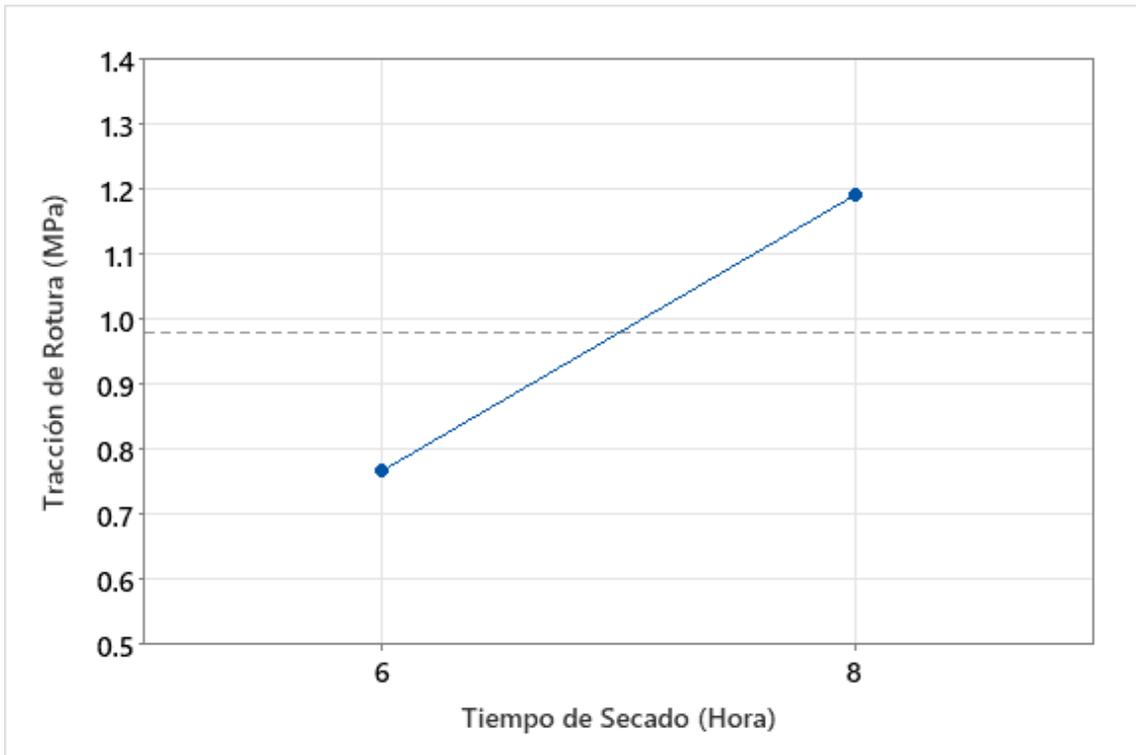
5.1.1.2. Resultados Descriptivos del tiempo de secado

Se realizaron análisis de las propiedades físico-mecánicas y de biodegradación de los bioplásticos obtenidos, mediante ensayos de tracción de rotura, elongación y tasa de biodegradación, considerando la variación del tiempo de secado del almidón de la cáscara de plátano verde entre 6 h y 8 h.

La Figura 21 muestra que el efecto del tiempo es positivo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor tracción de 1.190 MPa en los bioplásticos se logra trabajando a un tiempo de secado de 8 h.

Figura 21

Efectos principales entre tracción de rotura y tiempo de secado

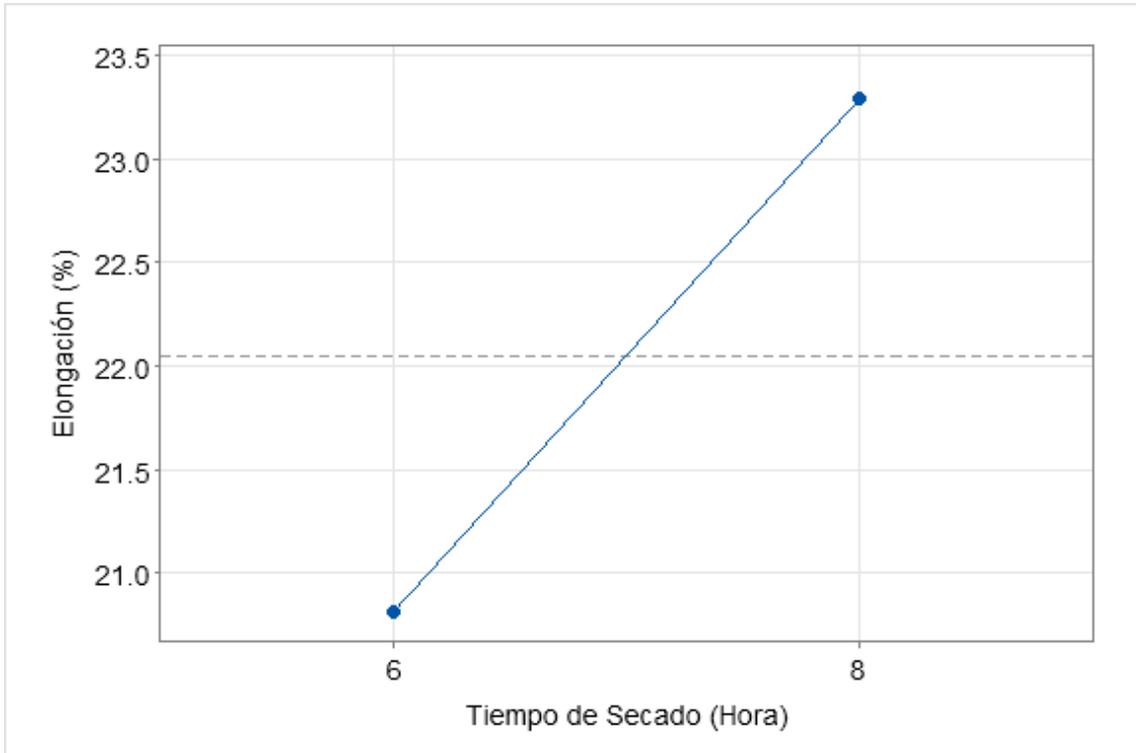


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 22 muestra que el efecto del tiempo es positivo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor elongación de 23.2 % en los bioplásticos se logra trabajando a un tiempo de secado de 8 h.

Figura 22

Efectos principales entre elongación y tiempo de secado

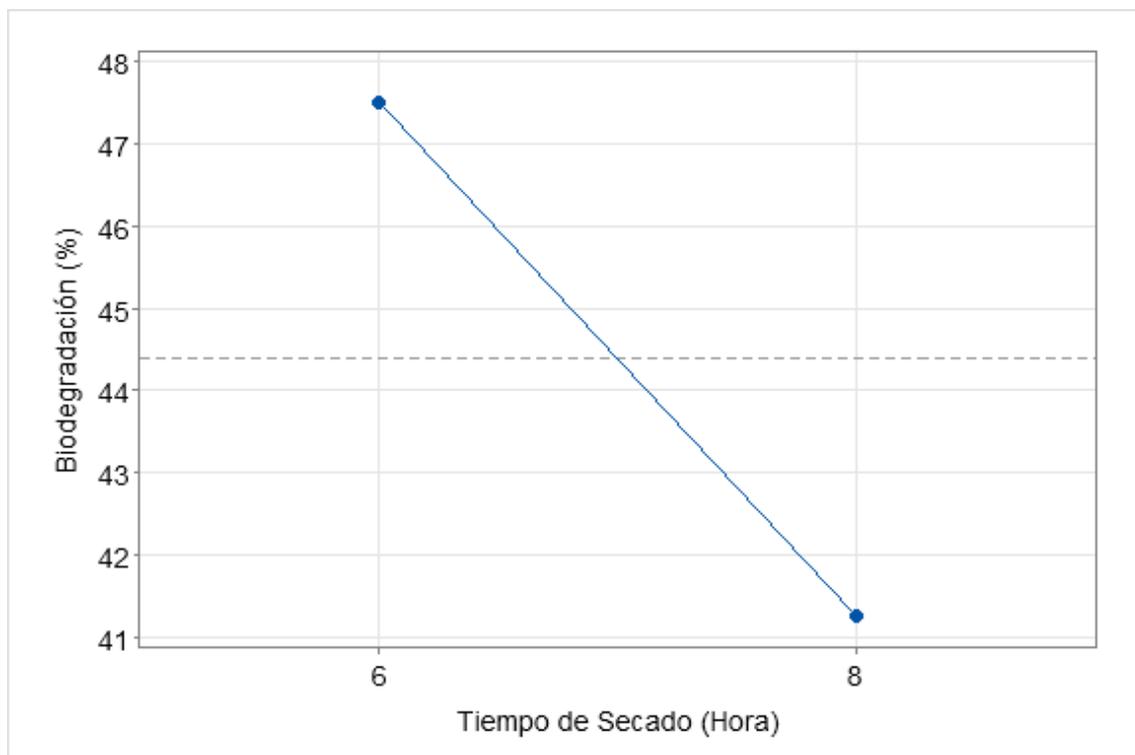


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 23 muestra que el efecto del tiempo es negativo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la biodegradación de 47.5 % en los bioplásticos se logra trabajando a un tiempo de secado de 6 h.

Figura 23

Efectos principales entre biodegradación y tiempo de secado



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

Se observa una tendencia en los datos recopilados en relación con el tiempo de secado. Es decir, se evidencia que este factor tiene un efecto positivo en cuanto a la resistencia a la tracción y la elongación del bioplástico, lo que indica que, a mayor tiempo de secado, existe una mayor resistencia a la tracción y elongación del bioplástico. Por otro lado, se nota un efecto negativo en el porcentaje de biodegradación del bioplástico con respecto al tiempo de secado. Este hallazgo sugiere que tiempos más largos de secado pueden conducir a una disminución en la biodegradación del material.

5.1.1.3. Resultados Descriptivos de la proporción de almidón

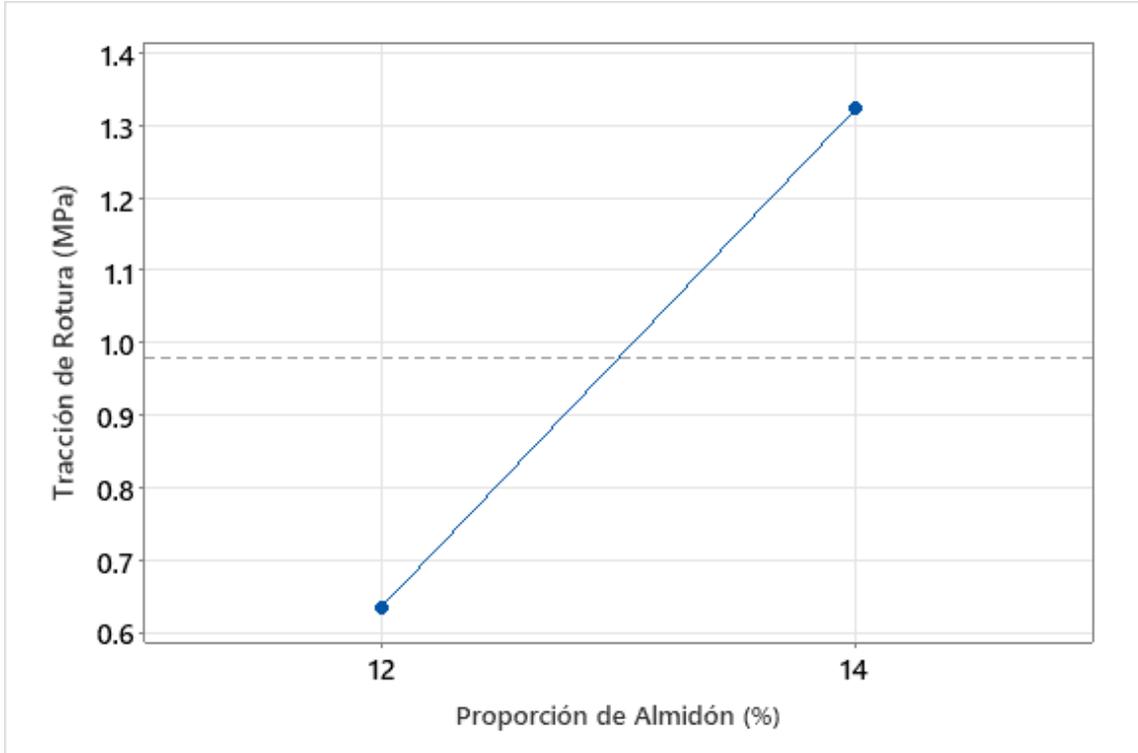
Se realizaron análisis de las propiedades físico-mecánicas y de biodegradación de los bioplásticos obtenidos, mediante ensayos de tracción de rotura, elongación y tasa de biodegradación, considerando la variación de la proporción de almidón de la cáscara de plátano verde entre 12 % y 14 %.

La Figura 24 muestra que el efecto de la proporción de almidón es positivo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor tracción

de rotura de 1.322 MPa en los bioplásticos se logra trabajando a una proporción de almidón de 14 %.

Figura 24

Efectos principales entre tracción de rotura y proporción de almidón

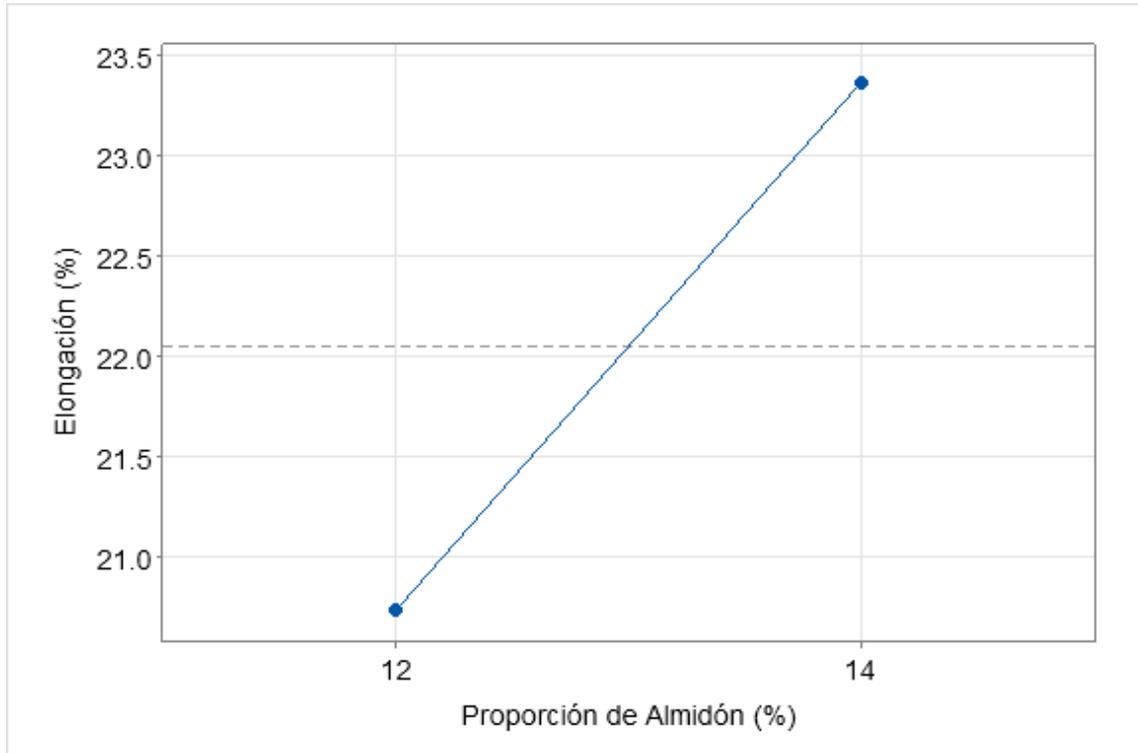


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 25 muestra que el efecto de la proporción de almidón es positivo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor elongación 23.4 % en los bioplásticos se logra trabajando a una proporción de almidón de 14 %.

Figura 25

Efectos principales entre elongación y proporción de almidón

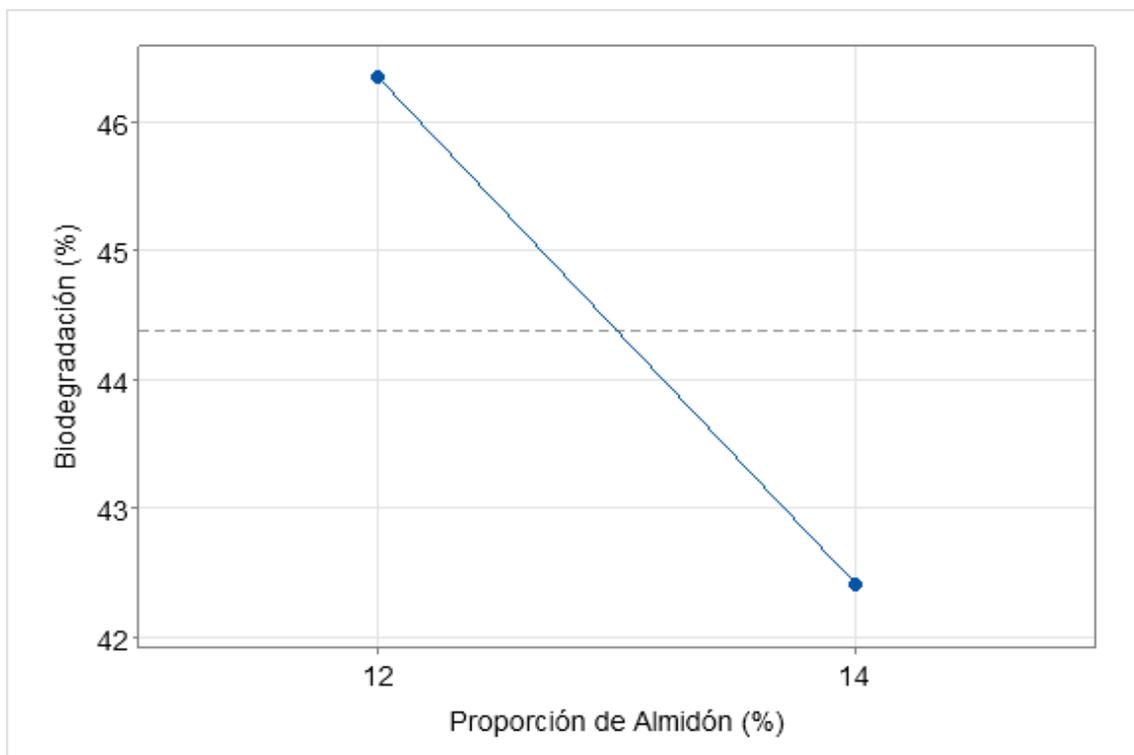


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

La Figura 26 muestra que el efecto de la proporción de almidón es negativo, sugiriendo que la mejor condición de tratamiento para alcanzar la mayor biodegradación de 46.3 % en los bioplásticos se logra trabajando a una proporción de almidón de 12 %.

Figura 26

Efectos principales entre biodegradación y proporción de almidón



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

Se observa una tendencia en los datos recopilados en relación con la proporción de almidón. Es decir, se evidencia que este factor tiene un efecto positivo en cuanto a la resistencia a la tracción y la elongación del bioplástico, lo que indica que, a mayor proporción de almidón, existe una mayor resistencia a la tracción y elongación del bioplástico. Por otro lado, se nota un efecto negativo en el porcentaje de biodegradación del bioplástico con respecto a la proporción de almidón. Este hallazgo sugiere que mayor proporción de almidón pueden conducir a una disminución en la biodegradación del material.

5.1.2. Resultados de la biodegradación

En la Tabla 10, se observa que el tratamiento dos (TR2) obtuvo la mayor media a los 30 días una media de 74% de biodegradación de bioplástico donde el máximo valor fue 80 %, el tratamiento uno (TR1) obtuvo la menor media de biodegradación con respecto a los demás tratamientos como se presenta.

Tabla 10*Resultados Descriptivos de la Biodegradación de Bioplástico*

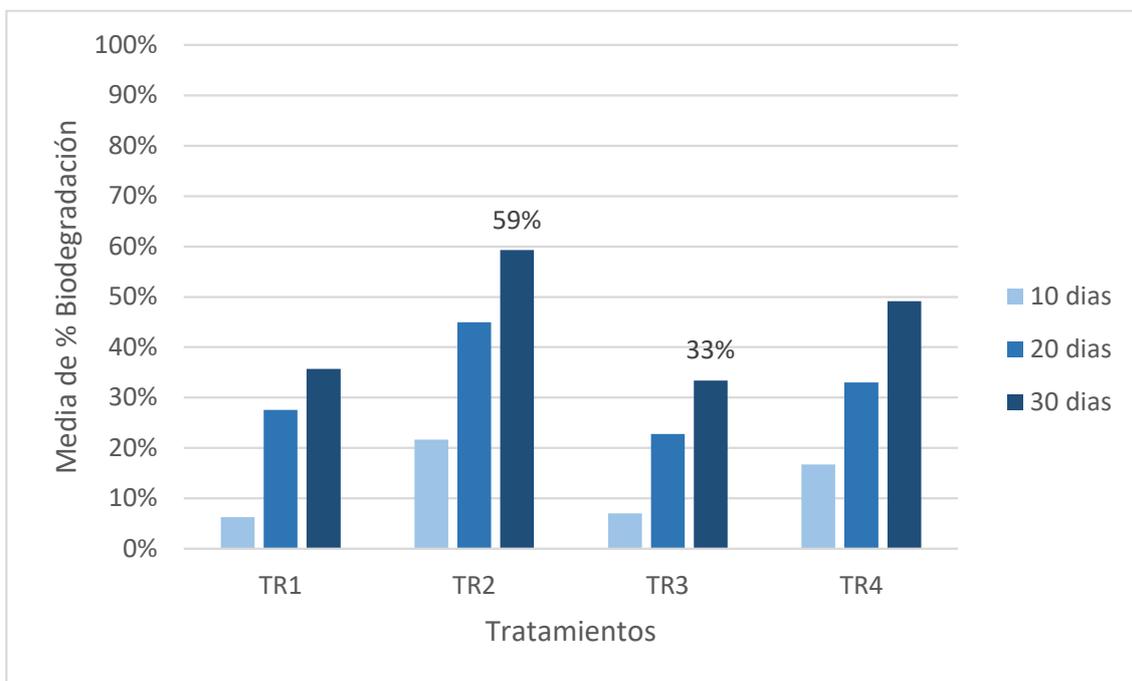
TRATAMIENTO	ESTADÍSTICA	0 DÍAS	10 DÍAS	20 DÍAS	30 DÍAS
TR1	Media	0	6%	28%	36%
	DESV. EST.	0	4%	9%	10%
	Mínimo	0	3%	18%	25%
	Máximo	0	11%	36%	45%
TR2	Media	0	22%	45%	59%
	DESV. EST.	0	6%	12%	19%
	Mínimo	0	16%	32%	38%
	Máximo	0	27%	56%	70%
TR3	Media	0	7%	23%	33%
	DESV. EST.	0	6%	1%	2%
	Mínimo	0	2%	22%	32%
	Máximo	0	13%	23%	35%
TR4	Media	0	17%	33%	49%
	DESV. EST.	0	4%	4%	9%
	Mínimo	0	13%	29%	39%
	Máximo	0	21%	37%	55%

Nota. DESV. EST. = Desviación Estándar. Resultados obtenidos del MS Excel 2019

En la Figura 27 se muestra el progreso de la biodegradación promedio del bioplástico producido en varios tratamientos. Se observa que el mayor índice porcentual se registró en el tratamiento TR2 (105 °C; 6 horas y 12 % de Almidón), alcanzando un 59 %, con un pico máximo del 70 % y un mínimo de 38 %.

Figura 27

Media de Biodegradación del Bioplástico durante treinta días

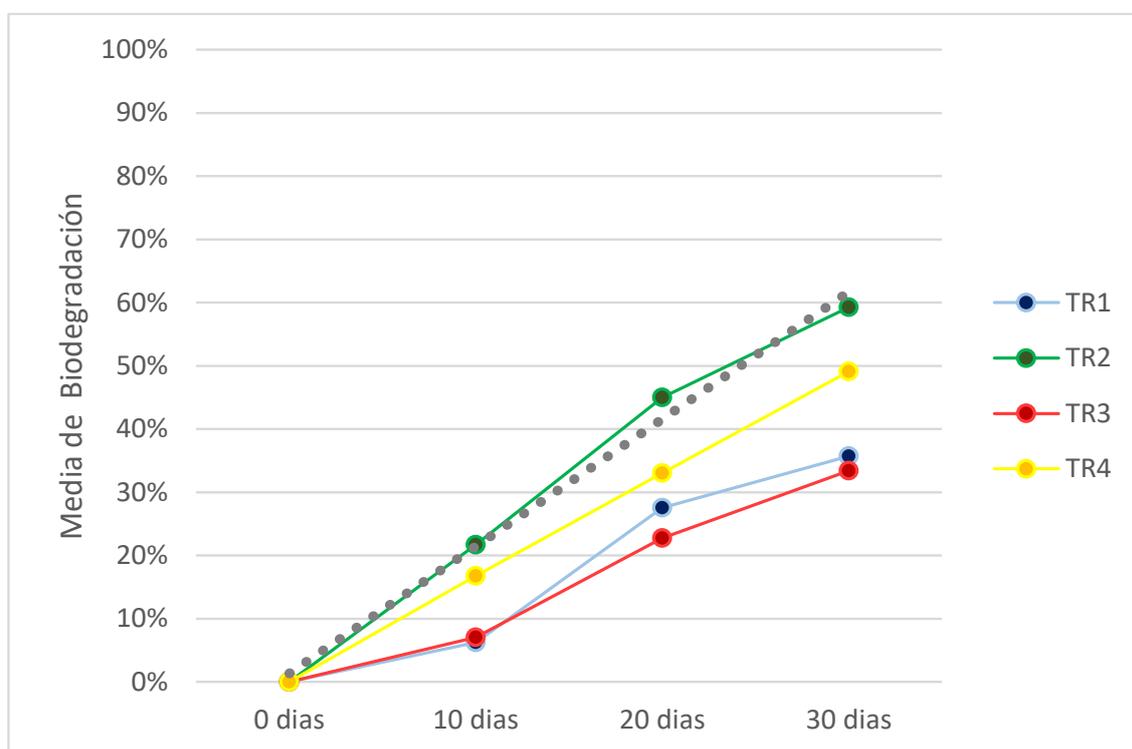


Nota. Resultados obtenidos del MS Excel 2019

En la Figura 28 se presenta la biodegradación del bioplástico elaborado; siendo el Tratamiento TR2 (105 °C; 6 horas y 12 % de Almidón) el de mayor biodegradación con los demás tratamientos. El TR2 presenta una línea de tendencia lineal cuyo $R^2 = 0.9906$.

Figura 28

Curva de Biodegradación del Bioplástico elaborado de cada tratamiento



Nota. Resultados obtenidos del MS Excel 2019

5.2. Resultados Inferenciales

En la Tabla 11 se presentó los ajustes óptimos para la temperatura de secado (°C), el tiempo de secado (hora) y la proporción de almidón (Alm %) en la fabricación de bioplásticos, mediante la optimización de superficie de respuesta. Se maximizaron con una deseabilidad compuesta del proceso de 0.710; este enfoque garantiza un equilibrio entre los diversos factores para obtener bioplásticos con las mejores propiedades, como la tracción de rotura (en MPa), la elongación (E%) y la biodegradación (B %).

Tabla 11

Optimización de las propiedades del Bioplástico

°C	Hora	Alm %	MPa	E %	B %
105	8	14	1.530	23.1	49.19

Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.2.1. Análisis de la varianza de los diseños factoriales

5.2.1.1. Tracción de Rotura (MPa)

De la Tabla 12, se observa que el valor $p = 0,000$ siendo menor a $0,05$ por lo que rechaza la hipótesis que las medias son iguales, entonces el factor tiempo de secado influye significativamente en los valores de tracción de rotura. Asimismo, se muestra un valor de $0,000$ menor a $0,05$ por lo que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias, por lo que se infiere que el factor proporción de almidón influye en los valores de tracción de rotura.

Tabla 12

Análisis de Varianza de Tracción de rotura

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	2	1.9530	91.96%	1.9530	0.9765	51.50	0.000
Lineal	2	1.9530	91.96%	1.9530	0.9765	51.50	0.000
• Tiempo de Secado (Hora)	1	0.5385	25.36%	0.5385	0.5385	28.40	0.000
• Proporción de Almidón (%)	1	1.4145	66.61%	1.4145	1.4145	74.60	0.000
Error	9	0.1706	8.04%	0.1706	0.0190		
Falta de ajuste	1	0.0001	0.01%	0.0001	0.0001	0.01	0.945
Error puro	8	0.1705	8.03%	0.1705	0.0213		
Total	11	2.1237	100.00%				

Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

A continuación, se muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Tracción de Rotura (MPa)} = -4.968 + 0.2118 \cdot B + 0.3433 \cdot C$$

Donde:

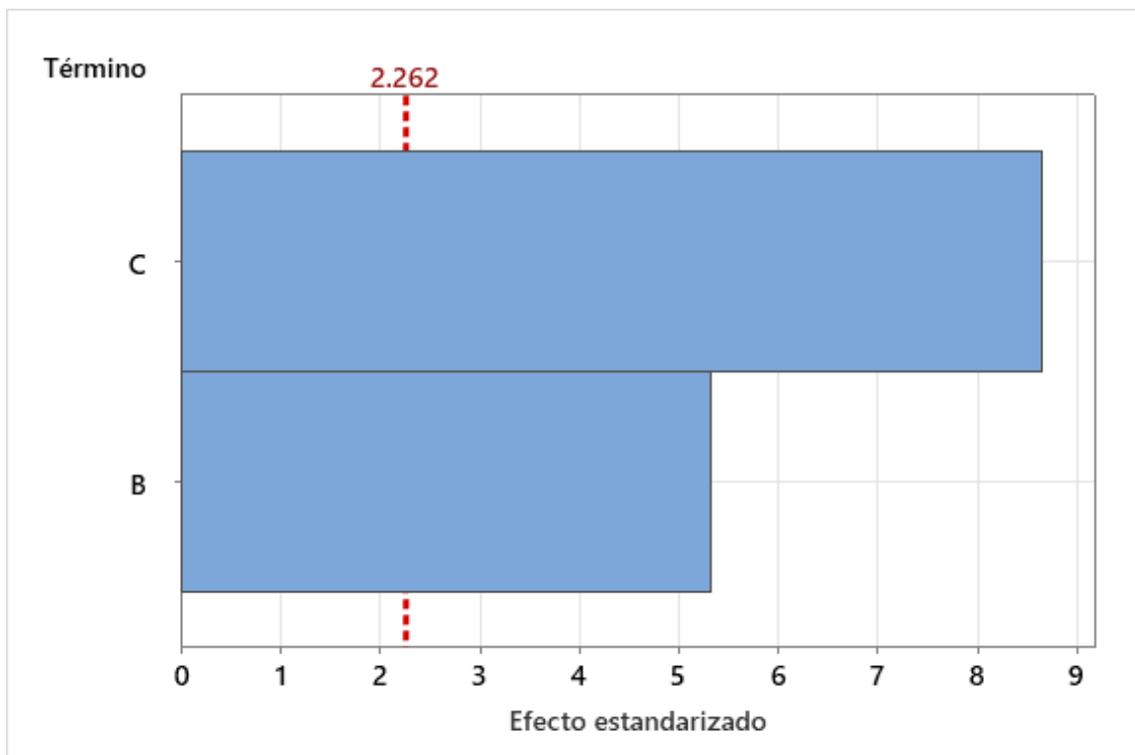
B: Tiempo de secado (h)

C: Proporción de Almidón (%)

En la Figura 29, los factores B (tiempo de secado) y C (proporción de almidón) supera el valor del efecto estandarizado igual a 2.262 con un nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, tiene una influencia significativa en la tracción de rotura.

Figura 29

Diagrama de Pareto respecto a la Tracción de Rotura

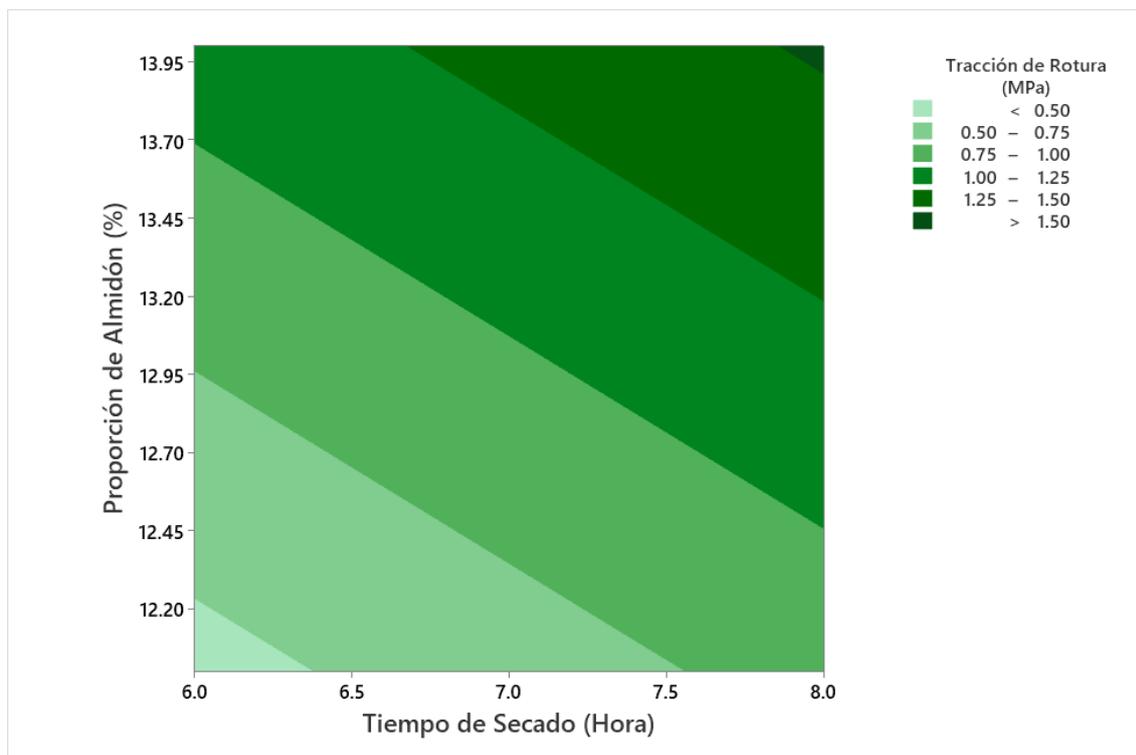


Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

En la Figura 30, presenta que para mejorar los atributos físico-mecánicos, como la tracción de rotura del bioplástico, es necesario secarlo durante un período de 8 horas y emplear una proporción de almidón del 14%, lo que permite aumentar dicho valor por encima de 1.5 MPa.

Figura 30

Gráfica de contorno de la Tracción de Rotura



Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

5.2.1.2. Elongación (%)

De la Tabla 13, se observa un valor $p = 0.134$ mayor a 0.05 por lo que se aprueba la hipótesis de igualdad de medias, por lo que se infiere que el factor temperatura de secado no influye en los valores de elongación. Asimismo, se observa un valor $p = 0.192$ mayor a 0.05 por lo que acepta la hipótesis de igualdad de medias, por lo que se infiere que el que el tiempo de secado no influye en los valores de elongación. Del mismo modo, se observa un valor $p = 0.167$ mayor a 0.05 por lo que acepta la hipótesis de igualdad de medias, por lo que se infiere que el que la proporción de almidón no influye en los valores de elongación.

Tabla 13*Análisis de Varianza de Elongación*

Fuente	GL	SC	Sec. Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.0064	47.09%	0.0064	0.0021	2.37	0.146
Lineal	3	0.0064	47.09%	0.0064	0.0021	2.37	0.146
• Temperatura de secado (°C)	1	0.0025	18.38%	0.0025	0.0025	2.78	0.134
• Tiempo de secado (Hora)	1	0.0018	13.45%	0.0018	0.0018	2.03	0.192
• Proporción de Almidón (%)	1	0.0021	15.25%	0.0021	0.0021	2.31	0.167
Error	8	0.0072	52.91%	0.0072	0.0009		
Total	11	0.0136	100.00%				

Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

A continuación, se muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Elongación (\%)} = 0.151 - 0.00192 \cdot A + 0.01234 \cdot B + 0.01314 \cdot C$$

Donde:

A: Temperatura de secado (°C)

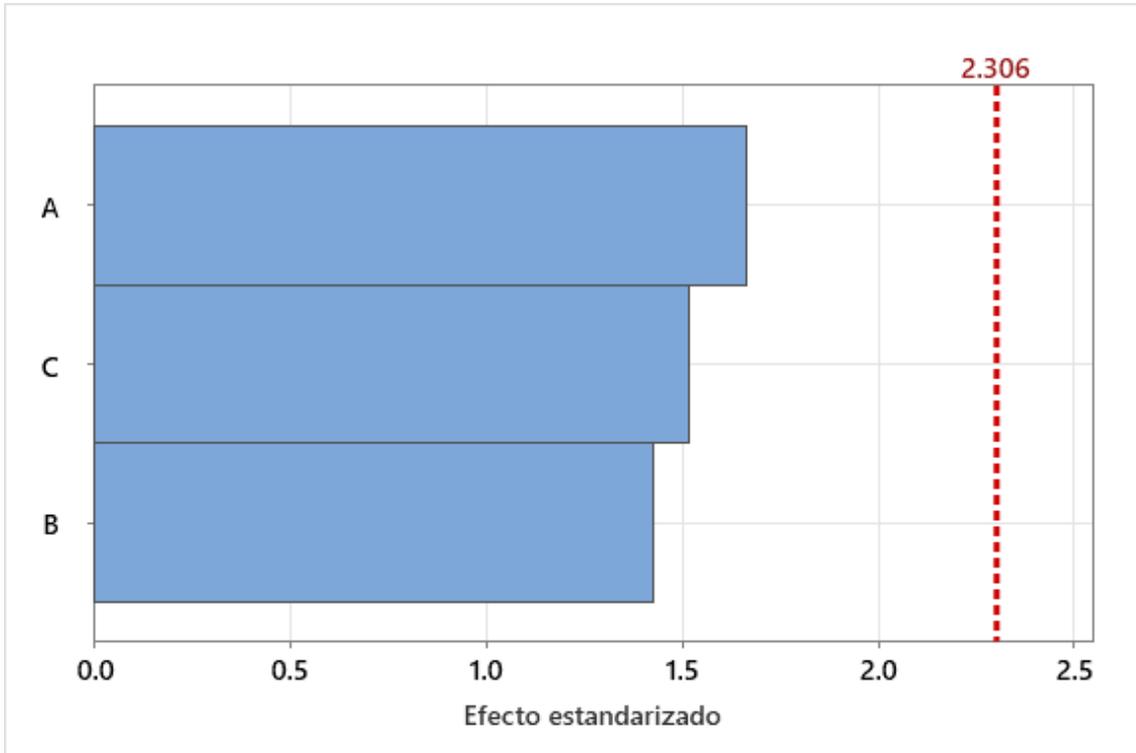
B: Tiempo de secado (h)

C: Proporción de Almidón (%)

En la Figura 31, los factores A (temperatura de secado), B (tiempo de secado) y C (proporción de almidón) no superan el valor del efecto estandarizado igual a 2.306 con un nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, no tienen influencia en los valores de elongación (%).

Figura 31

Diagrama de Pareto con respecto a la Elongación

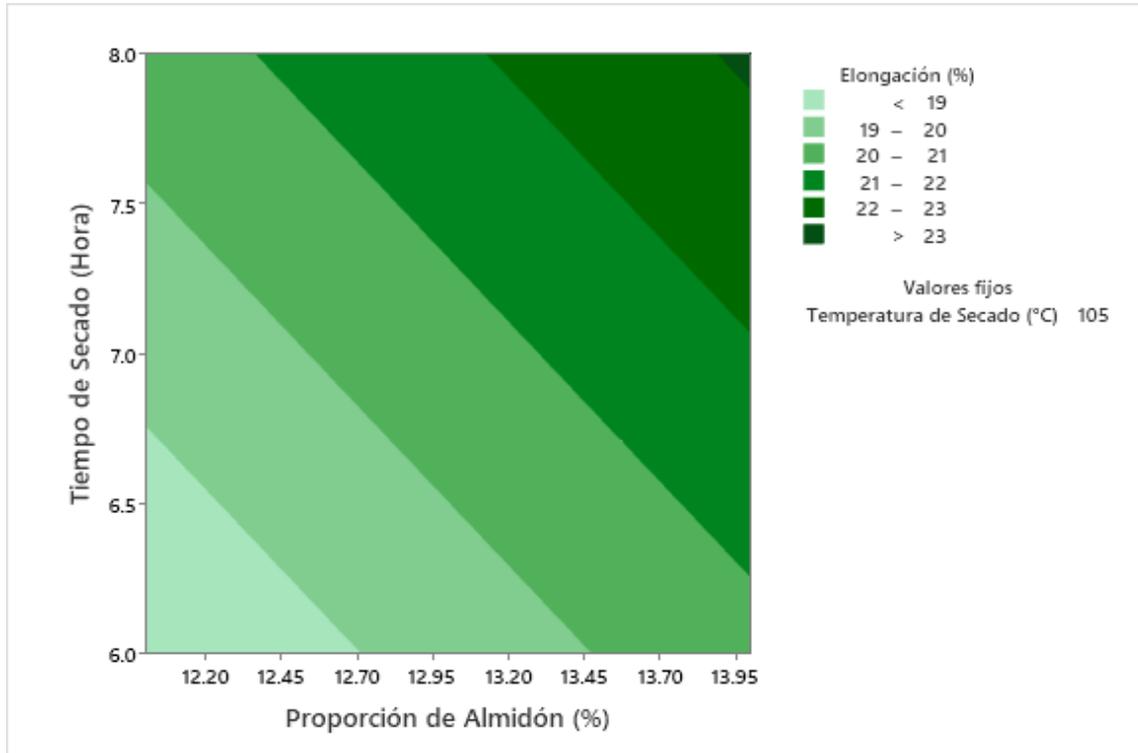


Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

En la Figura 32, indica que para alcanzar óptimos resultados en las propiedades físico-mecánicas, específicamente en la elongación del bioplástico, se necesita un tiempo de secado de 8 horas y una proporción de almidón del 14%, lo que resulta en un incremento en la elongación del bioplástico elaborado por encima de 23%.

Figura 32

Gráfica de Contorno de Elongación



Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

5.2.1.3. Biodegradación (%)

De la Tabla 14, se observa que el valor $p = 0,012$ siendo menor a $0,05$ por lo que rechaza la hipótesis que las medias son iguales, entonces el factor temperatura de secado influye significativamente en los valores de biodegradación.

Tabla 14*Análisis de Varianza de Biodegradación*

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	1	0.1157	48.47%	0.1157	0.1157	9.40	0.012
Lineal	1	0.1157	48.47%	0.1157	0.1157	9.40	0.012
• Temperatura de Secado (°C)	1	0.1157	48.47%	0.1157	0.1157	9.40	0.012
Error	10	0.1231	51.53%	0.1231	0.0123		
Falta de ajuste	2	0.0163	6.83%	0.0163	0.0082	0.61	0.566
Error puro	8	0.1068	44.71%	0.1068	0.0133		
Total	11	0.2388	100.00%				

Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

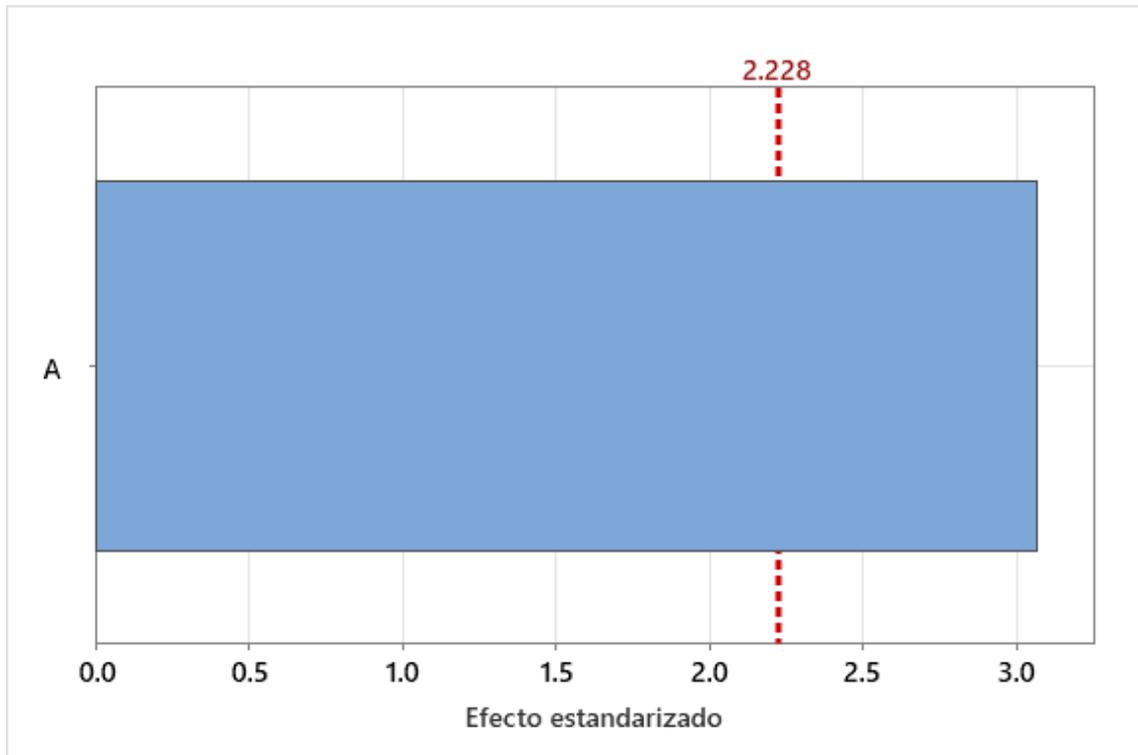
A continuación, se muestra la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Biodegradación (\%)} = -0.833 + 0.01309 * \text{Temperatura de Secado (°C)}$$

En la Figura 33, el factor A (temperatura de secado) supera el valor del efecto estandarizado igual a 2.228 con un nivel de significancia de 0,05. Por lo tanto, tiene una influencia significativa en la Biodegradación.

Figura 33

Diagrama de Pareto con respecto a la Biodegradación

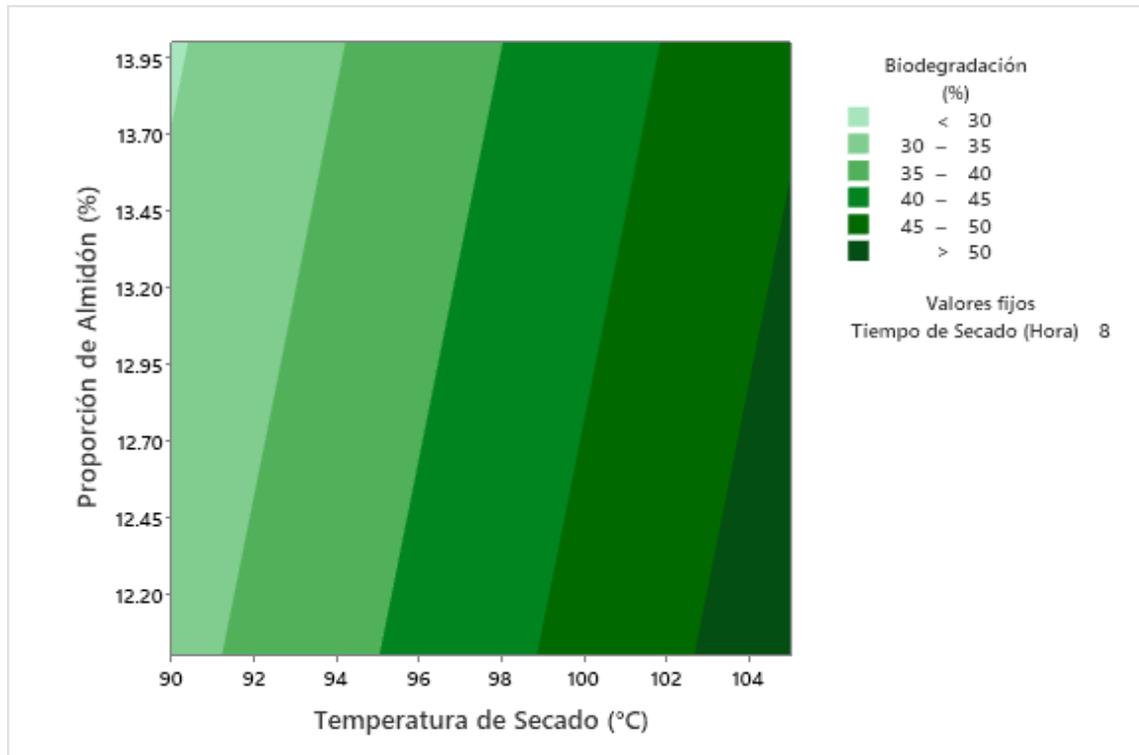


Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

En la Figura 34, indica que para alcanzar óptimos resultados en las propiedades físico-mecánicas, específicamente en la elongación del bioplástico, se necesita una temperatura de secado de 105°C y una proporción de almidón del 12%, lo que resulta en un incremento en la biodegradación del bioplástico elaborado por encima de 50%.

Figura 34

Gráfico de contorno de Biodegradación



Nota. Datos obtenidos del Minitab V.21

5.3. Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis

5.3.1. Propiedades Físico-Mecánicas Del Bioplásticos

5.3.1.1. Tracción de Rotura

5.3.1.1.1. Prueba de Normalidad de los residuos

Se llevó a cabo la prueba de normalidad de Anderson-Darling para los datos derivados del ensayo de tracción de rotura, evaluando la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Tiene una distribución normal

Hipótesis alterna (H_a): No tiene una distribución normal

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

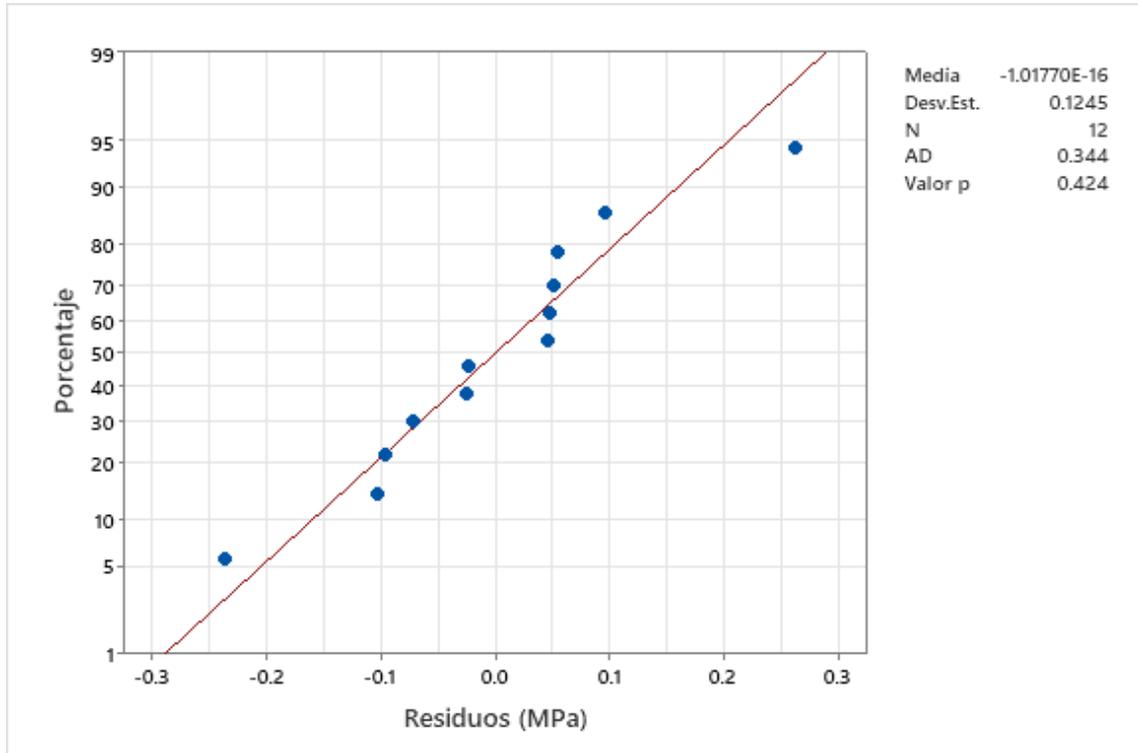
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Si el Valor $p \geq \alpha$, se acepta la hipótesis nula.

En la Figura 35, se aprecia un valor p de 0.424 para la tracción de rotura, el cual supera el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo tanto, se valida la hipótesis nula (H_0), indicando que los datos exhiben una distribución normal.

Figura 35

Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Tracción de Rotura



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.1.1.2. Prueba de homogeneidad de varianza

Se aplicó la prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett debido a que los datos de tracción de rotura exhiben una distribución normal, considerando la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna (H_a): Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

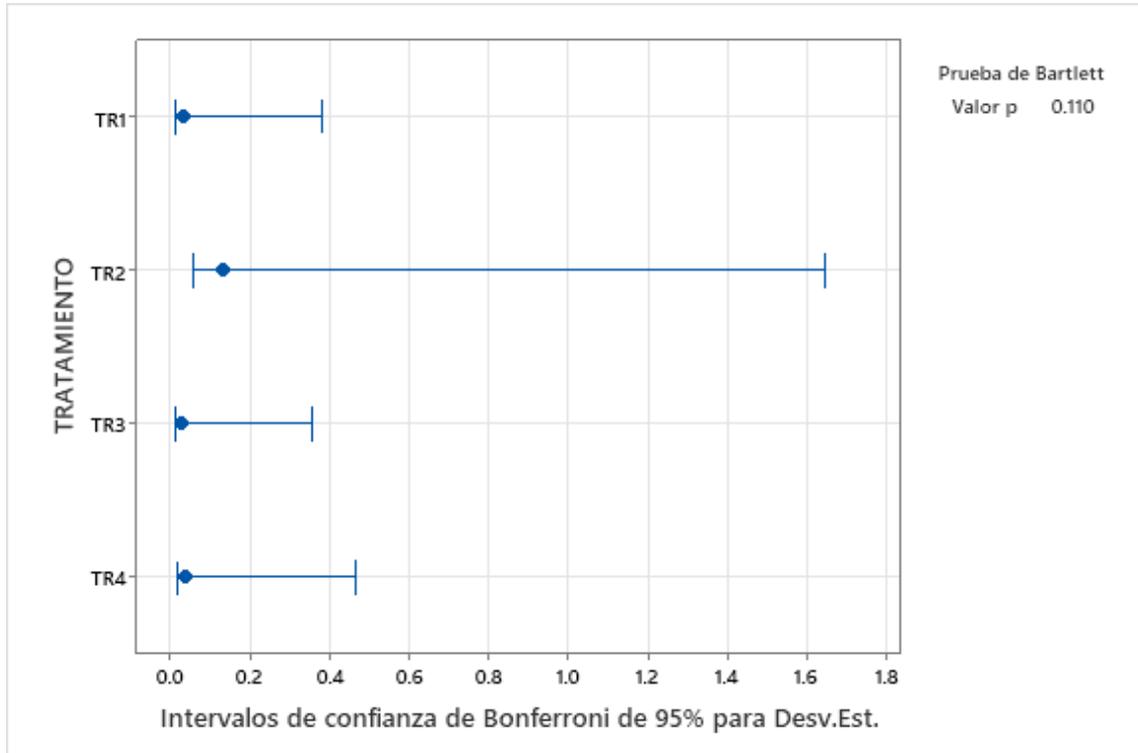
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Si el Valor $p \geq \alpha$, se acepta la hipótesis nula.

En la Figura 36, se observa que el valor p para la tracción de rotura es de 0.110, lo que supera el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0), lo que demuestra que los datos obtenidos muestran igualdad en las varianzas.

Figura 36

Prueba de homogeneidad de varianza de la Tracción de Rotura vs Tratamiento



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.1.1.3. Prueba de Correlación

La función de autocorrelación se aplicó a los datos obtenidos de la prueba de tracción de rotura, evaluando la siguiente hipótesis:

H_0 : No existe correlación

H_a : Existe correlación

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

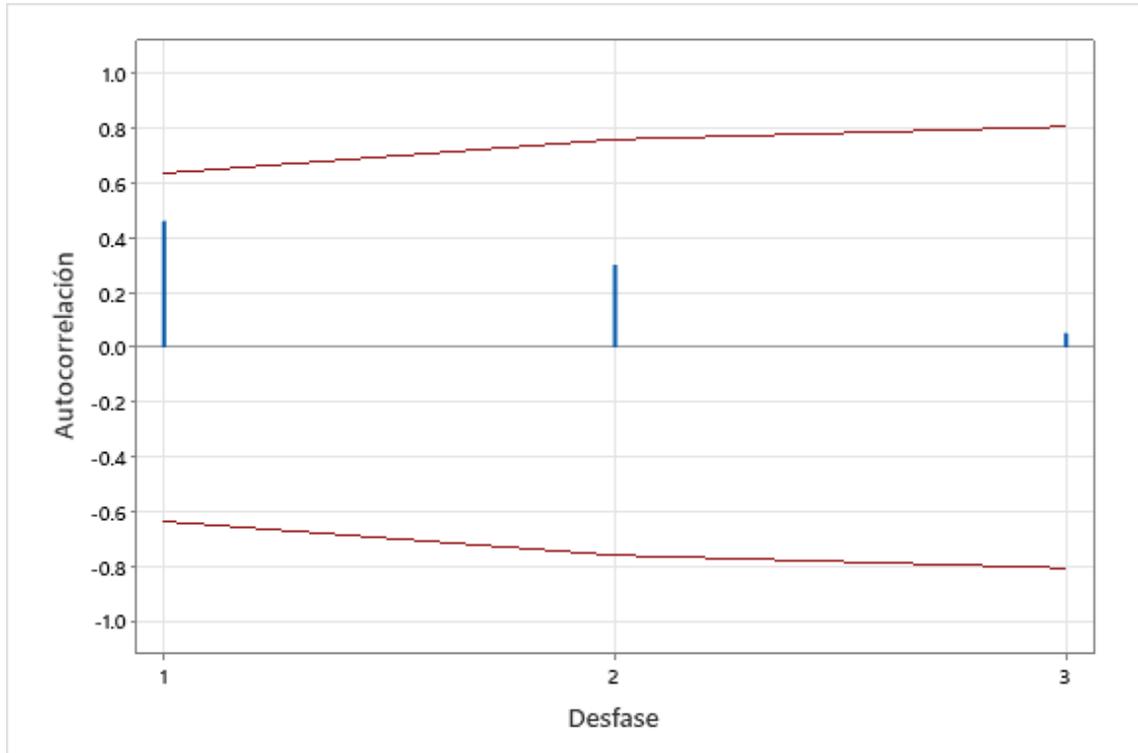
Si el $|r_i| > r_{\text{Limite}}$, se rechaza la hipótesis nula

Si el $|r_i| < r_{\text{Limite}}$, se acepta la hipótesis nula

En la Figura 37, se observa que los datos de la tracción de rotura no superan los límites de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no hay una correlación entre los datos.

Figura 37

Función de Autocorrelación de los residuos de Tracción de Rotura



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.1.2. Elongación

5.3.1.2.1. Prueba de Normalidad de los residuos

Se llevó a cabo la prueba de normalidad de Anderson-Darling para los datos derivados del ensayo de elongación dicha prueba contempla la siguiente hipótesis:

H_0 : Tiene una distribución normal

H_a : No tiene una distribución normal

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

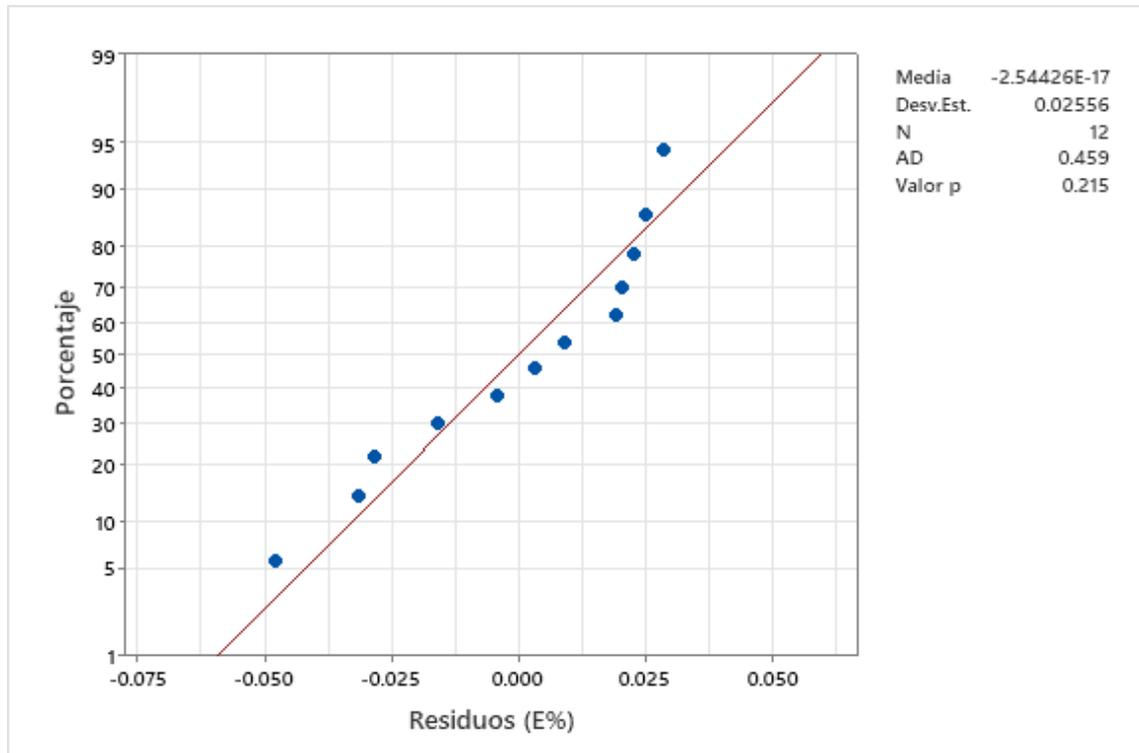
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula

Si el Valor $p \geq \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula.

En la Figura 38, el valor p es 0.459 para la elongación el cual es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); es decir se acepta la H_0 quedando demostrado que los datos obtenidos tienen una distribución normal.

Figura 38

Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Elongación



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.1.2.2. Prueba de Homogeneidad de Varianza

Se aplicó la prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett debido a que los datos de elongación exhiben una distribución normal, considerando la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna (H_a): Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

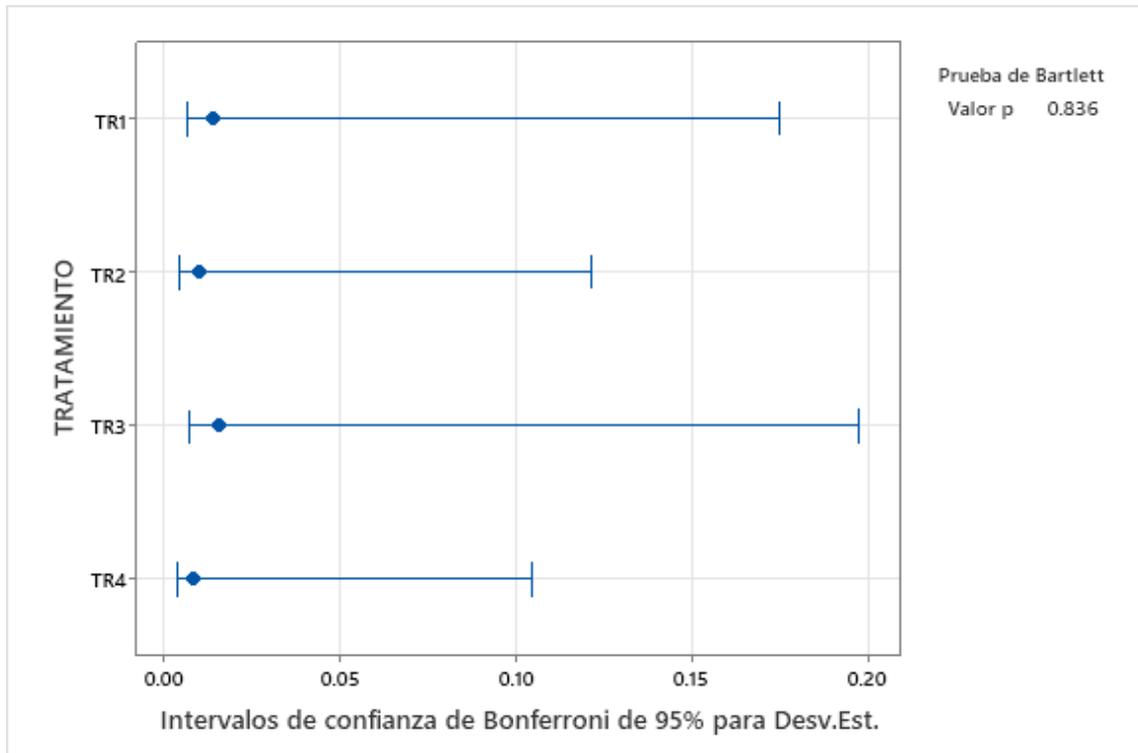
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Si el Valor $p \geq \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula.

En la Figura 39, se observa que el valor p para la elongación es de 0.836, lo que supera el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0), lo que demuestra que los datos obtenidos muestran igualdad en las varianzas.

Figura 39

Prueba de homogeneidad de varianza de la Elongación vs Tratamiento



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.1.2.3. Prueba de Correlación

La función de autocorrelación se aplicó a los datos obtenidos de la prueba de elongación, evaluando la siguiente hipótesis:

H_0 : No existe correlación

H_a : Existe correlación

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

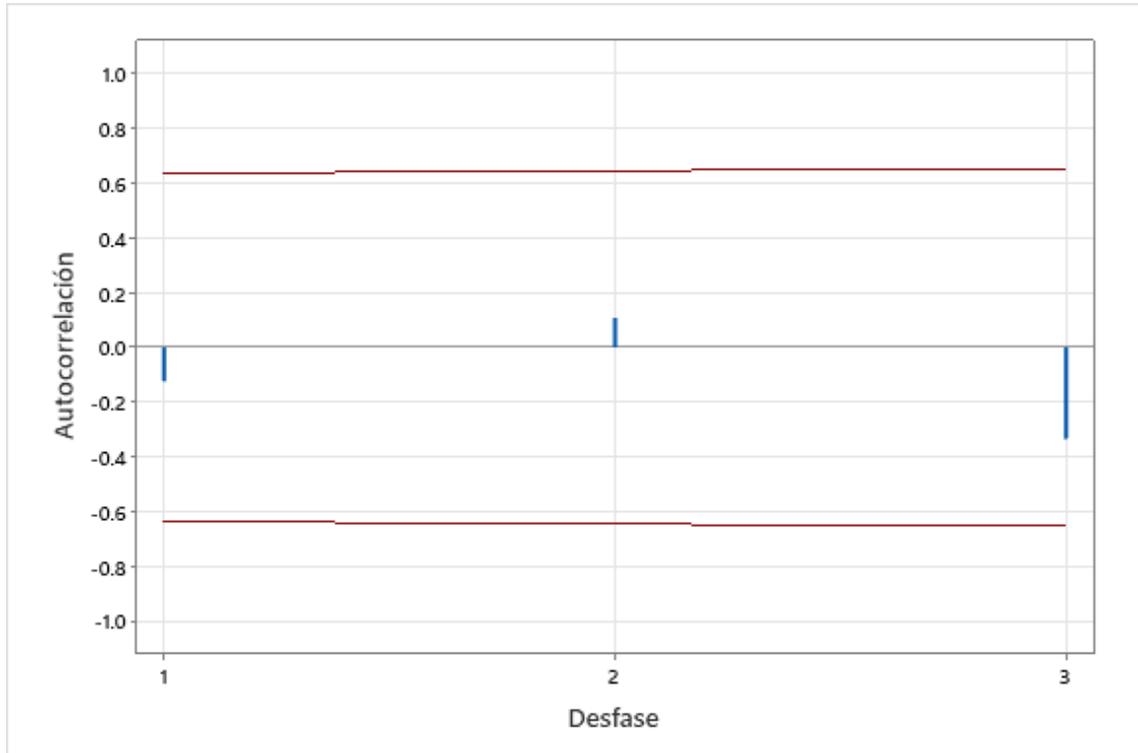
Si el $|r_i| > r_{\text{Limite}}$, se rechaza la hipótesis nula

Si el $|r_i| < r_{\text{Limite}}$, se acepta la hipótesis nula

En la Figura 40, se observa que los datos de la elongación no superan los límites de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no hay una correlación entre los datos obtenidos.

Figura 40

Función de Autocorrelación de los residuos de Elongación



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.2. Biodegradación de Bioplástico

5.3.2.1. Prueba de Normalidad de los residuos

La prueba de normalidad de Anderson-Darling, se evaluó con los datos obtenidos de la biodegradación dicha prueba contempla la siguiente hipótesis:

H₀: Tiene una distribución normal

H_a: No tiene una distribución normal

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

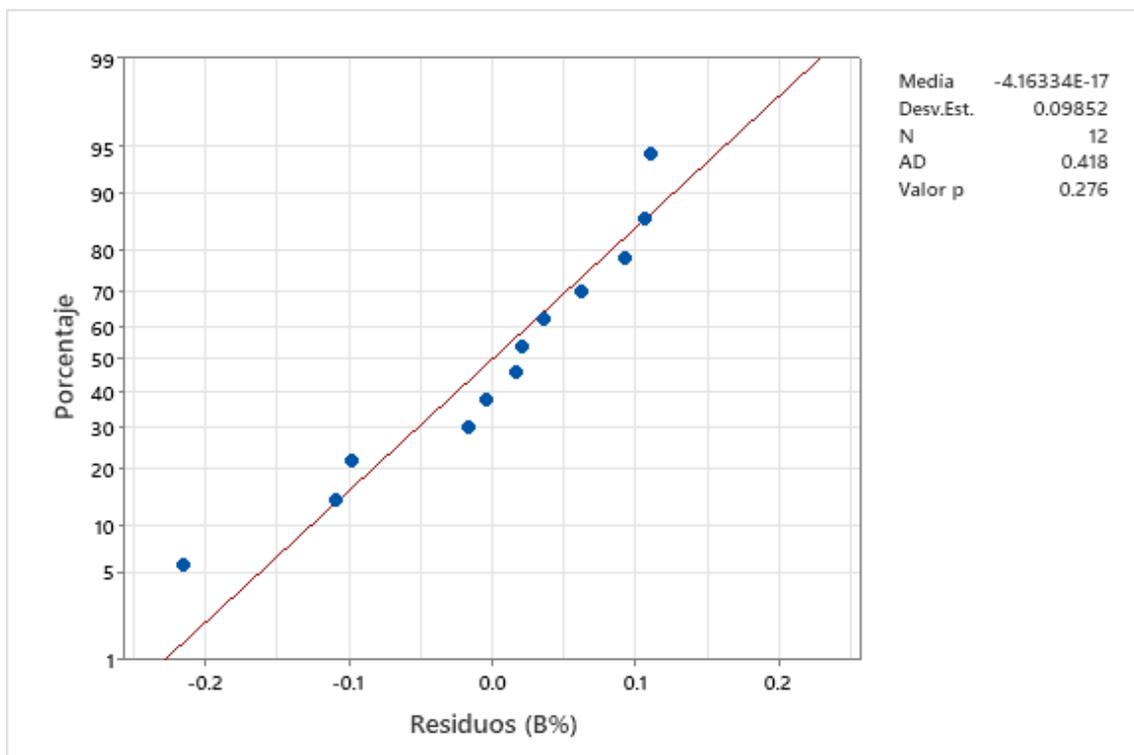
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula

Si el Valor $p > \alpha$, se acepta la hipótesis nula.

En la Figura 41, el valor p es 0.276 para la biodegradación el cual es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$); es decir se acepta la H₀ quedando demostrado que los datos obtenidos tienen una distribución normal.

Figura 41

Gráfica de probabilidad normal de residuos de la Biodegradación



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.2.2. Prueba de Homogeneidad de Varianza

Se aplicó la prueba de homogeneidad de varianza de Bartlett debido a que los datos de biodegradación exhiben una distribución normal, considerando la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna (H_a): Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

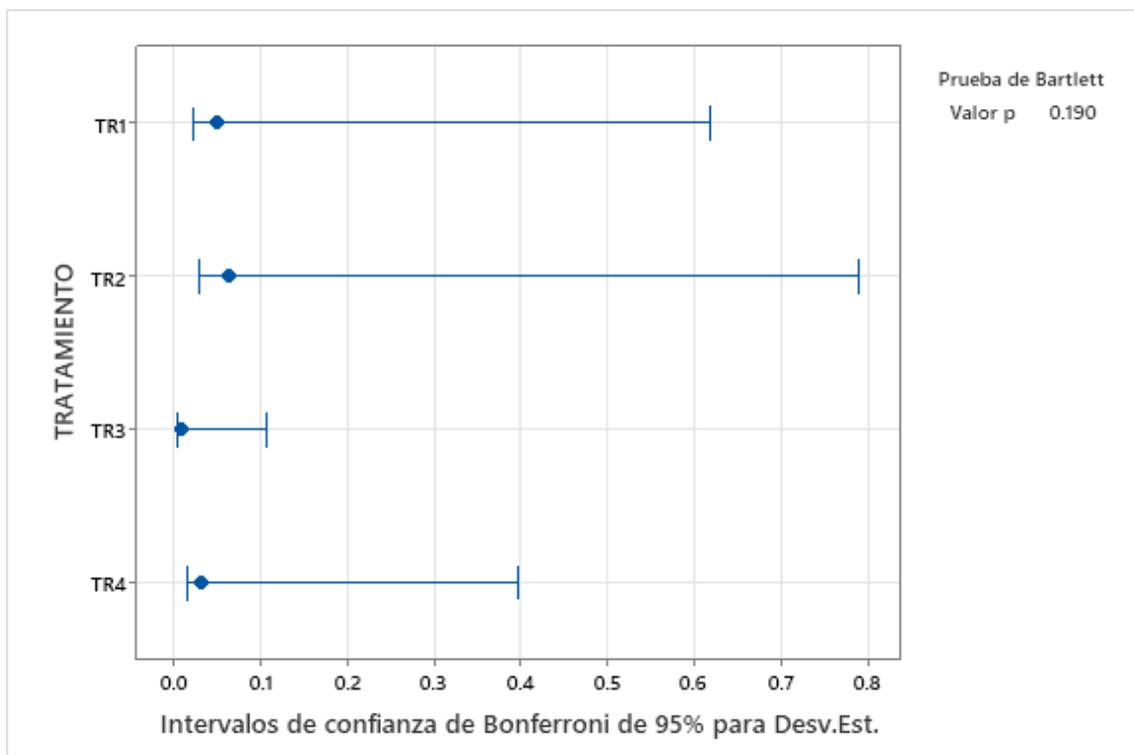
Si el Valor $p < \alpha$, se rechaza la hipótesis nula.

Si el Valor $p \geq \alpha$, no se rechaza la hipótesis nula.

En la Figura 42, se observa que el valor p para la biodegradación es de 0.190, lo que supera el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0), lo que demuestra que los datos obtenidos muestran igualdad en las varianzas.

Figura 42

Prueba de homogeneidad de varianza de la Biodegradación vs Tratamiento



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

5.3.2.3. Prueba de Correlación

Se aplicó la función de autocorrelación a los datos obtenidos de la prueba de biodegradación, evaluando la siguiente hipótesis:

H_0 : No existe correlación

H_a : Existe correlación

Nivel de Significancia: $\alpha = 0.05$

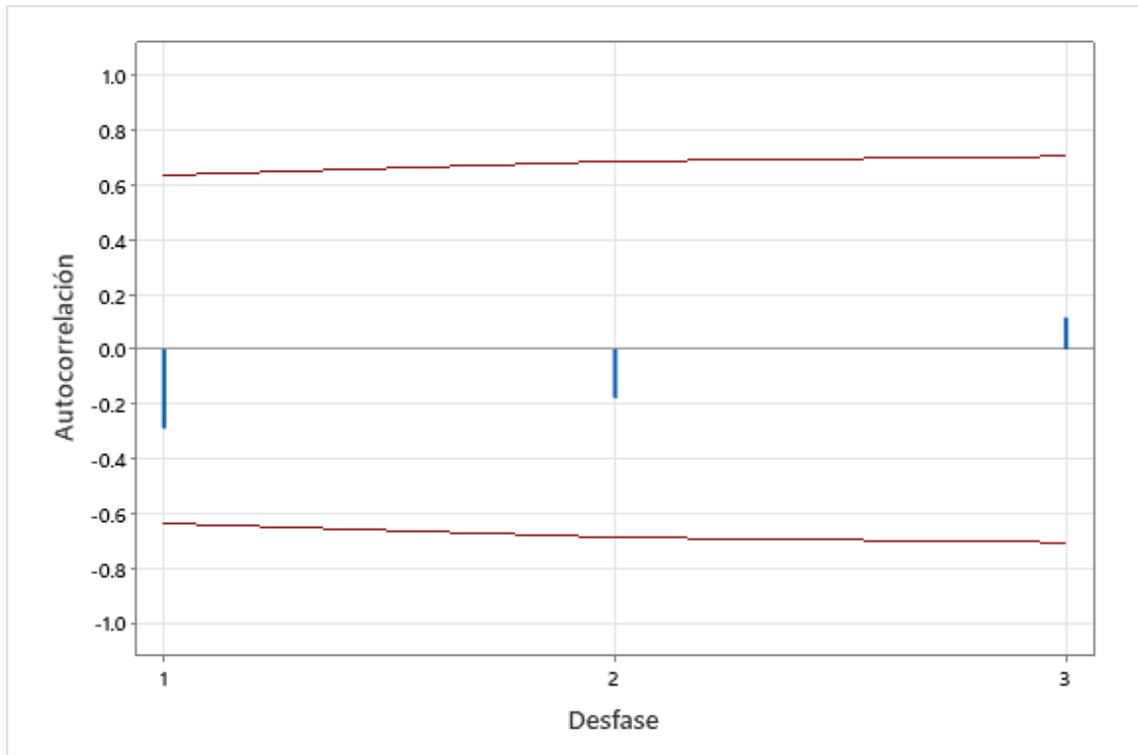
Si el $|r_i| > r_{\text{Limite}}$, se rechaza la hipótesis nula

Si el $|r_i| < r_{\text{Limite}}$, se acepta la hipótesis nula

En la Figura 43, se observa que los residuos de la biodegradación no superan los límites de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no hay una correlación entre los datos.

Figura 43

Función de Autocorrelación de los residuos de Biodegradación



Nota. Resultados obtenidos del Minitab V. 21

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Las pruebas de hipótesis se discutieron en función de los datos obtenidos en los resultados del análisis de varianza por cada indicador de respuesta según el diseño factorial fraccionado empleado.

6.1.1. Contrastación de hipótesis general

H₀: El almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao no influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

H_a: El almidón de la cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*) del Mercado central del Callao influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

Los resultados de las Tabla 12 y Tabla 14 revelaron que la temperatura de secado, el tiempo de secado y la proporción de almidón de la cáscara de plátano verde tienen un valor $p < 0.05$, lo que indica su influencia significativa en la producción de bioplásticos. Esto respalda la hipótesis alternativa (H_a) sobre la influencia del almidón de la cáscara de plátano verde en la fabricación de bioplásticos, rechazando la hipótesis nula (H₀). Los resultados óptimos con una deseabilidad compuesta de 0.701, se alcanzaron a una temperatura de secado de 105 °C, un tiempo de secado de 8 horas y una proporción de almidón del 14%. Estos resultados incluyen una tracción de rotura de 1.530 MPa, una elongación del 23.15%, y una biodegradación del 49.12%, como se detalla en la Tabla 11.

6.1.2. Contrastación de Hipótesis Específicas

6.1.2.1. Contrastación de Hipótesis Específica 1

H₀: La temperatura de secado de la obtención del almidón de cascará de plátano verde no influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

H_a: La temperatura de secado de la obtención del almidón de cascará de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

Los resultados muestran que la temperatura de secado tuvo una influencia en la elaboración de bioplásticos, lo que respalda la aceptación de la hipótesis alterna (H_a). Significativamente en el indicador de Biodegradación en contraste con la Tracción de Rotura y la Elongación, donde se obtuvo un valor $p < 0.05$, tal como

se detalla en la Tabla 14. La temperatura de secado oscilo entre 90 °C y 105 °C, con la media de Biodegradación que varió del 30.6% al 50.2%, como se presentó en la Figura 20.

6.1.2.2. Contrastación de Hipótesis Especifica 2

H₀: El tiempo de secado de la obtención del almidón de cáscara de plátano verde no influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

H_a: El tiempo de secado de la obtención del almidón de cáscara de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.

Los resultados muestran que el tiempo de secado influye significativamente en la elaboración de bioplásticos, lo que respalda la aceptación de la hipótesis alterna (H_a). Significativamente en el indicador de Tracción de Rotura en contraste con la Elongación y Biodegradación, se obtuvieron un valor $p < 0.05$, tal como se detalla en la Tabla 12. El tiempo de secado oscilo entre 6 h y 8 h, con la media de Tracción de Rotura de 0.766 MPa a 1.190 MPa, como se presentó en la Figura 21.

6.1.2.3. Contrastación de Hipótesis Especifica 3

H₀: La proporción de almidón de la cáscara plátano verde no influye significativamente en la elaboración del bioplástico.

H_a: La proporción de almidón de la cáscara plátano verde influye significativamente en la elaboración del bioplástico.

Los resultados muestran que la proporción de almidón de la cáscara de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplásticos, lo que respalda la aceptación de la hipótesis alterna (H_a). Significativamente en el indicador de Tracción de Rotura en contraste de la Elongación y Biodegradación, donde se obtuvo un valor $p < 0.05$, tal como se detalla en la Tabla 12. La proporción de almidón oscilo entre 12 % y 14 %, con la media de Tracción de Rotura de 0.634 MPa a 1.3215 MPa, como se presentó en la Figura 24.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

La investigación presenta que el almidón de cáscara de plátano verde influyo en la elaboración de bioplástico, ya que se adoptó una metodología similar a estudios anteriores (Barrios 2017; Enríquez 2022; Cárdenas 2018), mientras que otros estudios (Chuquista y Uriarte 2020; Karne et al. 2023; Chinchayhuara y Quispe 2018) emplearon distintos plastificantes y materias primas, así como diferentes enfoques experimentales (Verma et al. 2024; Espín 2021; Humpiri 2018).

La temperatura de secado tuvo una influencia significativa en la biodegradación del bioplástico, como se muestra en la Tabla 14. La biodegradación fue de 49.19%, en contraste con los resultados de Humpiri (2018) que fue de 85.54 %, Barrios (2017) indica que la biodegradación está influenciada por la composición del suelo, favoreciendo la actividad de especies como *Bacillus circulans* y *Aspergillus funigatus*. Esta tendencia se confirma en el estudio de Guerrero (2022), donde se registró una biodegradación del 97.5% en suelos cercanos a las orillas del río, donde las condiciones son más favorables.

El tiempo de secado tuvo una influencia significativa en la tracción del bioplástico desarrollado de 1.530 MPa, como se observa en la Tabla 12, lo cual coincide con los hallazgos de Cárdenas (2018) y Enríquez (2020) en relación con los parámetros de tiempo de secado. No obstante, Macêdo et al. (2022) difiere de este estudio al emplear un tratamiento de calor y humedad, logrando mejorar las propiedades de tracción y elongación, difiriendo con la elongación del estudio de 23.15%.

Las proporciones de almidón varío de 12% y 14% tuvo una influencia significativa en la tracción de rotura del bioplástico, con valores que variaron entre 0.634 MPa y 1.322 MPa, superando los resultados de Verma et al. (2023), el efecto es similar al observado en el estudio de Barrios (2017). Por otro lado, Espin (2022) evidenció una menor tracción a la rotura, pero una mayor elongación al utilizar una proporción de almidón y glicerina de 1.5 gramos y 2 gramos respectivamente. Enríquez (2022) y Kiran (2022) emplearon el bioplástico para diferentes fines, destacando una buena resistencia a la rotura en aplicaciones

como repelente de agua y fabricación de tubos intravenosos biodegradables, respectivamente.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la presente tesis titulada “ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa paradisiaca*) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024”, se responsabilizan por la información emitida en la presente investigación, estando de acuerdo con el Reglamento del Código de Ética de la Investigación de la UNAC, Resolución de Consejo Universitario N° 260-2019-CU, donde se señala los principios éticos como norma de comportamiento conductual, por ello los tesisistas son responsables de los procesos y procedimientos de diseño, desarrollo de nuestra investigación.

VII. CONCLUSIONES

Se determinó que la temperatura de secado tuvo una influencia positiva en la elaboración de bioplástico específicamente en el porcentaje de biodegradación en contraste con la tracción de rotura y elongación. Los resultados revelaron que la biodegradación fluctuó entre 30.6 % al 50.2 %, la tracción de rotura varió de 0.981 MPa a 0.975 MPa, mientras que la elongación osciló entre el 23.5 % y el 20.6 %.

Se determinó que el tiempo de secado tuvo una influencia positiva en la elaboración de bioplástico específicamente en la tracción de rotura en contraste con la elongación y biodegradación. Por lo tanto, la tracción de rotura varió de 0.766 MPa a 1.190 MPa; la elongación varió de 20.8 % a 23.3 %; mientras que la biodegradación fluctuó del 47.5% al 41.3%.

Se determinó que la proporción de almidón tuvo una influencia positiva en la elaboración de bioplástico específicamente en la tracción de rotura en contraste de la elongación y biodegradación. Por lo tanto, la tracción de rotura varió de 0.634 MPa a 1.3215 MPa; la elongación varió de 20.7 % a 23.4; mientras que la biodegradación fluctuó del 46.3% al 42.4%.

Se determinó que el almidón de la cáscara de plátano verde tuvo un impacto favorable en la elaboración de bioplástico. A una temperatura de secado de 105 °C, un tiempo de secado de 8 horas y una proporción de almidón del 14 % se logró las mejores condiciones. En estas condiciones, el bioplástico exhibió una resistencia a la tracción de 1.530 MPa, una elongación del 23.15 % y una tasa de biodegradación del 49.12 %.

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda especialmente a instituciones de investigación llevar a cabo estudios centrados en mejorar las características de los bioplásticos mediante la optimización de la temperatura de secado de la cáscara de plátano verde. Una alternativa para lograrlo sería emplear estufas de mayor capacidad que faciliten el secado simultáneo de múltiples muestras de bioplástico.

Se recomienda a los profesionales de medio ambiente y de recursos naturales que en futuras investigaciones se centren en mejorar las propiedades del bioplástico mediante la optimización del tiempo de secado de la cáscara de plátano verde. Esto implica explorar diferentes períodos de secado y evaluar su impacto en la resistencia, la flexibilidad y la capacidad de biodegradación del bioplástico.

Se recomienda a los laboratorios especializados en biotecnología aplicada realizar investigaciones que exploren diferentes proporciones de almidón, empleando diversos tipos de residuos orgánicos para estudiar su efecto en la producción de bioplásticos. Además, sería provechoso llevar a cabo un análisis microbiológico del suelo para identificar los microorganismos que interactúan con los bioplásticos, lo que ofrecería información valiosa sobre su comportamiento ambiental y su posible impacto en los ecosistemas.

Se recomienda a las autoridades ambientales y al sector empresarial que investiguen la inclusión de aditivos o plastificantes en los bioplásticos, proporcionando así una alternativa viable a los plásticos convencionales. Además, se sugiere llevar a cabo estudios en industrias con una alta producción de desechos orgánicos para valorizar estos materiales. Este enfoque busca no solo desarrollar plásticos biodegradables, sino también aprovechar los componentes de los desechos para aplicaciones científicas y ambientales, lo que podría beneficiar tanto al medio ambiente como a la industria.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIS, 2022. En 2050 habría en el mundo unos 12.000 millones de toneladas de basura plástica, si no se cambian las pautas de consumo. [en línea]. S.I.: [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://acis.org.co/portal/content/en-2050-habr%C3%ADa-en-el-mundo-unos-12000-millones-de-toneladas-de-basura-pl%C3%A1stica-si-no-se>.
- ACOSTA LÓPEZ, S.A., 2021. *Obtención y caracterización de una biopelícula a partir de plátano verde dominico-hartón (Musa AAB simmonds) para el uso en alimentos*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- AGURTO PEREZ, L.M., BARRETO GALVEZ, L.H. y BIERA VIERA, M.J., 2022. *Aprovechamiento agroindustrial de los residuos de la planta de banano para la obtención de productos biodegradables en la provincia de Sullana*. Piura: UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.
- ALARCÓN CAÑOLA, A.E. y CAICEDO CAÑOLA, M., 2021. *Obtención de ácido láctico a partir del almidón presente en la cáscara de plátano (Musa paradisiaca)*. Guayaquil: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
- ALBUJA VILLAFUERTE, S.M., 2023. *Aprovechamiento de las cáscaras de la naranja y limón para la elaboración de una infusión*. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.
- ALVARADO ALMARAZ, E.J., 2020. Características del reino vegetal. *Vida Científica*, vol. 15, ISSN 00368075. DOI 10.1126/science.163.3863.150.
- ARIZA VARGAS, D.C. y GÓMEZ SALDAÑA, G.A., 2022. *Revisión de los procesos de obtención de ácido acético mediante fermentación del lactosuero*. S.I.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- ASHTER, S.A., 2016. *Introduction to Bioplastics Engineering*. S.I.: s.n. ISBN 9780323393966.
- ASKELAND, D.R. y WRIGHT, W.J., 2017. *Ciencia e ingeniería de materiales* [en línea]. Séptima Edición. S.I.: Cengage Learning Editores, S.A. . ISBN 9781305077102. Disponible en: <http://latinoamerica.cengage.com>.
- ATIWESH, G., MIKHAEL, A., PARRISH, C.C., BANOUB, J. y LE, T.A.T., 2021. Environmental impact of bioplastic use: A review. *Heliyon*, vol. 7, no. 9, ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2021.e07918.
- AVELLÁN, A., MENDOZA, A., ZAMBRANO, M. y ZAMORA, Y., 2020. Obtención de bioplástico a partir de almidón de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, vol. 7, no. 1, ISSN 2313-7819.
- AVELLÁN RENGIFO, A.C., ZAMORA BAZURTO, Y.S., MENDOZA PALMA, A.N., ZAMBRANO PINTO, M.V., ZAMBRANO BAZURTO, C.D., BAQUERIZO-CRESPO, R.J. y RIERA, M.A., 2021. Estimación de la entalpía de gelatinización en una mezcla de almidón termoplástico. *Prisma Tecnológico*, vol. 12, no. 1, ISSN 2076-8133. DOI 10.33412/pri.v12.1.2864.

- BARRIOS BARRIOS, V.M.F., 2017. *Reaprovechamiento de las cáscaras de plátano Musa paradisiaca para la elaboración de bioplástico en Yangas - Santa Rosa de Quives, 2017*. Lima: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- BUTELER, M., 2019. ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? *Desde la Patagonia Difundiendo Saberes* [en línea], vol. 16, no. 28, ISSN 2618-5385. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/109678>.
- CAHUANA SANCHEZ, J., 2019. *Comparación de condiciones para la degradabilidad de biopolímero, plásticos oxo-biodegradables y polietileno de baja densidad* [en línea]. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN. [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2433/Jose_Trabajo_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CAIZA ILBAY, A.P., 2021. *Obtención de una biopelícula a partir del pericarpio de maracuyá (Passiflora edulis f. flavicarpa) y plátano verde (Musa paradisiaca) para el recubrimiento de alimentos*. Riobamba-Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- CALERO ZURITA, M.F. y LAPO MANCHAY, E. karina, 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*. Quevedo: UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.
- CÁRDENAS FREIRE, M.A., 2018. *Extracción de almidón a partir de residuos de banano (Musa paradisiaca) para la elaboración de un biopolímero*. Cuenca-Ecuador: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.
- CARDONA SERRATE, F., 2020. Alteraciones no microbianas en alimentos: el pardeamiento y el enranciamiento. Apellidos, nombre. [en línea]. Valencia: [consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/147166>.
- CASTILLO, R., ESCOBAR, E., FERNÁNDEZ, D., GUTIÉRREZ, R., MORCILLO, J.; N.N. y PEÑALOZA, S., 2015. Bioplástico a base de la cáscara del plátano. *Revista de Iniciación Científica* [en línea], [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/234019621.pdf>.
- CASTILLO TALAVERA, L.A., 2022. *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del adobe con fibra de lana y polímero reciclado en Curahuasi – Abancay – Apurímac*. ATE: UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO.
- CHINCHAYHUARA CAPA, R.K. y QUISPE LLAURE, R. del P., 2018. *Elaboración de bioplásticos con residuos orgánicos a base de cáscara de plátano y mango para reducir la contaminación por el uso de plásticos sintéticos en Trujillo – 2018*. S.I.: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- CHUQUISTA GUTIERREZ, J.A. y URIARTE CHAPOÑAN, E.J., 2020. *Elaboración de bioplástico usando la cáscara de Musa paradisiaca (plátano)*

- recolectada del mercado Modelo, Chiclayo. S.I.: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- CLAVIJO MORENO, P.V., 2023. *Cáscara de plátanos y bananos como alternativa sostenible para la sustitución del plástico sintético en el departamento del Meta*. Villavicencio: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
- CONTRERAS RAURAICO, A.G. y QUISPE CCAHUANA, D.J., 2020. *Revisión sistemática y meta-análisis sobre la calidad de bioplásticos obtenidos a partir de residuos agrícolas*. Lima: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- CRUZ MOROCHO-PILATAXI, M., DALGO-FLORES, V.M., FLORES-FIALLOS, L.M. y CHANGO-LESCANO, G.C., 2021. Caracterización físico química y mecánica de bioplásticos obtenidos a partir del trigo y cebada. *DOMINIO DE LAS CIENCIAS* [en línea], vol. 7, ISSN 2477-8818. DOI 10.23857/dc.v7i4.2114. Disponible en: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/indexhttps://orcid.org/0000-0003-0228-7095>.
- CURILLA PAUCAR, K.N. y DIAS HUAMANI, D.F., 2020. *Una revisión del uso de la celulosa vegetal en los materiales de construcción: Una perspectiva de sostenibilidad ambiental en países desarrollados*. Lima: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO.
- DEL ROSARIO, N., GONZÁLEZ, A., CHIARI, M., BATISTA, V., ESPINOZA, M. y GIL, A., 2020. Los envases de plástico y su impacto. *Semilla científica: Revista de investigación formativa*, ISSN 2710-7574.
- DÍAZ ALEJANDRO, A.M., 2021. *Elaboración y caracterización fisicomecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (Musa paradisiaca L.)*. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- DOMÍNGUEZ VILLARREAL, A., 2022. *Formulación y caracterización parcial de películas biobasadas de almidón de fuente no convencional reforzadas con microfibras de celulosa como posible material de envase para alimentos*. Buenavista: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO".
- DUQUE SORIA, A.M., 2024. *Desarrollo de un nuevo material con la cáscara de plátano verde para su aplicación en objetos*. Ambato: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- ENRÍQUEZ HUEPUD, A.I., 2022. *APLICACIÓN DE UN ACABADO TEXTIL REPELENTE AL AGUA A BASE DE UN BIOPLÁSTICO DE CÁSCARA DE PLÁTANO (MUSA PARADISIACA) EN UN TEJIDO PLANO 100% PES*. Ibarra-Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
- ESPÍN BEDÓN, M.S., 2021. *Valoración de la cáscara de Musa paradisiaca (plátano) residual, para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos*. Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .
- ESPINO PENILLA, M. y KOOT, Y., 2020. Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales.

- Informes Científicos Técnicos - UNPA*, vol. 12, no. 4, ISSN 1852-4516. DOI 10.22305/ict-unpa.v12.n4.759.
- ESPIÑOZA ÑAUPARI, E.V. y OSCOCO VILLEGAS, C.R., 2021. *Efecto de glicerina y melamina sobre las propiedades físico-mecánicas del bioplástico de almidón en semilla de Persea americana mill. "PALTA"*. Huancayo: UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES.
- FERNÁNDEZ BAO, S., 2020. *DISEÑO DE EXPERIMENTOS: DISEÑO FACTORIAL*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- FIGUEROA MINAYA, B.L., CABRERA LEYVA, X.M., VILLALOBOS SANDOVAL, M.S., PADILLA RENGIFO, C.D. y CISNEROS QUINCHO, C.Z., 2023. Callao: Más de 300 toneladas de residuos sólidos son generadas al día, ¿cómo afecta a la calidad de vida? [en línea]. Lima: [consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/corresponsales-escolares/historias/callao-mas-de-300-toneladas-de-residuos-solidos-son-generadas-al-dia-como-afecta-a-la-calidad-de-vida-noticia/?ref=ecr>.
- GOEL, V., LUTHRA, P., KAPUR, G.S. y RAMAKUMAR, S.S.V., 2021. Biodegradable/Bio-plastics: Myths and Realities. *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 29, no. 10, ISSN 15728919. DOI 10.1007/s10924-021-02099-1.
- GORE CALLAO, 2023. ASIS 2022: Análisis de Situación de Salud Región Callao. . CALLAO:
- GUERRERO GARCÍA, L., 2020. *Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (Musa paradisiaca L.)*. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN.
- HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. y MENDOZA TORRES, C.P., 2018. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: s.n. ISBN 9781456260965.
- HOLGUIN CARDONA, J.S., 2019. *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. Bogotá: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- HOYOS SHICA, L. Di, 2022. *Determinación del volumen y composición química de los residuos sólidos agroindustriales en las provincias de Coronel Portillo y Padre Abad, Ucayali*. S.I.: UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI .
- HUMPIRI MAMANI, Y.N., 2018. *Reutilización de residuos de la cáscara de banano (Musa cavendish) y plátano (Musa paradisiaca) para la obtención de bioplásticos*. Puno: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO.
- IES RAMON Y CAJAL, 2019. Bioplástico. . S.I.:
- JARAMILLO ALCANTAR, A., PARRALES VARGAS, D., CHÁVEZ ESPÍN, J.J., VILLALPANDO MUÑOZ, M.Y. y MARTÍNEZ DÍAZ, O., 2022. Química IV. . S.I.:
- KARNE, H.U., GAYDHANE, P., GOHOKAR, V., DESHPANDE, K., DUNUNG, P. y BENDKULE, G., 2023. Synthesis of biodegradable material from banana

- peel. *Materials Today: Proceedings* [en línea], [consulta: 3 marzo 2024]. ISSN 2214-7853. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.157>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323027827>.
- KIRAN V, G., VARSHA A, K., M, V., GOVINDARAJ, V., M, A., N, V., M, G., NITHILA, E.E., BEBIN, M., PRASATH, T.A. y CHEZHIYAN, P., 2022. Synthesis and Characterization of Banana Peel Starch-based Bioplastic for Intravenous Tubes Preparation. *Materials Today Communications* [en línea], vol. 33, ISSN 2352-4928. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104464>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013058>.
- LEMA VERA, E., MANZO ESCOBAR, N., BAQUE MITE, L. y MOREIRA MENÉNDEZ, M., 2020. Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico. *Revista Ingeniería e Innovación* [en línea], [consulta: 11 mayo 2024]. ISSN 2346-0474. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rri/article/view/2407>.
- LÓPEZ-AGUIRRE, J.F., POMAQUERO-YUQUILEMA, J.C. y LÓPEZ-SALAZAR, J.L., 2020. Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento* [en línea], vol. 5, no. 53, ISSN 2550-682X. DOI 10.23857/pc.v5i12.2139. Disponible en: <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>.
- LÓPEZ MAIZA, D.N., OCHOA REINOSO, P.E. y LÓPEZ AGUIRRE, J., 2019. La estadística y la investigación científica: un trabajo en conjunto. *Imaginario Social* [en línea], vol. 2, [consulta: 3 marzo 2024]. ISSN e-ISSN: 2727-6362. Disponible en: <http://revista-imaginariosocial.com/index.php/es/index>.
- MACÊDO VIANA, E.B., LEITE OLIVEIRA, N., SOUZA RIBEIRO, J., FERREIRA ALMEIDA, M., ELOI SOUZA, C.C., VILELA RESENDE, J., SOARES SANTOS, L. y MARTINS VELOSO, C., 2022. Development of starch-based bioplastics of green plantain banana (*Musa paradisiaca* L.) modified with heat-moisture treatment (HMT). *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 31,
- MACÍAS BAZURTO, J.V. y ZAMBRANO VALENCIA, D.M., 2023. *Evaluación de la quitina en la producción de almidón termoplástico con base de cáscara de plátano*. Calceta: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ.
- MEDINA, M., ROJAS, R., BUSTAMANTE, W., LOAIZA, R., MARTEL, C. y CASTILLO, R., 2023. *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Primera edición. S.I.: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.
- MINAM, 2018. Cifras del mundo y el Perú. [en línea]. S.I.: [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>.

- MINAM, 2020. Conclusiones y recomendaciones del MINAM sobre Proyecto de ley N°399/2021-CR. 2020. [en línea]. S.l.: [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20399-2021-CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf>.
- NIZAMA NOLE, W.R., 2021. *Técnicas de extracción de almidón de frutas y residuos vegetales*. Sullana: UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA .
- ÑAUPAS PAITÁN, H., VALDIVIA DUEÑAS, M.R., PALACIOS VILELA, J.J. y ROMERO DELGADO, H.E., 2018. *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. 5a. Edición. Bogotá: s.n. ISBN 978-958-762-876-0.
- PÉREZ LÓPEZ, A.F., 2021. *Evaluación para la obtención de almidón aprovechando los residuos de mango (Mangifera indica L.) Para la producción de un biopolímero*. Bogotá: FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.
- PERÚ. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2016. *DECRETO LEGISLATIVO N° 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. 2016. S.l.: s.n.
- PERÚ. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, 2018. *LEY N° 30884. Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. 2018. S.l.: s.n.
- POSADA DELGADO, J.C., POZO BRITO, S.A. y DIAZ MENDEZ, M.Á., 2023. *Larvas de Tenebrio molitor con sustratos orgánicos en la biodegradación de residuos de poliestireno expandido (EPS) a escala de laboratorio, Callao 2023*. Callao: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.
- QUINTANILLA CABEZAS, C.E., 2023. *Características de un bioplástico con propiedades antioxidantes a partir de quitosano y extracto vegetal*. Callao: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO.
- RAMOS GALARZA, C., 2021. Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, vol. 10, no. 1, ISSN 1390-681X. DOI 10.33210/ca.v10i1.356.
- RICO, M.B. y GOMIS, A.M., 2012. *Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades*. Alicante: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- RIMAC LEÓN, A.C., 2019. *Bioplásticos*. Lima: Universidad Científica del Sur.
- ROMERO URRÉA, H., JOE REAL COTTO, J., GUAYAQUIL JOE LUIS ORDOÑEZ SÁNCHEZ, U. y ESTATAL DE MILAGRO LIC GUADALUPE SALDARRIAGA, U., 2021. *Metodología de la Investigación*. S.l.: s.n.
- SÁNCHEZ FLORES, F.A., 2019. Fundamentos Epistémicos de la Investigación Cualitativa y Cuantitativa: Consensos y Disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, ISSN 2223-2516. DOI 10.19083/ridu.2019.644.

- SPDA, 2023. Cada año se producen 400 millones de toneladas de plástico y la mitad tiene un solo uso. [en línea]. S.l.: [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.actualidadambiental.pe/cada-ano-se-producen-400-millones-de-toneladas-de-plastico-y-la-mitad-tiene-un-solo-uso/>.
- TAO, C.X., VETTESE, S. y ANASTASIADOU, C., 2024. Walking, Observing and Making – Rethinking Plastics in Edinburgh. *Eighteenth International Conference on Design Principles & Practices*,
- TOMÁS, K.G., 2023. *Estudio por dinámica molecular de la estructura y dinámica de soluciones salinas de sorbitol*. Santa Rosa - Argentina: Universidad Nacional de La Pampa.
- USAID, 2020. ESTUDIO CASO: LOS DESECHOS PLÁSTICOS EN EL MAR Y LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN PERÚ. . S.I.:
- VANEGAS CHAVERRA, D.E., 2020. *Efecto del agua destilada y agua lluvia en la respuesta físico mecánica de un suelo residual originado de rocas ígneas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- VÁZQUEZ MORILLAS, A., ESPINOSA VALDEMAR, R.Ma., VELASCO PEREZ, M. y VILLAVICENCIO, M.B., 2016. *Bioplásticos y plásticos degradables* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/303045045>.
- VÁZQUEZ MORILLAS, A., VELASCO PÉREZ, M., ESPINOSA VALDEMAR, R.M., MORALES CONTRERAS, M., HERNÁNDEZ ISLAS, S., ORDAZ GUILLÉN, M.Y.L. y ALMEIDA FILGUEIRA, H.J., 2016. Generación, legislación y valorización de residuos plásticos en iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 32, no. EspecialResiduosSolidos, ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2016.32.05.05.
- VÉLEZ MARTINEZ, C.V., ZAMBRANO MURILLO, X.S., DELGADO DEMERA, M.H., BURGOS BRIONES, G.A. y CEDEÑO PALACIOS, C.A., 2021. Almidones de Cáscara de Yuca (Manihot Esculenta) y Papa (Solanum Tuberosum) para Producción de Bioplásticos: Propiedades Mecánicas y Efecto Gelatinizante. *REVISTA BASES DE LA CIENCIA*, vol. 6, no. 2, ISSN 2588-0764. DOI https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v6i2.3293.
- VENTURA-MUÑOZ, M.G., CARBAJAL-ARÍZAGA, G.G. y GUERRA-RODRÍGUEZ, L.E., 2019. Remoción de ácido cítrico de soluciones acuosas mediante el uso de hidróxidos dobles laminares. *IV CONGRESO EN TENDENCIAS EN CIENCIAS DE ALIMENTOS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO* [en línea]. S.l.: s.n., pp. 83-84. [consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <http://fstd.cucei.udg.mx/sites/default/files/Memorias%20del%20congreso%202019%20DIGITAL.pdf#page=84>.
- VERMA, P., RANIA, R., DAS, D., KUMAR RAI, K., GOGOI, P. y BADWAIK, L.S., 2024. Transformation of banana peel into biodegradable film added with

starch and carboxymethyl cellulose and its characterization. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* [en línea], vol. 37, [consulta: 3 marzo 2024]. ISSN ISSN 2352-5541. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101356>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235255412300390X>.

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

Tabla 15

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	Almidón de cáscara de plátano verde (VI)	TIPO: Aplicada
¿De qué manera el almidón de la cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca) del Mercado central del Callao influye en la elaboración de bioplástico Callao, 2024?	Evaluar el almidón de la cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca) del Mercado central del Callao en la elaboración del bioplástico, 2024.	El almidón de la cáscara de plátano verde (Musa paradisiaca) del Mercado central del Callao influye significativamente en la elaboración de bioplástico.	DIMENSIÓN: Proceso de extracción del almidón de cáscara de plátano verde	NIVEL: Explicativo
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	INDICADORES: • Temperatura • Tiempo de secado • Proporción de almidón cáscara de plátano	ENFOQUE: Cuantitativa
¿De qué manera la temperatura de secado de la obtención de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?	Determinar la temperatura de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.	La temperatura de secado de la obtención del almidón de cascará de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.	Elaboración de bioplástico (VD)	DISEÑO: Experimental
¿De qué manera el tiempo de secado de la obtención de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?	Determinar el tiempo de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.	El tiempo de secado de la obtención del almidón de cáscara de plátano verde influye significativamente en la elaboración de bioplástico.	Propiedades físico–mecánicas y biodegradación	MÉTODO: Hipotético–Deductivo
¿De qué manera la proporción de almidón de la cáscara plátano verde influye en la elaboración del bioplástico?	Determinar la proporción de almidón derivado de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico.	La proporción de almidón de la cáscara plátano verde influye significativamente en la elaboración del bioplástico.	Indicador: • Tracción • Elongación • Biodegradación	TÉCNICA: Observacional
				INSTRUMENTO: Ficha de recolección de datos
				POBLACIÓN: Las cáscaras de plátano verde del Mercado central del Callao
				MUESTRA: 2,5 kg de cáscara de plátano verde

Nota. **VI**= Variable Independiente, **VD** = Variable Dependiente.

ANEXO N° 2: Instrumentos Validados

Figura 44

Ficha N° 1



Titulo	ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (Musa paradisiaca) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024																												
Línea de Investigación	Ciencia de la Tierra y Medio Ambiente																												
E. Profesional	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales																												
Objetivo Especifico N° 1	Determinar la temperatura de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico																												
Autor	Fernandez Picoy Jose Ayrton Lavado Torres Kevin Ayrton																												
Asesor	Tome Ramos Carlos Odorico																												
Fecha																Hora													
Obtención de almidón de cáscara de plátano verde	Elaboración de Bioplástico																												
	Tracción (MPa)								Elongación (%)								Biodegradación (%)												
	R1		R2		R3		R4		R1		R2		R3		R4		R1		R2		R3		R4						
	Temperatura	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No				
90 °C	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X				
105 °C	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		
Propiedades de Físicas-Mecánicas – Mejor Rendimiento										Biodegradación (%) – Mejor Rendimiento																			
Tracción (MPa)																													
Elongación (%)																													
 Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1										 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2										 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3									

Figura 45

Ficha N° 2



Título	ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (Musa paradisiaca) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024																																		
Línea de Investigación	Ciencia de la Tierra y Medio Ambiente																																		
E. Profesional	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales																																		
Objetivo Especifico N° 2	Determinar el tiempo de secado en la obtención de almidón de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico																																		
Autor	Fernandez Picoy Jose Ayrtón Lavado Torres Kevin Ayrtón																																		
Asesor	Tome Ramos Carlos Odorico																																		
Fecha																			Hora																
Obtención de almidón de cáscara de plátano verde	Elaboración de Bioplástico																																		
	Tracción (MPa)								Elongación (%)								Biodegradación (%)																		
	R1		R2		R3		R4		R1		R2		R3		R4		R1		R2		R3		R4												
	Tiempo	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No										
6 h	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X										
8 h	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X										
Propiedades de Físicas-Mecánicas – Mejor Rendimiento												Biodegradación (%) – Mejor Rendimiento																							
Tracción (MPa)																																			
Elongación (%)																																			
 Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1												 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2												 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3											

Figura 46

Ficha N° 3



Título	ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (<i>Musa paradisiaca</i>) DEL MERCADO CENTRAL DEL CALLAO, 2024																							
Línea de Investigación	Ciencia de la Tierra y Medio Ambiente																							
E. Profesional	Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales																							
Objetivo Especifico N° 3	Determinar la proporción de almidón derivado de la cáscara de plátano verde para la elaboración del bioplástico																							
Autor	Fernandez Picoy Jose Ayrton Lavado Torres Kevin Ayrton																							
Asesor	Tome Ramos Carlos Odorico																							
Fecha																			Hora					
Almidón de cáscara de plátano verde	Elaboración de Bioplástico																							
	Tracción (MPa)								Elongación (%)								Biodegradación (%)							
		R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3	R4	R1	R2	R3
Proporción	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
12 %	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
14 %	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Propiedades de Físicas-Mecánicas – Mejor Rendimiento												Biodegradación (%) – Mejor Rendimiento												
Tracción (MPa)																								
Elongación (%)																								
																								
Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1								Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2								Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3								

Figura 47

Ficha N° 4

Parámetros	ANALISIS PROXIMAL	
Carbohidratos (%)		
Ceniza (%)		
Energía Total (Kcal)		
Grasas (%)		
Humedad (%)		
Proteínas (%)		
 Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2	 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3

Figura 48

Ficha N° 5

BIODEGRADACIÓN DEL BIOPLÁSTICO				
Fecha				
Hora				
Observaciones				
Tratamiento. Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Variación del Peso (g)	Biodegradación (%)
TR1.1				
TR1.2				
TR1.3				
TR2.1				
TR2.2				
TR2.3				
TR3.1				
TR3.2				
TR3.3				
TR4.1				
TR4.2				
TR4.3				
 Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2		 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3	

ANEXO 3: Validación de instrumento

Figura 49

Validación de Especialista N° 1



**FACULTAD DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Validación de instrumento

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres: Victoria Barros, Cesar Gualberto

1.2. Centro laboral: UNMSM

1.3. Instrumento de Investigación: Ficha N° 1, 2, 3, 4 y 5

1.4. Autor del instrumento: Fernandez Picoy, Jose Ayrton
Lavado Torres, Kevin Ayrton

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 1-20	Regular 21-40	Bueno 41-60	Muy Bueno 61-80	Excelente 81-100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible					X
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos				X	
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación				X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales				X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis				X	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos				X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, variables e indicadores				X	
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseños aplicados para lograr probar la hipótesis				X	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación de la investigación y su adecuación al método científico				X	

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
El instrumento si cumple con los requisitos para la evaluación _____

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Promedio: 80



Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto
N°CFP: 0429

Lima, 9 de Marzo del 2024

Figura 50

Validación de Especialista N° 2



Validación de instrumento

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: Posada Delgado Jennifer Carolain
- 1.2. Centro laboral: Técnica y Proyectos (TYP SA - Perú)
- 1.3. Instrumento de Investigación: Ficha N° 1, 2, 3, 4 y 5
- 1.4. Autor del instrumento: Fernandez Picoy, Jose Ayrton
Lavado Torres, Kevin Ayrton

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

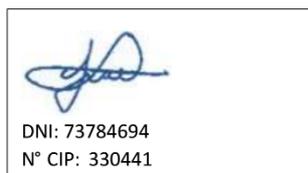
CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 1-20	Regular 21-40	Bueno 41-60	Muy Bueno 61-80	Excelente 81-100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible				75	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos					85
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación				80	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				80	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales					85
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis					85
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos					85
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, variables e indicadores					85
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseños aplicados para lograr probar la hipótesis				80	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación de la investigación y su adecuación al método científico					85

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Resultan instrumentos adecuados a la investigación debido a que guarda coherencia con las dimensiones e indicadores que plantean; además, permiten el análisis de la biodegradación del bioplástico.

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Promedio: 82.5



Lima, 09 de Marzo del 2024

Figura 51

Validación de Especialista N° 3



**FACULTAD DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES**
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

Validación de instrumento

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres: Renzo Ruben Arroyo Bazalar

1.2. Centro laboral: DIRESA Callao

1.3. Instrumento de Investigación: Ficha N° 1, 2, 3, 4 y 5

1.4. Autor del instrumento: Fernandez Picoy, Jose Ayrton
Lavado Torres, Kevin Ayrton

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 1-20	Regular 21-40	Bueno 41-60	Muy Bueno 61-80	Excelente 81-100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible					95
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos					95
3. ACTUALIDAD	Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación					95
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					95
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta aspectos metodológicos esenciales					95
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis					95
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y científicos					95
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, variables e indicadores					95
9. METODOLOGIA	La estrategia responde a una metodología y diseños aplicados para lograr probar la hipótesis					95
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación de la investigación y su adecuación al método científico					95

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD
El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

Promedio: 95


 DNI: 48311790
 N° CIP: 331593

Lima, 10 de Marzo del 2024

ANEXO 4: Laboratorio Slab Perú S.A.C.

Figura 52
Certificado de Acreditación

Certificado

 **INACAL**
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

Laboratorio de Ensayo

En su sede ubicada en: Calle 22 Mz E Lt 7 Urbanización Vipol de Naranjal, distrito de San Martín de Porres, provincia y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de julio de 2023
Fecha de Vencimiento: 20 de julio de 2026

 Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Lidia Patricia FAU
20600283015 soft
Fecha: 2023-08-18 08:52:23
Motivo: Soy el Autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRÍGUEZ
Directora (d.t.), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 15 de agosto de 2023



Cédula: N°: 228-2023-INACAL/DA
Contrato N°: 039-2023/INACAL-DA
Registro N°: LE - 211

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 03

ANEXO 5: Registro Fotográfico

Figura 53

Materiales y equipos



Insumos



Materiales



Tamiz N° 60



Pilón y mortero



Balanza analítica



Desecador y estufa

Figura 54

Proceso de elaboración de bioplástico



Cáscara de plátano verde



Elaboración de Bioplástico



Bioplástico



Biodegradacion



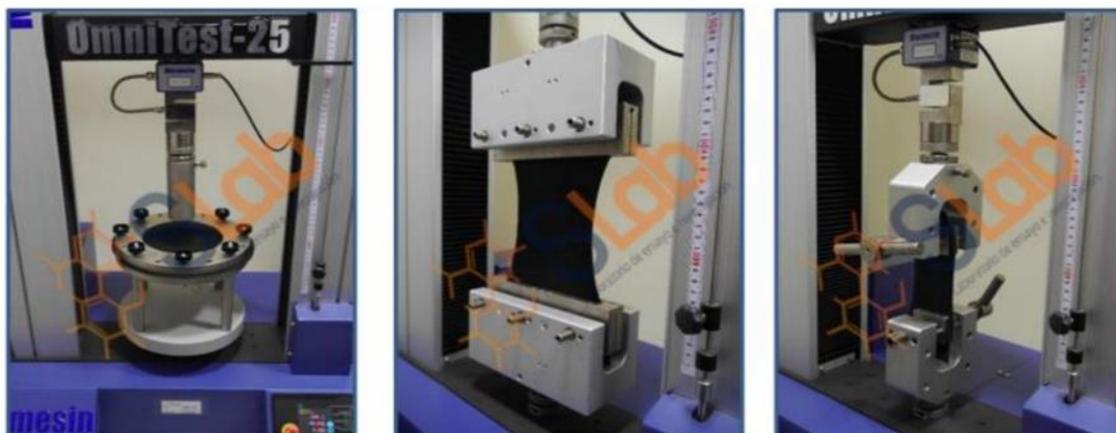
Tratamiento 1
Tratamiento 2



Tratamiento 3
Tratamiento 4

Figura 55

Equipo de resistencia mecánica



ANEXO 6: Cáscara de plátano verde (*Musa paradisiaca*)

Figura 56

Análisis proximal de cáscara de plátano verde

 FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO		
CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE		
Fecha	02 de Abril del 2024	
Hora	12:00	
Observaciones	Se obtuvo la data emitidos por Slab Perú S.A.C.	
ANÁLISIS PROXIMAL		
Parámetros		
Carbohidratos (%)	13.53	
Ceniza (%)	2.38	
Energía Total (Kcal)	1213.06	
Grasas (%)	2.53	
Humedad (%)	79.13	
Proteínas (%)	0.93	
 Mg. Victoria Barros, Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2	 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3

ANEXO 7: Ficha de datos de Biodegradación

Figura 57

Biodegradación a los primeros 10 días

 FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO				
BIODEGRADACIÓN DEL BIOPLÁSTICO				
Fecha	02 de abril de 2024			
Hora	12:00			
Observaciones	Se realizó la prueba transcurrido los 10 días.			
Tratamiento. Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Variación del Peso (g)	Biodegradación (%)
TR1.1	9.00	8.77	0.23	2.56%
TR1.2	8.90	7.92	0.98	11.01%
TR1.3	8.60	8.16	0.44	5.12%
TR2.1	8.30	6.43	1.87	22.53%
TR2.2	8.90	7.52	1.38	15.51%
TR2.3	8.70	6.35	2.35	27.01%
TR3.1	7.30	6.88	0.42	5.75%
TR3.2	6.20	5.37	0.83	13.39%
TR3.3	6.10	5.98	0.12	1.97%
TR4.1	7.30	5.78	1.52	20.82%
TR4.2	10.60	8.85	1.75	16.51%
TR4.3	8.00	6.97	1.03	12.88%
 Mg. Victoria Barros Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2		 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3	

Figura 58

Biodegradación a los primeros 20 días

 FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO				
BIODEGRADACIÓN DEL BIOPLÁSTICO				
Fecha	12 de abril de 2024			
Hora	12:00			
Observaciones	Se realizó la prueba transcurrido los 20 días.			
Tratamiento. Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Variación del Peso (g)	Biodegradación (%)
TR1.1	9.00	7.41	1.59	17.67%
TR1.2	8.90	5.73	3.17	35.62%
TR1.3	8.60	6.07	2.53	29.42%
TR2.1	8.30	3.65	4.65	56.02%
TR2.2	8.90	6.05	2.85	32.02%
TR2.3	8.70	4.62	4.08	46.90%
TR3.1	7.30	5.59	1.71	23.42%
TR3.2	6.20	4.78	1.42	22.90%
TR3.3	6.10	4.76	1.34	21.97%
TR4.1	7.30	4.88	2.42	33.15%
TR4.2	10.60	6.72	3.88	36.60%
TR4.3	8.00	5.65	2.35	29.38%
 Mg. Victoria Barros Cesar Gualberto N° CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2		 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3	

Figura 59

Biodegradación a los primeros 30 días

 FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO				
BIODEGRADACIÓN DEL BIOPLÁSTICO				
Fecha	22 de abril de 2024			
Hora	12:00			
Observaciones	Se realizó la prueba transcurrido los 30 días.			
Tratamiento. Réplica	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Variación del Peso (g)	Biodegradación (%)
TR1.1	9.00	6.77	2.23	24.78%
TR1.2	8.90	4.90	4.00	44.94%
TR1.3	8.60	5.38	3.22	37.44%
TR2.1	8.30	2.50	5.80	69.88%
TR2.2	8.90	5.55	3.35	37.64%
TR2.3	8.70	2.58	6.12	70.34%
TR3.1	7.30	4.98	2.32	31.78%
TR3.2	6.20	4.00	2.20	35.48%
TR3.3	6.10	4.09	2.01	32.95%
TR4.1	7.30	3.45	3.85	52.74%
TR4.2	10.60	4.73	5.87	55.38%
TR4.3	8.00	4.86	3.14	39.25%
 Mg. Victoria Barros Cesar Gualberto N°CFP: 0429 Especialista N°1	 Ing. Posada Delgado, Jennifer Carolain N° CIP: 330441 Especialista N°2	 Ing. Arroyo Bazalar, Renzo Ruben N° CIP: 331593 Especialista N°3		

ANEXO 8: Ensayo de Laboratorio – Slab Perú S.A.C.

Figura 60

Análisis proximal de la cáscara de plátano verde



Slab
Laboratorio de ensayo e investigación

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-0462

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : KEVIN AYRTON LAVADO TORRES
1.2 RUC o DNI : 72084159
1.3 Dirección : No Precisa

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : MUESTRA ORGANICA
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 01
2.4 Fecha de Recepción : 2024-03-14
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-03-14 al 2024-03-25
2.6 Fecha de Emisión : 2024-03-26
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-108230-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Análisis Proximal Carbohidratos, Ceniza, Energía total Kcal, Grasa, Humedad, Proteínas	FAO Food and Nutrition Paper Vol 14/7

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra: CASCARA DE PLATANO VERDE (c)



DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

V02
2023-07-21

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.
Calle 22 Urb. Vípol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.
Cel: 926640042
www.slabperu.com – contacto@slabperu.com

Página 1 de 2

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS VARIADOS

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0800	Carbohidratos	%	0.01	13.53
	Ceniza	%	0.01	2.38
	Grasa	%	0.01	2.53
	Proteínas	%	0.01	0.93
	Humedad	%	0.01	79.13
	Energía total	Kcal/kg	0.01	1213.06

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(*) Información suministrada por el cliente.

FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

Figura 61

Ensayos de Tracción y elongación del bioplástico



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS
S.A.C.

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0567

1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : KEVIN AYRTON LAVADO TORRES
1.2 RUC o DNI : 72084159
1.3 Dirección : Mz E Lote 14 AAPP las Mercedes IV ETP - SMP

2. DATOS DE LA MUESTRA

- 2.1 Producto : BIOPLASTICOS
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 12
2.4 Fecha de Recepción : 2024-03-22
2.5 Período de Ensayo : 2024-03-23 al 2024-03-27
2.6 Fecha de Emisión : 2024-03-30
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-110570-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Resistencia a la tracción y elongación	ASTM D638 Método de prueba estándar para las propiedades de tracción de los plásticos

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de Muestra:

Código de Laboratorio	Descripción de Muestra
S-0969	TR3R1 (c)
S-0970	TR2R1 (c)
S-0971	TR1R2 (c)
S-0972	TR1R1 (c)
S-0973	TR4R2 (c)
S-0974	TR3R3 (c)
S-0975	TR3R2 (c)
S-0976	TR2R2 (c)
S-0977	TR4R3 (c)
S-0978	TR2R3 (c)
S-0979	TR4R1 (c)
S-0980	TR1R3 (c)


DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337

V02
2023-07-21

SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS S.A.C.
Calle 22 Urb. Vipol Naranjal Mz E Lt 07, San Martín De Porres Lima-Perú.
Cel: 926640042

www.slabperu.com - contacto@slabperu.com

Página 1 de 14

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0969)

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0969	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.753

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0969	Elongación	%	1	23.72

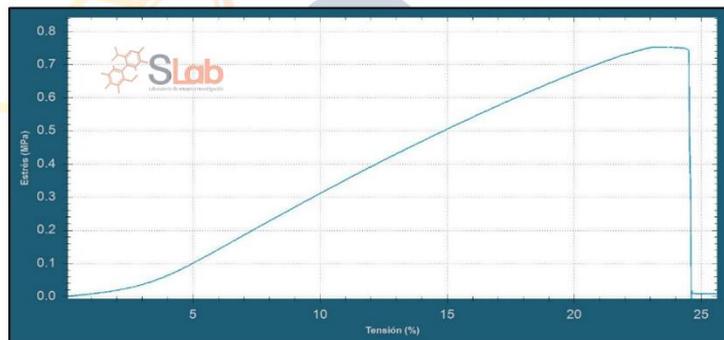


Gráfico N°1: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0970)

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0970	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.183

Tabla N°4: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0970	Elongación	%	1	15.23

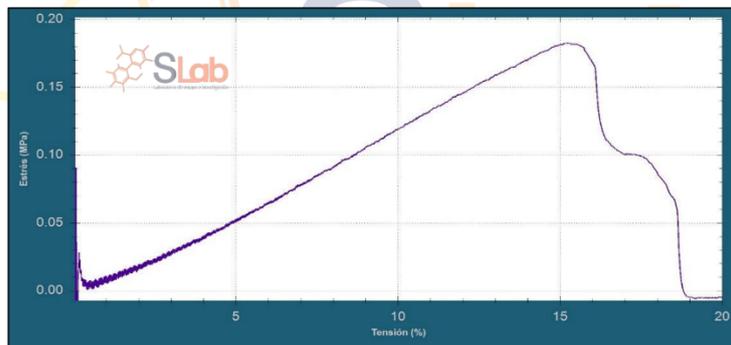


Gráfico N°2: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0971)

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0971	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.161

Tabla N°6: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0971	Elongación	%	1	26.07

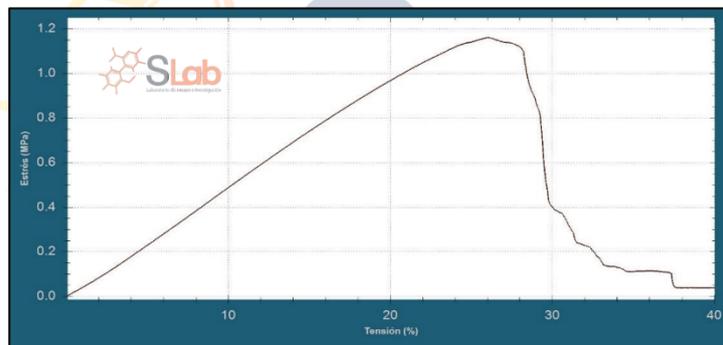


Gráfico N°3: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0972)

Tabla N°7: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0972	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.009

Tabla N°8: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0972	Elongación	%	1	25.86

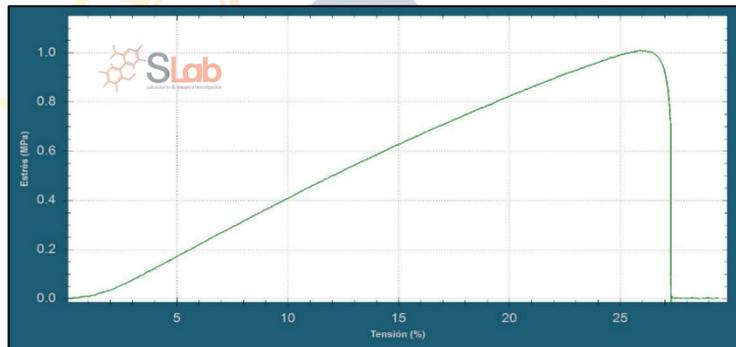


Gráfico N°4: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0973)

Tabla N°9: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0973	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.507

Tabla N°10: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0973	Elongación	%	1	21.56

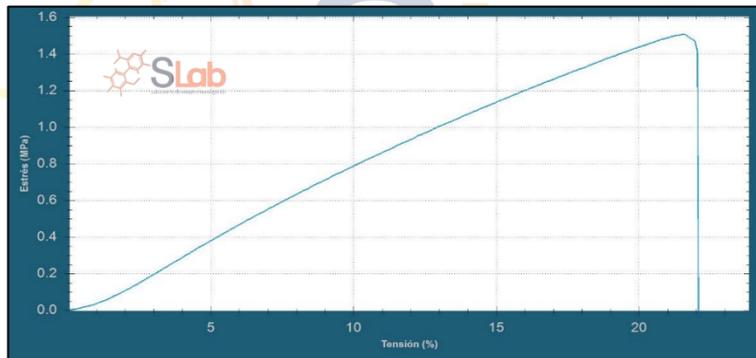


Gráfico N°5: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.7. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0974)

Tabla N°11: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0974	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.900

Tabla N°12: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0974	Elongación	%	1	20.26

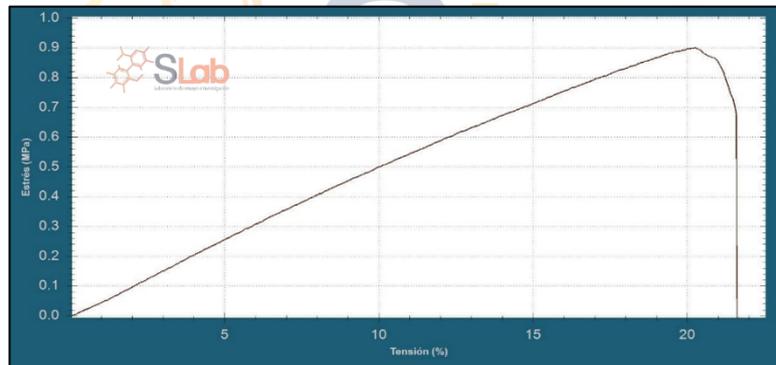


Gráfico N°6: RESISTENCIA A LA TRACCION - ELONGACION

4.8. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0975)

Tabla N°13: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0975	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.896

Tabla N°14: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0975	Elongación	%	1	26.26

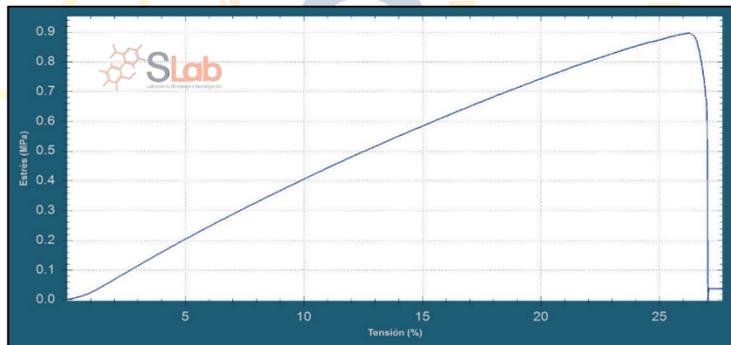


Gráfico N°7: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0976)

Tabla N°15: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0976	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.395

Tabla N°16: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0976	Elongación	%	1	19.98

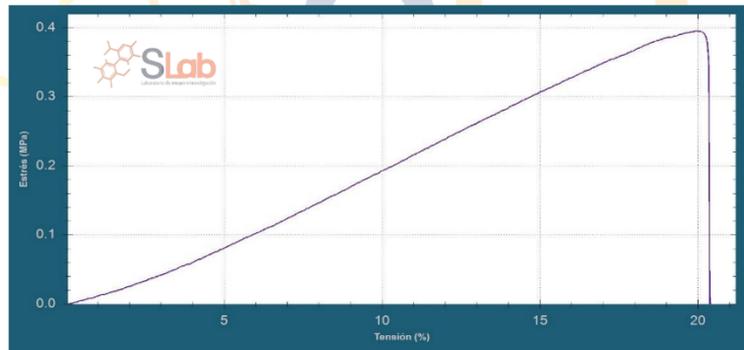


Gráfico N°8: RESISTENCIA A LA TRACCION - ELONGACION

INFORME DE ENSAYO IE-2024-0567

4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0977)

Tabla N°17: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0977	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.626

Tabla N°18: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0977	Elongación	%	1	25.19

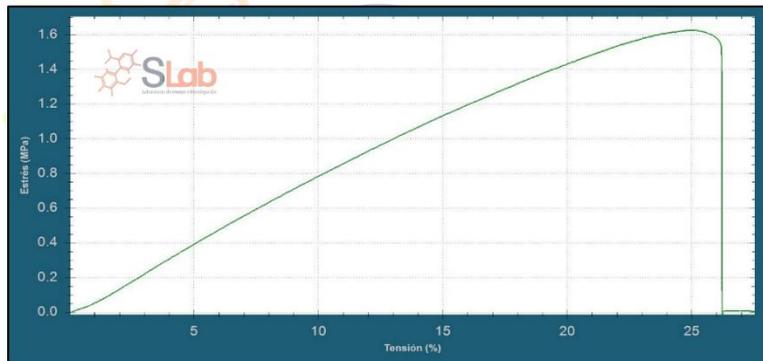


Gráfico N°9: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCIÓN – ELONGACION (S-0978)

Tabla N°19: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0978	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.682

Tabla N°20: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0978	Elongación	%	1	18.97

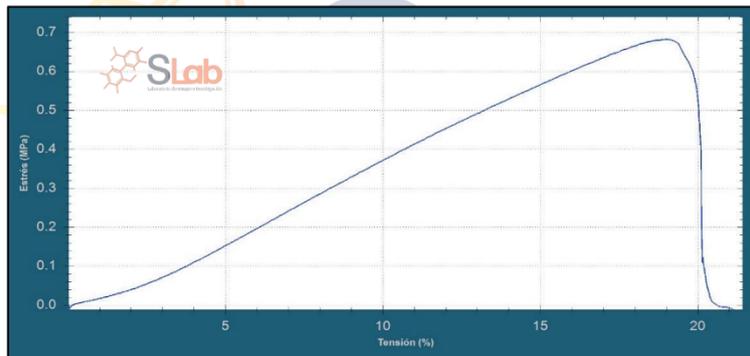


Gráfico N°10: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.12. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0979)

Tabla N°21: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0979	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.458

Tabla N°22: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0979	Elongación	%	1	22.72

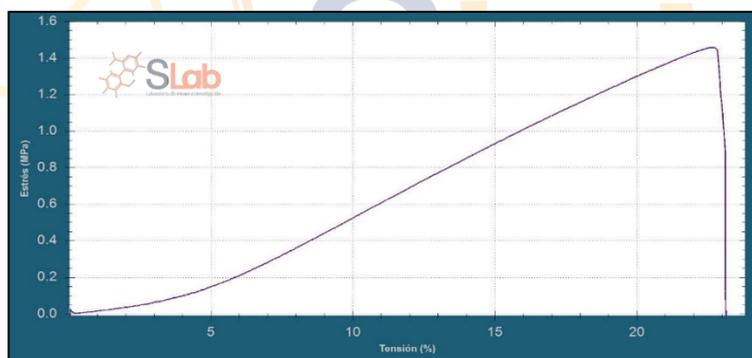


Gráfico N°11: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

4.13. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION – ELONGACION (S-0980)

Tabla N°23: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0980	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.168

Tabla N°24: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	LCM	Resultados
S-0980	Elongación	%	1	18.79

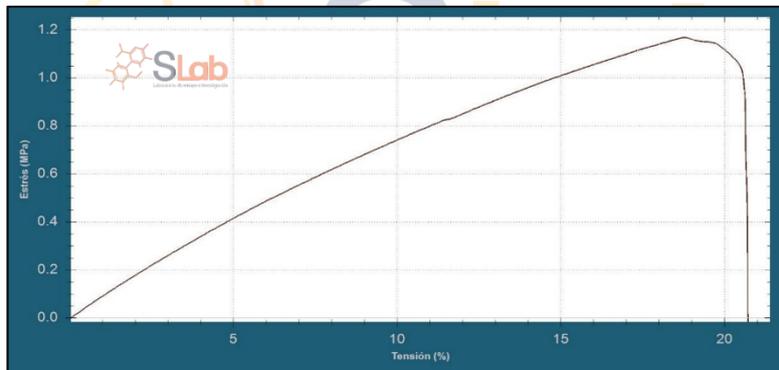


Gráfico N°12: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN - ELONGACIÓN

Leyenda

LCM: Límite de Cuantificación de Método.

(c) Información suministrada por el cliente.

FIN DE DOCUMENTO

- Sin la aprobación del laboratorio Sistema de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. no se debe reproducir el informe de ensayo parcial, excepto cuando se reproduce en su totalidad.
- Los resultados de los ensayos se aplican a la muestra cómo se recibió y no se deben usar como una declaración de conformidad con una especificación o normas de productos de la entidad que lo produce.
- El laboratorio no es responsable de la información que ha sido identificada como suministrada por el cliente.
- El muestreo está fuera del alcance de acreditación.
- Los resultados se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
- Este laboratorio está acreditado de acuerdo con la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio.

