

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR
DE *Xanthosoma sagittifolium* L. (UNCUCHA Q'UELLO) Y
CÁSCARA DE HUEVO**

PRESENTADO POR:

BR. MARIBEL ELVIRA HUAMAN ACUÑA

BR. RICKY ANTHONY MENDOZA PACHACUTEC

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

ASESORA:

DRA. AMANDA ROSA MALDONADO FARFÁN

FINANCIADO POR:

PROGRAMA “YACHAYNINCHIS

WIÑARINAMPAQ” – UNSAAC

CUSCO - PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Amanda Rosa MALDONADO FARFAN
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: OBTENCIÓN DE ENVASES
BIODEGRADABLES A PARTIR DE Xanthosoma sagittifolium L.
(UNCUCHA Q'uello) y CÁSCARA DE HUEVO

Presentado por: Maribel Elvira Huaman Acuña DNI N° 73228244;
presentado por: Ricky Anthony Mendoza Pachatec DNI N° 73878914
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO QUÍMICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 6 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 25 de Septiembre de 2025

Firma

Post firma Amanda Rosa MALDONADO FARFAN

Nro. de DNI 23822559

ORCID del Asesor 0000-0002-4870-7078

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** <https://unsaac.tornitin.com/viewer/submissions/oid:27259:503225408?Locale=es-MX>

OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE *Xanthosoma sagittifolium* L. (UNCUCHA Q'UELLO) Y CÁSCARA...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:503225408

Fecha de entrega

24 sep 2025, 9:02 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

24 sep 2025, 9:06 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE *Xanthosoma sagittifolium* L. (UNCUCHA....pdf

Tamaño del archivo

5.2 MB

139 páginas

21.970 palabras

111.315 caracteres

6% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Presentación

Distinguido Señor Decano y Docentes del Departamento Académico de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Siguiendo el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos y Escuela Profesional de Ingeniería Química vigente a la fecha, presentamos a vuestra consideración el trabajo de investigación titulado: “OBTENCIÓN DE ENVASES BIODEGRADABLES A PARTIR DE *Xanthosoma sagittifolium* L. (UNCUCHA Q’UELLO) Y CÁSCARA DE HUEVO” para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico.

El trabajo de investigación está orientado a estudiar el proceso de obtención; análisis de las propiedades físico-mecánicas del envase biodegradable a partir de Uncucha Q’uello y cáscara de huevo.

Se espera que la información proporcionada pueda servir de referencia para futuras investigaciones.

Dedicatoria

A Dios, por ser mi fuerza en los momentos más difíciles, por guiarme con su luz cuando todo parecía incierto.

A mi papá Marco, que siempre apoyó cada paso de mi vida universitaria. Por querer que yo y mis hermanos fuéramos personas de bien, por apoyarme sin condiciones. Tus valores están en cada página de este trabajo. A mi mamá Eliana, que siempre estuvo ahí, con su manera dulce de exigirme. Esas palabras que muchas veces se repetía “*acelera tu tesis*” que me acompañaron más de lo que crees. A ellos por cuidarme tanto, incluso cuando sentía que me sobreprotegían. Hoy sé, que gracias a esos límites, estoy aquí, cumpliendo esta meta. Les debo más de lo que puedo escribir.

A mi hermana Darleny, que con su carácter fuerte y su ejemplo constante, me recordaba que tenía una meta. Gracias por tus exigencias, por querer lo mejor para mí, aunque no siempre supiera como decirlo. Hoy entiendo que detrás de cada “*apúrate*” había cariño.

A mis hermanos Raúl y Alexis, con quienes comparto la vida. A pesar de todo, estamos, seguimos, y eso también es amor.

A mis tíos, primos, amigos, a cada persona que me preguntó, una y otra vez, “*Mary, ¿Para cuándo la tesis?*”, “*¿Cómo va tu tesis?*”... quizá no lo sabían, pero me estaban empujando un poquito más cerca del final.

Maribel Elvira Huaman Acuña

A mis padres, Roberto y Angélica, pilares fundamentales de mi vida, por su incondicional apoyo, su guía inquebrantable y los sabios consejos que me iluminaron el camino. Su amor y sacrificio han sido la fuerza que me impulsó a alcanzar mis metas.

A mi hermana Tracy y mi sobrina Qory, a mis familiares y amigos, por su constante presencia, su aliento incondicional y por compartir conmigo cada paso de este recorrido, celebrando los triunfos y ofreciendo consuelo en los momentos difíciles. Su apoyo ha sido esencial.

A la Dra. Amanda Rosa Maldonado Farfán, nuestra asesora, expreso mi más sincera gratitud por su excelente enseñanza, su apoyo constante y su guía experta en nuestra formación profesional. Su dedicación y compromiso nos han inspirado a convertirnos en profesionales ejemplares, comprometidos con la excelencia y con el servicio a nuestra comunidad.

Ricky Anthony Mendoza Pachacutec

Agradecimiento

Agradecemos al Programa “Yachayninchis Wiñarinanpaq” de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por financiar y respaldar la ejecución de la investigación.

A nuestra querida asesora la Dra. Amanda Maldonado, quien es una excelente profesional dedicada a la investigación, y quien nos apoyó de forma incondicional en la ejecución del trabajo de investigación permitiéndonos hacer uso del Laboratorio de Tecnologías de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Química, para la etapa experimental de nuestra investigación.

Asimismo, nos gustaría agradecer a los Ingenieros de nuestra Escuela Profesional que fueron parte de este proceso aconsejándonos y enseñándonos.

Por último, agradecemos a nuestras familias y amigos por el apoyo y consejos que nos brindaron, estaremos siempre agradecidos con todos ustedes.

Resumen

En la presente investigación se estudió la obtención de envases biodegradables a partir de *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) y cáscara de huevo en polvo. Inicialmente, se desarrolló el proceso de obtención de almidón por el método de vía húmeda para el cual se necesitó una muestra de 3.0 kg de Uncucha Q'uello, obteniendo un rendimiento (%R) de 12.86%, seguidamente se realizó el proceso de obtención de cáscara de huevo en polvo y finalmente se realizó el proceso de obtención de láminas de bioplástico. Para dicho proceso se realizó 8 experimentos más tres puntos medios, entre los niveles inferior y superior de las variables independientes, con tres repeticiones, teniendo un total de 44 tratamientos, donde se trabajó como: cantidad de almidón (6, 8 y 10 g), cantidad de cáscara de huevo en polvo (1, 3 y 5 g), volumen de sorbitol (16, 18 y 20 ml) y volumen ácido acético al 5% (3, 5 y 7 ml) de los cuales se determinó que con 10 g de almidón, 1 g de cáscara de huevo en polvo, 20 ml de sorbitol y 3 ml de ácido acético, se logró obtener una lámina de bioplástico de una mayor resistencia a la tracción (2.31 MPa), porcentaje de elongación intermedio (12.31%), una menor absorción de agua (7.85%) en 24 horas y una biodegradabilidad en el suelo (47.55%) en 30 días, estos parámetros permitieron la elaboración del prototipo de envase biodegradable.

Palabras clave: *Envase biodegradable, almidón, uncucha q'uello, cáscara de huevo, resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, absorción de agua, biodegradabilidad.*

Abstract

The present research studied the production of biodegradable packaging from *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) and powdered eggshell. Initially, the starch extraction process was developed by the wet method, for which a 3.0 kg sample of Uncucha Q'uello was needed, obtaining a yield (%R) of 12.86%. Subsequently, the powdered eggshell extraction process was carried out and finally, the bioplastic sheet production process was carried out. For this process, 8 experiments plus three midpoints were carried out, between the lower and upper levels of the independent variables, with three repetitions, having a total of 44 treatments where it was worked as: amount of starch (6, 8 and 10 g), amount of powdered eggshell (1, 3 and 5 g), volume of sorbitol (16, 18 and 20 ml) and volume of 5% acetic acid (3, 5 and 7 ml), from which it was determined that with 10 g of starch, 1 g of eggshell powder, 20 ml of sorbitol and 3 ml of acetic acid, a bioplastic sheet of greater tensile strength (2.31 MPa) was obtained, intermediate elongation percentage (12.31%), lower water absorption (7.85%) in 24 hours and biodegradability in the soil (47.55%) in 30 days, these parameters allowed the development of the biodegradable packaging prototype.

Keywords: *Biodegradable packaging, starch, uncucha q'uello, eggshell, tensile strength, percentage of elongation, water absorption, biodegradability*

ÍNDICE

Presentación.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento	V
Resumen	VI
Abstract.....	VII
Lista de Figuras	XII
Lista de Tablas.....	XIV
Introducción.....	1
Capítulo I.....	3
Planteamiento del Problema	3
1.1. Descripción del Problema	3
1.2. Formulación del Problema.....	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3. Justificación e Importancia	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos	6
Capítulo II.....	7
Marco Conceptual.....	7
2.1. Antecedentes del Problema.....	7

2.1.1. Antecedentes Internacionales	7
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	12
2.2. Bases Teóricas	15
2.2.1. Plásticos.....	15
2.2.2. Bioenvase	17
2.2.3. Bioplásticos	18
2.2.4. Biopolímeros a Partir de Biomasa.....	18
2.2.5. Componentes de Bioplásticos	21
2.2.6. Características físico-mecánicas de bioplásticos.....	24
2.2.7. Uncucha.....	26
2.2.8. Almidón.....	30
2.2.8. Empresas de mayor producción de bioplásticos en el mundo.....	33
2.2.9. Diseño experimental factorial fraccionado	36
2.2.10. Hipótesis	36
Capítulo III	37
Metodología.....	37
3.1. Tipo, Enfoque, Diseño, y Alcance de la Investigación.....	37
3.2. Muestra	37
3.3. Materiales.....	37
3.4. Métodos	39
3.4.1. Recolección de la muestra.....	39
3.4.2. Obtención de almidón	39

3.4.2.1. Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello por Vía Húmeda.....	39
3.4.2.2. Rendimiento (%R).....	45
3.4.3. Obtención de la cáscara de huevo en polvo	45
3.4.3.1 Obtención de cáscara de huevo en polvo.....	45
3.4.3.2. Rendimiento (%R).....	48
3.4.4. Elaboración de láminas de Bioplástico	48
3.4.4.1. Rendimiento (%R).....	51
3.4.4.2. Análisis Físico-Mecánicos y de Biodegradabilidad	51
3.4.4.2. Diseño experimental	55
3.4.5. Formulación De Bioplástico.....	59
3.4.5.1. Rendimiento (%R).....	60
Capítulo IV	61
Resultados y Discusión.....	61
4.1. Obtención de almidón	61
4.2. Obtención de la cáscara de huevo en polvo	62
4.3. Elaboración de Láminas de Bioplástico.....	63
4.3.1. Rendimiento de láminas de bioplástico	65
4.4. Análisis estadístico	67
4.4.1. Del Porcentaje de Elongación (%EL).....	67
4.4.2. De la Resistencia a la Tracción Rm (MPa).....	70
4.4.3. Del Porcentaje de Absorción (%AA)	75
4.4.4. Del Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD).....	77

4.5. Formulación de bioplástico.....	82
Conclusiones y Recomendaciones	84
Referencias Bibliográficas.....	86
Apéndices	97
Apéndice N°1. Matriz de Operacionalización de Variables	97
Apéndice N°2. Matriz de Consistencia.....	99
Apéndice N°3. Evaluación de Rm, %EL, %AA y %BD de Láminas de Bioplástico con 3 Réplicas	101
Apéndice N°4. Análisis de Resistencia a la Tracción y % Elongación de Láminas de Bioplástico.	103
Apéndice N°5. Análisis de Resistencia a la Tracción y % Elongación de Láminas de Bioplástico, segunda y tercera repetición	116
Anexos.....	129
Anexo N°1. Método De Prueba Estándar Para Las Propiedades De Tracción De Láminas Delgadas De Plástico.....	129
Anexo N°2. Método De La Prueba Estándar Para La Absorción Del Agua De Plásticos	131
Anexo N°3. Características mecánicas a temperatura ambiente de algunos de los polímeros más comunes.....	132

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Clasificación de los Bioplásticos según su Procedencia</i>	19
Figura 2 <i>Reacción de Acetilación del Almidón</i>	22
Figura 3 <i>Estructura Química del Sorbitol</i>	23
Figura 4 <i>Cormelo de Uncucha</i>	27
Figura 5 <i>Partes de la Planta Uncucha</i>	29
Figura 6 <i>Estructura Química de la Amilosa</i>	31
Figura 7 <i>Estructura Química de la Amilopectina</i>	32
Figura 8 <i>Recolección de la Uncucha Q'uello en el distrito de Yanatile.....</i>	39
Figura 9 <i>Limpieza de Muestra de Uncucha Q'uello</i>	40
Figura 10 <i>Lavado de Muestra de Uncucha Q'uello.....</i>	40
Figura 11 <i>Pelado y Picado de Muestra de Uncucha Q'uello</i>	41
Figura 12 <i>Licuada y Filtrado de Muestra de Uncucha Q'uello</i>	41
Figura 13 <i>Sedimentado de la Muestra de Uncucha Q'uello.....</i>	42
Figura 14 <i>Lavado de Almidón de Uncucha Q'uello</i>	42
Figura 15 <i>Secado, Molienda y Tamizado de Almidón de Uncucha Q'uello</i>	43
Figura 16 <i>Pesado y Almacenado de Almidón de Uncucha Q'uello.....</i>	43
Figura 17 <i>Diagrama de Bloques de Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello.....</i>	44
Figura 18 <i>Desinfección de Cáscaras de Huevo.....</i>	46
Figura 19 <i>Secado de Cáscaras de Huevo</i>	46
Figura 20 <i>Pesado y Almacenado de Cáscara de Huevo en Polvo</i>	47
Figura 21 <i>Diagrama de Bloques de Obtención de Cáscara de Huevo en Polvo</i>	47
Figura 22 <i>Cocción de Mezcla Para la Obtención de Láminas de Bioplástico.....</i>	49
Figura 23 <i>Moldeado y Secado de Láminas de Bioplástico</i>	49
Figura 24 <i>Almacén y Rotulado de Láminas de Bioplástico.....</i>	50

Figura 25 <i>Diagrama de Bloques de Elaboración de Láminas de Bioplástico</i>	50
Figura 26 <i>Resistencia a la Tracción de Láminas de Bioplástico</i>	52
Figura 27 <i>Elongación de Láminas de Bioplástico.....</i>	53
Figura 28 <i>Prueba de Absorción de Agua de Láminas de Bioplástico.....</i>	54
Figura 29 <i>Prueba de Biodegradabilidad en Tierra de Láminas de Bioplástico</i>	54
Figura 30 <i>Láminas de Bioplástico Después de 30 días.....</i>	55
Figura 31 <i>Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello</i>	61
Figura 32 <i>Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Cascara de Huevo en Polvo</i>	62
Figura 33 <i>Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Láminas de Bioplástico</i>	65
Figura 34 <i>Gráfica de Efectos para Porcentaje de Elongación (%EL).....</i>	68
Figura 35 <i>Diagrama de Pareto Estandarizada para el Porcentaje de Elongación (%EL)</i>	69
Figura 36 <i>Ensayo de Tracción realizado en SLAB (Laboratorio externo)</i>	71
Figura 37 <i>Gráfica de Efectos para la Resistencia a la Tracción (Rm)</i>	72
Figura 38 <i>Diagrama de Pareto Estandarizada para la Resistencia a la Tracción (Rm)</i>	73
Figura 39 <i>Gráfica de Efectos para la Absorción de Agua (%AA)</i>	76
Figura 40 <i>Gráfica de Efectos para el Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)</i>	78
Figura 41 <i>Diagrama de Bloques de Elaboración de Prototipo de Bioenvase</i>	82
Figura 42 <i>Resultados de Prototipo de Bioenvase.....</i>	83

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Materiales termoplásticos derivados del petróleo tradicionalmente utilizados en la fabricación de envases de alimentos</i>	16
Tabla 2 <i>Propiedades de Algunos Plastificantes</i>	22
Tabla 3 <i>Composición Química Del Almidón de Uncucha Q'uello.....</i>	30
Tabla 4 <i>Porcentaje de Almidón y Relación de Amilosa y Amilopectina del Almidón de Uncucha Q'uello</i>	33
Tabla 5 <i>Temperatura y Tiempo de Gelatinización del Almidón de Uncucha Q'uello..</i>	33
Tabla 6 <i>Algunas Empresas de Producción de Bioplásticos a Nivel Global.....</i>	34
Tabla 7 <i>Variables Independientes y sus Niveles de Estudio.....</i>	56
Tabla 8 <i>Diseño Fraccional 2^4</i>	57
Tabla 9 <i>Diseño Fraccional 2^{4-1} Más tres Puntos Medios.....</i>	58
Tabla 10 <i>Plan Experimental</i>	59
Tabla 11 <i>Tabla Resumen de Evaluación de Rm, %EL, %AA y %BD de Láminas de Bioplástico</i>	63
Tabla 12 <i>Efectos Estimados para Porcentaje de Elongación (%EL).....</i>	67
Tabla 13 <i>Análisis de Varianza para el Porcentaje de Elongación (%EL)</i>	70
Tabla 14 <i>Efectos Estimados para (Resistencia a la Tracción), Rm (MPa)</i>	70
Tabla 15 <i>Análisis de Varianza para Resistencia de Traccion (Rm).....</i>	74
Tabla 16 <i>Efectos estimados para Porcentaje de Absorción de Agua (%AA).....</i>	75
Tabla 17 <i>Efectos Estimados para el Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)</i>	77
Tabla 18 <i>Parámetros para la elaboración del prototipo de bioenvase.....</i>	82

Introducción

La producción de polímeros orgánicos de alto peso molecular comúnmente denominados plásticos, está experimentando un aumento exponencial, y dada su incapacidad de descomponerse de forma natural, especialmente los polímeros sintéticos, la mayor parte del plástico fabricado hasta el momento permanece en el ambiente. Desde su introducción en el mercado en el siglo pasado hasta la actualidad, se ha producido una cantidad total de 7.8 trillones de toneladas de plástico, lo que equivale a aproximadamente una tonelada de plástico por cada persona en el mundo (Buteler, 2019).

En varios campos, como la construcción, el transporte, los productos para el hogar y el envasado, los plásticos han ganado terreno en lugar de materiales tradicionales. Además, con el propósito de lograr propiedades más óptimas, es posible incorporar aditivos químicos en su fabricación, como plastificantes, colorantes, filtros UV y retardantes de fuego, que mejoran sus atributos. Sin embargo, muchos de estos compuestos químicos pueden tener un impacto negativo en el entorno si se liberan en él (Marcovecchio et al., 2020).

El reciclaje de plásticos contribuye parcialmente a resolver la situación. Por esta razón, la sustitución de plásticos no degradables por biopolímeros totalmente degradables, derivados de fuentes renovables, ofrece una solución mucho más completa para los diversos aspectos de este problema. Sin embargo, el alto costo de los bioplásticos aún impide su reemplazo total a los plásticos sintéticos.

Por esta razón, es esencial desarrollar estrategias para obtener bioplásticos a un costo comparable. El precio final de los bioplásticos depende de varios factores, incluidos los gastos de producción, el rendimiento del polímero obtenido y los costos de

procesamiento. En la actualidad, se están explorando diferentes enfoques para lograr una producción competitiva de bioplásticos (De Almeida et al., 2004).

Por tanto, el objetivo del presente trabajo es elaborar películas de bioplástico a base de *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) y cáscara de huevo en polvo.

Capítulo I

Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

La enorme preocupación acerca de los impactos ambientales negativos que surgen de los plásticos convencionales ha generado un impulso hacia la búsqueda de opciones más ecológicas con el entorno y sostenibles. Esto más aún con la llegada de la pandemia a causa del COVID-19, esto con el propósito de disminuir la transmisión del virus, se ha fomentado la utilización de elementos de seguridad personal como mascarillas, guantes y protectores faciales, una gran proporción de los cuales están fabricados en plástico y son desechados tras un único uso. Los plásticos derivados de origen fósil, representan una producción mundial del 90.2% en el 2021, predominando el polipropileno (19.3%), con mayoría en envases (44%) (Plastics Europe, 2022).

En el Perú, entre 2019 y 2023, el número de empresas en la industria del plástico aumentó a una tasa promedio anual de 7.4%; contaban 2,859 empresas en el sector, de las cuales el 73.5% eran microempresas, el 20.1% pequeñas, el 0.8% medianas y el 5.6% grandes. La mayoría de estas empresas (79.9%) se ubicaban en Lima, seguidas por el Callao con un 3.4%, Arequipa con un 2.8%, La Libertad con un 2.1% y Cusco con 0.7% (OGEIEE, 2025).

Entre 2019 y 2023, la producción de plásticos creció a un ritmo anual promedio de 1.4%. Sin embargo, en 2023 cayó un 5.7% debido a la baja en todos sus componentes, destacando artículos para baño, envolturas flexibles y bolsas plásticas. En 2024, la producción repuntó un 5.5% gracias a la reducción en el costo de la resina. Crecieron productos como útiles de escritorio, envases plásticos y láminas, aunque algunas líneas

como accesorios y perfiles de PVC, y artículos de limpieza, registraron fuertes caídas (OGEIEE, 2025).

Por otro lado, más del 35% de los desechos plásticos no se manejan de manera adecuada en su disposición. Además, el 58% de los desechos plásticos en entornos municipales corresponden a productos de plástico de un solo uso. Cerca del 48,8% de los desechos plásticos provienen de las áreas de Lima y Callao. Por último, únicamente el 9% de los residuos plásticos son reciclados (MINAM, 2021).

En este ámbito, es necesario reducir el uso de plásticos derivados de origen fósil y reemplazarlos por bioplásticos derivados de biomasa como el almidón.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la relación de la concentración de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido acético en la formulación de envases biodegradables?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el porcentaje de almidón obtenido de *Xanthosoma sagittifolium* (Uncucha Q'uello)?
- ¿Cómo influye la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético en las propiedades físico-mecánicas del envase biodegradable (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad)?
- ¿Cuáles son los parámetros de cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético para obtener envases con las propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad)?

1.3. Justificación e Importancia

Los resultados de la presente investigación aportan un valor metodológico, con el conocimiento de los parámetros como las cantidades de almidón, cáscara huevo, ácido acético y sorbitol, los cuales permiten la obtención de un envase biodegradable según las normas ASTM D882 y ASTM D570-98, el cual podrá ser proyectado a un diseño de tecnología a nivel piloto y posteriormente a una escala industrial.

En esta instancia, se empleará la *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello), un alimento que contiene cantidades beneficiosas de almidón. A pesar de que este alimento no es ampliamente consumido debido a su sabor distintivo en comparación con otros tubérculos, su aplicación como material para producir bioplásticos está siendo una buena alternativa. En ese contexto de baja adopción y limitada presencia en mercados formales brinda oportunidades para valorizar y difundir un cultivo con alto potencial nutritivo, diversificando la agro-producción local. Por otro lado, la cáscara de huevo es un residuo de alto potencial, formado principalmente por carbonato de calcio (CaCO_3), que puede incorporarse como relleno en biopolímeros biodegradables mejorando las propiedades mecánicas, valorizando este residuo fomenta la economía circular, reutilizando un desecho de alto volumen y reduciendo la generación de basura de difícil degradación.

La utilización de Uncucha Q'uello y cáscara de huevo promueve prácticas agrícolas y agroindustriales más sostenibles: menor uso de insumos externos, menor impacto y menor generación de residuos orgánicos y plásticos.

La investigación genera una alternativa de solución al uso de plásticos no biodegradables, aprovechando la *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) la cual contiene almidón, que presenta una característica primordial para la elaboración de

bioplástico; esto según las diversas investigaciones que concluyen que los productos biodegradables no generan un impacto ambiental negativo, debido a que son capaces de degradarse mediante microorganismos y el medio ambiente, produciendo CO₂ y biomasa, a comparación del plástico sintético.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Obtener envases biodegradables a partir de *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) y cáscara de huevo en polvo.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de almidón y porcentaje de recuperación obtenido de *Xanthosoma sagittifolium* (Uncucha Q'uello)
- Evaluar el efecto de la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético en las propiedades físico-mecánicas de las láminas de bioplástico (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad).
- Identificar los parámetros de la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético para obtener envases y determinar las propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad) del bioplástico.

Capítulo II

Marco Conceptual

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Zambrano et al., (2022) en su investigación "Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica: *Eichhornia crassipes* (Lechuguines) para la obtención de bioplástico". La metodología consistió en tres etapas: extracción de celulosa, almidón y obtención de bioplástico. La extracción de celulosa se realizó mediante hidrólisis alcalina, con hipoclorito de sodio para el blanqueamiento. Se empleó el método de vía húmeda para la obtención del almidón. Concluyeron que el bioplástico obtenido mostró una humedad del 19%, un contenido volátil del 7.13%, la absorción de agua se dio de manera creciente 31,05%. El grado de biodegradabilidad fue del 66.33%, satisfactoriamente dentro del rango establecido por las normas internacionales ASTM D-6400, lo que confirma a la biomasa de *E. crassipes* como una fuente significativa para la producción de bioplástico.

Yamada et al., (2020) en su investigación "Preparation of bioplastic using soy protein", estudiaron las propiedades del bioplástico basado en proteínas. Se utilizó proteína de soja desgrasada como materia prima. Se prepararon bioplásticos mediante reticulación con formaldehído (HCHO) a diferentes concentraciones. Se evaluó la estabilidad en agua, la resistencia a la flexión, y se realizó espectroscopía infrarroja para identificar la reticulación. Concluyeron que, a 200 mg de proteína de soja y una solución del 1% de HCHO se obtuvo una resistencia a la flexión de 35 MPa, además se observó que a 6 días de la prueba de biodegradabilidad se evidenció una pérdida de peso en un 30%.

Abera et al., (2020) en su investigación “The effect of plasticizers on thermoplastic starch films developed from the indigenous Ethiopian tuber crop Anchote (*Coccinia abyssinica*) starch” evaluaron el efecto de 4 tipos de plastificantes (glicerol, acetato de 1-etil-3-metilimidazolio, sorbitol y trietilenglicol) para la elaboración de películas de almidón de anchote. Se prepararon películas de almidón de *Coccinia abyssinica* mediante fundición en solución, utilizando glicerol, acetato de 1-etil-3-metilimidazolio, sorbitol o trietilenglicol como plastificantes a diferentes concentraciones. Se analizaron las propiedades de las películas mediante microscopía electrónica de barrido (para evaluar la microestructura), espectroscopía FTIR (para analizar los enlaces de hidrógeno), análisis termogravimétrico (TGA, para determinar la estabilidad térmica) y pruebas mecánicas (para medir la resistencia a la tracción). Se usó 3 g de almidón, 100 ml de agua destilada y plastificante en concentraciones de 30% y 40%. Concluyeron que, el mejor plastificante fue el sorbitol a una concentración del 40%; obteniendo 15.30 MPa de resistencia a la tracción; por otro lado, se obtuvo que a un 30% de plastificante se observó mayor estabilidad térmica para los 4 tipos de plastificantes.

Hayatun et al., (2020) en su investigación “Synthetic Bioplastic Film from Rice Husk Cellulose”, sintetizaron películas bioplásticas a base de celulosa con variación en la masa de celulosa y quitosano. La metodología incluyó la extracción de celulosa de la cascarilla de arroz mediante limpieza, secado, molienda, maceración en metanol, tratamiento con NaOH y Na₂CO₃, ajuste de pH con H₂SO₄ y secado a 50°C. Se caracterizó la celulosa evaluando sus propiedades físicas y analizando su grupo funcional con FTIR. Finalmente, se realizaron pruebas mecánicas de resistencia a la tracción y elongación con una máquina universal de ensayo (UTM). Variaron la cantidad de celulosa (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 g) a una concentración constante de quitosano (0.8 g en 50 ml de CH₃COOH al 1%), obtenida la mejor cantidad de celulosa se varió la cantidad de quitosano (0.8, 1.2,

1.6, 2 y 2.6 g en 50 ml de CH₃COOH al 1%). Concluyeron que a 0.8 g de celulosa se obtuvo 1.1058 N/mm² de resistencia a la tracción y a 1.2 g de quitosano se obtuvo 5.4147 N/mm² de resistencia a la tracción; por otro lado, se obtuvo un 59.2% de rendimiento de celulosa.

Inayati et al., (2019) en su investigación “Effect of glycerol concentration on mechanical characteristics of biodegradable plastic from rice straw cellulose”, evaluaron el efecto del glicerol en las propiedades mecánicas del bioplástico basado en celulosa. Se varió la cantidad de glicerol (25%, 30% y 35%) a 2 g de pulpa de paja de arroz y 1 g de quitosano. Concluyeron que, se obtuvo mejores resultados a una concentración de 35% de glicerol, obteniendo un 86.866% en la prueba de hinchamiento de agua y un 29.109% en la prueba de hinchamiento en aceite; por otro lado, se obtuvo 6 MPa para la prueba de resistencia a la tracción, 65% de elongación y 15 días de la prueba de biodegradabilidad en suelo.

Vargas & Medina, (2019) en su investigación “Influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*)”, se caracterizó el almidón de tres variedades de papa (criolla, sabanera y pastusa) y se determinó su porcentaje de rendimiento: 20.24% para la papa criolla, 6.50% para la pastusa y 16.25% para la sabanera. Se elaboraron bioplásticos a partir del almidón de papa criolla, se utilizaron cinco plastificantes: ácido acético, ácido cítrico, glicerol, citrato de tributilo (Plastificante A) y sorbitol, combinando 62.5% de almidón con diferentes porcentajes de plastificantes en 95 ml de agua destilada y 5 ml de antocianina. Se formularon cuatro productos: P1 (ácido acético + glicerol), P2 (ácido cítrico + sorbitol), P3 (sorbitol + celulosa) y P4 (plastificante A + sorbitol). Para evaluar la solubilidad en agua, se cortaron muestras que se secaron y luego se sumergieron en agua destilada a 27 °C con agitación eventual durante 24 horas. Los resultados mostraron que los bioplásticos

elaborados con ácido acético y ácido cítrico presentaron mayor solubilidad, mientras que los de sorbitol, celulosa y plastificante A tuvieron menor solubilidad debido a los compuestos celulósicos presentes. Concluyeron que, la papa criolla fue la más adecuada para el estudio debido a su mayor contenido de materia seca y rendimiento. Los bioplásticos resultantes presentaron una solubilidad en agua del 17-24%, mayor resistencia en medio ácido que en medio alcalino y buena permeabilidad a los aceites.

Fathanah et al., (2018) en su investigación “Characterization of bioplastic based from cassava crip home industrial waste incorporated with chitosan and liquid smok”, evaluaron las propiedades de la adición de quitosano (20, 30, 40 y 50% p/p, disueltos en 1% v/v de ácido acético glacial) y humo líquido (0.1 y 2 ml) en láminas de almidón de cáscara de yuca. Utilizaron 5 g de almidón de cáscara de yuca, 50 ml de agua destilada y glicerol al 30%. El estudio concluyó que a 30% quitosano y 2 ml de humo líquido se obtuvo mayor resistencia a la tracción con 96.04 MPa, y que a 40% de quitosano se obtuvo menor resistencia a la tracción con 33.28 MPa (de acuerdo a la norma ASTM D882-10). Por otro lado, a 30% de quitosano y 2 ml de humo líquido se logró mayor alargamiento a la rotura con 52.27% y finalmente para 50% de quitosano y 2 ml de humo se obtuvo una resistencia al agua de 22.68% para láminas de 1 cm x 1 cm. La prueba de biodegradabilidad se dió en láminas de 3 x 3 cm, y que a 30% de quitosano, 0 ml de humo el tiempo de degradación fue de 45 días y a 30% de quitosano y 2 ml de humo el tiempo de degradación fue de 57 días.

Arrieta et al., (2018) en su investigación “Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*)”, evaluaron el efecto de dos tipos de plastificantes como el sorbitol y el glicerol sobre las propiedades absorbentes por análisis gravimétrico durante 10 días para muestras de 2 cm². Se varió las variables de operación como concentración de sorbitol (1, 3 y 5 g), glicerol (1, 3 y 5

g) y glutaraldehído (0, 0.5, 1.5 y 3 g); para 3 g de almidón y 100 ml de agua destilada. Concluyeron que, a 5 g de glicerol se obtuvo 48.66% de absorción y a 5 g de sorbitol se obtuvo 34.63% de absorción.

Jiang et al., (2018) en su investigación “Preparación y caracterización de películas compuestas basadas en almidón de maíz natural, y reforzadas con cáscara de huevo en polvo”, evaluaron el efecto de la adición de cáscara de huevo en polvo en las películas de almidón de maíz. Se varió las concentraciones de polvo de cáscara de huevo (1, 1.5, 2, 2.5 y 3% p/p), a la cual se adiciona 30 ml de agua destilada por cada concentración y se agita por 2 min. Para la extracción de polvo de cáscara de huevo se lavó, seco a 50 °C y se pulverizó; posterior a ello se hizo uso de 10 g de almidón de maíz, 5 ml de glicerol, 170 ml de agua destilada; la mezcla fue agitada por 5 min a 90 °C y se le agregó gota a gota la mezcla anterior; se vierte en moldes a 50 °C y 12 h. Concluyeron que la adición de polvo de cáscara de huevo en concentraciones de 0% a 2% mejora las propiedades de resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura de 2.37 MPa a 4.69 MPa y de 70.25% a 108.38% respectivamente (Método ASTM D882-02, tiras de 12 cm x 1.5 cm). Por otro lado; la prueba de biodegradabilidad en suelo se dio en 3 semanas con una pérdida de peso del 58.25% de las películas (10 mm x 10 mm x 1.5 mm).

Hasan et al., (2018) en su investigación “Bioplastic from Chitosan and Yellow Pumpkin Starch with Castor Oil as Plasticizer”, evaluaron la concentración de quitosano y almidón en la elaboración de bioplástico. Para la extracción de almidón se trituró la calabaza, luego se agregó agua y se dejó reposar por 50 min para obtener un precipitado el cual fue secado en un horno. Se varió las variables de operación como masa de quitosano y almidón en una proporción de (40/60, 50/50 y 60/40%) para una masa total de 1.4 g, se añadió ácido acético al 5% y 15% de aceite de ricino; al finalizar el proceso la mezcla se vierte en moldes y se hornea a 75 °C. Concluyeron que a la proporción de

quitosano y almidón 40/60, es decir a 0.56 g y 0.84 g respectivamente, se dio mayor resistencia a la tracción con 6.787 MPa y 13.451% de elongación. En cambio, la resistencia a la tracción más baja (2.563 MPa) se dio a la composición de 60/40, es decir 0.84 g de quitosano y 0.56 g de almidón, y 7.285% de elongación. Por otro lado, la biodegradabilidad se dio durante 20 días de incubación en medio de *Pseudomonas aeruginosa*.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Machaca Ramos, (2022) en su investigación “Obtención de bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta (*Persea americana*) variedad Hass y determinación de la biodegradabilidad”, evaluó el efecto de adición de niveles de ácido acético y glicerina en las propiedades del bioplástico y biodegradabilidad, se variaron los volúmenes de ácido acético (3, 5 y 7 ml) y glicerina (5, 10 y 15 ml), usó 10 g de almidón y 60 ml de agua destilada. Concluyó que, con 7 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina obtuvo mayor resistencia a la tracción (2.82 MPa), mientras que con 5 ml de ácido acético y 15 ml de glicerina obtuvo la menor resistencia a la tracción (0.47 MPa). También se evidenció que el mayor porcentaje de elongación (17.62%) se obtuvo con 3 ml de ácido acético y 15 ml de glicerina, y el menor porcentaje de elongación (11.45%) con 3 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina (utilizando la norma ASTM D882). Finalmente, se obtuvo un tiempo de degradación del bioplástico de 90 días, alcanzando un 33.47% de degradación (utilizando la norma ISO 17556:2003).

Hormaza y Salazar (2021), en su investigación “Evaluación de la biodegradabilidad de películas plastificadas elaboradas a partir de almidón de *Solanum tuberosum*”, determinaron la biodegradabilidad de películas de almidón (2.5 cm x 2.5 cm) mediante el método gravimétrico. Se variaron los volúmenes de ácido acético (3, 5 y 10 ml) y glicerina (5 y 10 ml), utilizando 10 g de almidón y 60 ml de agua destilada.

Concluyeron que, la mayor degradación (86.49% de pérdida de peso) se observó en las películas con 10 ml de glicerina y 3 ml de ácido acético después de 20 días

Sernaqué et al., (2020) en su investigación “Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*”, Analizaron la biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. La investigación se dividió en dos partes: la elaboración del bioplástico y el ensayo de biodegradabilidad. En la primera etapa, se añadieron plastificantes como agua y glicerol para obtener bioplásticos con diferentes volúmenes de glicerol y características físicas variadas, se hizo uso de 10 g de maicena, 3 ml de vinagre blanco, 60 ml de agua destilada y 10 g de cáscara de *M. indica* y *M. paradisiaca*, y se varió los volúmenes de glicerina (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 ml). En la segunda etapa, se utilizó humus de lombriz para evaluar la biodegradabilidad de las láminas durante 1 a 4 semanas donde se realizó bajo una humedad relativa inicial del 31,15 % en humus de lombriz. Concluyeron que la biodegradabilidad del bioplástico hecho con cáscara de mango y plátano está directamente relacionada con el volumen de glicerol utilizado. A mayor cantidad de glicerol, mayor es la biodegradabilidad. El estudio mostró que, con 20 ml de glicerol, el bioplástico de cáscara de mango se degradó en un 93,06%, mientras que el de cáscara de plátano en un 73,16%.

Garcia Vasquez, (2017) en su investigación “Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir de almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa”, evaluó las mejores propiedades en la fabricación de bioplástico en relación a la concentración óptima de ácido acético y glicerol. Para la extracción de almidón de cáscara de plátano se realizó un proceso de inmersión en solución ácida. Se variaron las variables de operación como ácido acético (1, 2 y 3 ml) y glicerol (3, 5 y 7 ml). Se hizo uso de 5 g de almidón y 55 ml

de agua destilada. La investigación concluyó que a 1 ml de ácido acético y 7 ml de glicerol se obtuvo una humedad de 19.77% (según la norma ASTM D6980-09), 38.89% de solubilidad en agua para bioplástico de 2 cm x 3 cm, fuerza de tensión de 3.81 MPa para láminas de 6 cm x 3 cm (según la norma ASTM-D 882), presenta un tiempo de biodegradabilidad de 90 días para una pérdida de peso de 83.9% en suelo y 66.6% en agua para láminas de 9 cm². Por otro lado, se obtuvo 8.32% de rendimiento en la obtención de almidón (9.100 kg de cáscara a 0.757 kg de almidón).

Vega & Mendoza (2017) en su investigación “Caracterización del almidón de Uncucha (*Xanthosoma sagittifolium*) de dos variedades y su aplicación en embutidos”, determinaron el rendimiento de la extracción del almidón de las variedades de Lima uncucha y Q’uello uncucha. La metodología consistió en la extracción de su almidón mediante dos métodos (húmedo y seco) y dos relaciones agua-materia prima (1:10 y 1:20), y la caracterización de sus propiedades funcionales. Concluyeron que la variedad de Uncucha Q’uello presentó resultados de 24 % de amilosa y 76% de amilopectina y Uncucha Lima presentó 20% de amilosa y 80% de amilopectina, además; concluyeron que se obtuvo un rendimiento de 36.98% y 28.15% respectivamente, con mayor eficiencia por el método de vía húmeda.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Plásticos

Los plásticos son materiales sintéticos orgánicos, producidos mediante polimerización de derivados del petróleo y otras materias primas naturales (carbón, gas natural, celulosa, sal). Su versatilidad y capacidad de moldeo los hacen esenciales en una amplia gama de aplicaciones, desde envases y textiles hasta dispositivos médicos y transporte (*CAIRPLAS, 2017*).

Los plásticos se clasifican en termoplásticos, termoestables y elastómeros según sus propiedades. Su fabricación, independientemente del producto final, requiere el uso de calor mediante procesos como inyección, extrusión, soplado o compresión (*Arcos Coba & Marín Cucalón, 2021*)

- Termoplásticos: los termoplásticos, flexibles y fácilmente moldeables en caliente, mantienen sus propiedades bajo presión y son reciclables. Ampliamente utilizados en envases de alimentos, incluyen el polietileno de baja (PEBD) y alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), polietilentereftalato (PET), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno (PS), poliestireno expandido (EPS) y policarbonato (PC) (*Arcos Coba & Marín Cucalón, 2021*). La Tabla 1 muestra los materiales termoplásticos tradicionalmente utilizados en la fabricación de envases para alimentos.

Tabla 1

Materiales termoplásticos derivados del petróleo tradicionalmente utilizados en la fabricación de envases de alimentos

Material	Abreviatura	Aplicaciones
Polietileno de alta densidad	PEAD	Botellas (envases de leche, productos de limpieza y otros químicos)
Polietileno de baja densidad	PEBD	Películas transparentes de envasado, bolsas de supermercado
Polietileno Tereftalato	PET	Botellas (refrescos, jugos, aceites comestibles, y envases de alimentos como salsas y mayonesas)
Poliestireno	PS	Bandejas y tarrinas para envasar alimentos como frutas, verduras y mariscos
Polipropileno	PP	Películas flexibles (empaques de alimentos y productos industriales)
Policloruro de vinilo	PVC	Películas flexibles (empaques para ventanas de embarcaciones, cortinas, toldos, recubrimientos de suelo y techo)

Nota. fuente: (Arcos Coba & Marín Cucalón, 2021)

- Termoestables: los termoestables, con cadenas moleculares fuertemente unidas, requieren la alteración de su composición química para fundirse, impidiendo su reciclaje. Son rígidos y se moldean solo una vez al aplicar calor. Ejemplos incluyen las resinas fenólicas, ureicas, aminoplastos y otros (CAIRPLAS, 2017).

- Elastómeros: los elastómeros, altamente elásticos y capaces de recuperar su forma original tras estirarse, son, al igual que los termoestables, generalmente no reciclables y difíciles de transformar. Ejemplos incluyen el copolímero de estireno y butadieno (TPE-S), poliolefina termoplástica (TPO), copoliésteres (COPE) y copoliamidas (PEBA) (*Arcos Coba & Marín Cucalón, 2021*).

2.2.2. Bioenvase

También conocidos como envases biodegradables. Por lo que, cuando una sustancia tiene la capacidad de transformarse en biomasa y nutrientes a través de procesos biológicos o físico-químicos naturales, se considera biodegradable. En esta serie de eventos, no hay intervención humana, ya que se trata de procesos naturales de descomposición en el entorno (Deal II, 2022).

Dado que están constituidos por componentes naturales, pueden ser asimilados por microorganismos, contribuyendo al continuo desarrollo del ciclo vital. No generan residuos, por lo tanto, su descomposición no libera compuestos químicos ni gases al entorno, lo que resulta en una disminución de la huella de carbono. Los envases biodegradables también pueden ser reciclados, dando lugar a la creación de nuevos materiales y objetos, promoviendo de esta forma una economía más circular (SP GROUP, 2023).

Marco Normativo

- **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos - DECRETO LEGISLATIVO N° 1278**

El presente Decreto Legislativo establece los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su totalidad, con el objetivo de fomentar la

constante maximización de la eficiencia en el uso de los materiales y garantizar una gestión y manejo de los desechos sólidos que sea económica, sanitaria y ambientalmente apropiada, de acuerdo con las obligaciones, principios y directrices de este Decreto Legislativo (El Peruano, 2016).

2.2.3. Bioplásticos

Los bioplásticos, también conocidos como plásticos de origen biológico, representan una opción frente a los plásticos tradicionales fabricados a partir de recursos petroquímicos. Esto se debe a su capacidad potencial para descomponerse naturalmente y a su fuente de origen renovable. En el momento actual, su producción se lleva a cabo principalmente utilizando desechos orgánicos urbanos e industriales como materia prima, a través de métodos biotecnológicos que se alinean con los principios de la economía circular (Prieto, 2020). Ver figura 1.

2.2.4. Biopolímeros a Partir de Biomasa

Los biopolímeros son polímeros naturales o sintetizados por organismos vivos que se extraen directamente de la biomasa, que es la materia orgánica de origen vegetal o animal. Estos biopolímeros, como el almidón, celulosa, quitina, proteínas, etc., ofrecen una alternativa sostenible a los polímeros derivados del petróleo (Martinez & Tapia, 2008).

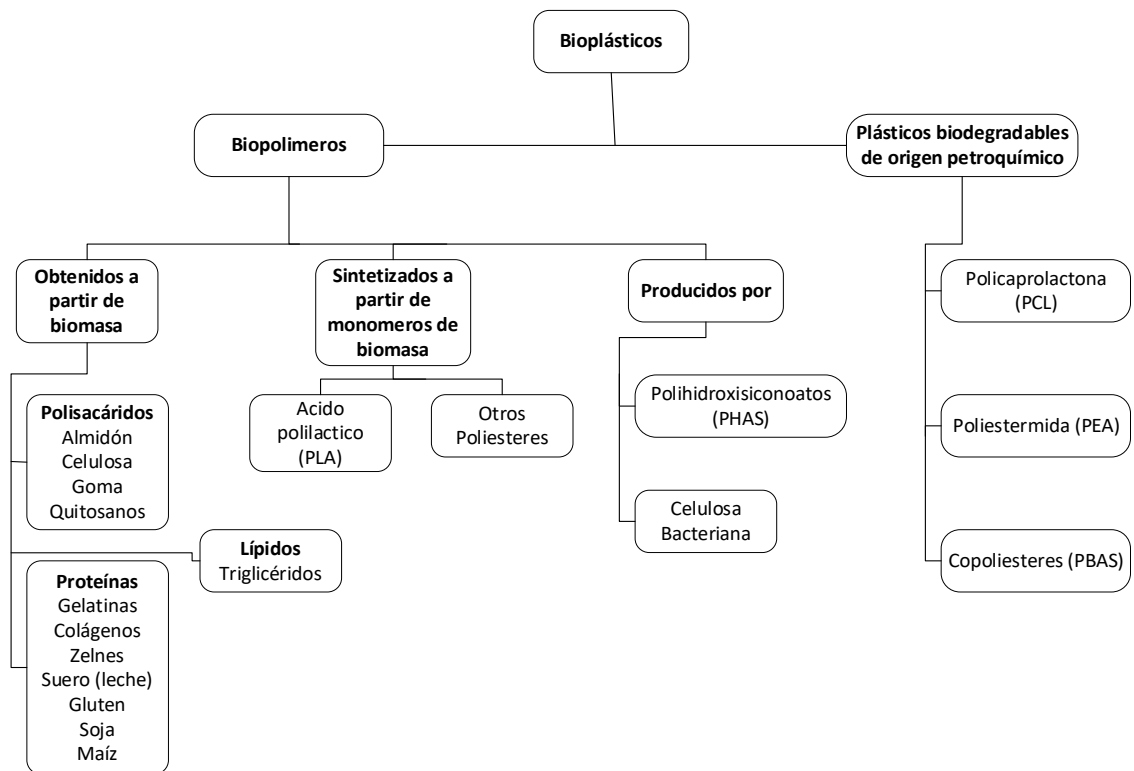
- Biopolímero basado en almidón: El almidón es el polisacárido más utilizado en la fabricación de biopolímeros como la papa, yuca, plátano, trigo, entre otros (Agarwal, 2021). Estos biopolímeros presentan ciertas desventajas, como la sensibilidad a la humedad y malas propiedades térmicas como mecánicas; sin embargo, con el avance de la ciencia los investigadores van

realizando esfuerzos para poder superar estas desventajas y mejorar las propiedades del biopolímero (Singhal et al., 2021).

- Biopolímero basado en celulosa: La celulosa es un polímero de los que abundan en gran cantidad en la naturaleza, la celulosa se encuentra en las plantas, al interior de la pared celular. Por ejemplo, verduras o granos (Lednická et al., 2000).
- Biopolímero basado en quitina: Son polímeros lineales de origen vegetal extraído de crustáceos; la quitina presenta la función de estabilizante en la mezcla con el almidón, por otro lado, incrementa las propiedades mecánicas del bioplástico actuando como refuerzo y antimicrobiano ante bacterias y hongos (Holguin Cardona, 2019).
- Biopolímero basado en proteínas: Las proteínas se encuentran en el huevo, leche, gluten de trigo, colágeno, arroz, queratina, etc. El bioplástico basado en proteínas presenta redes tridimensionales estables; sin embargo, no es plastificante, pero con adición de agentes químicos ayuda a las proteínas a que la textura cambie y obtener un plástico adecuado (Vargas et al., 2021).

Figura 1

Clasificación de los Bioplásticos según su Procedencia



Nota. Fuente: Benoit de Guillebon, (2011)

2.2.5. Componentes de Bioplásticos

Los bioplásticos pueden estar compuestos por una variedad de materiales, dependiendo de su origen y el proceso de fabricación. A continuación, materiales comunes utilizados en la elaboración de bioplásticos:

1. Almidón

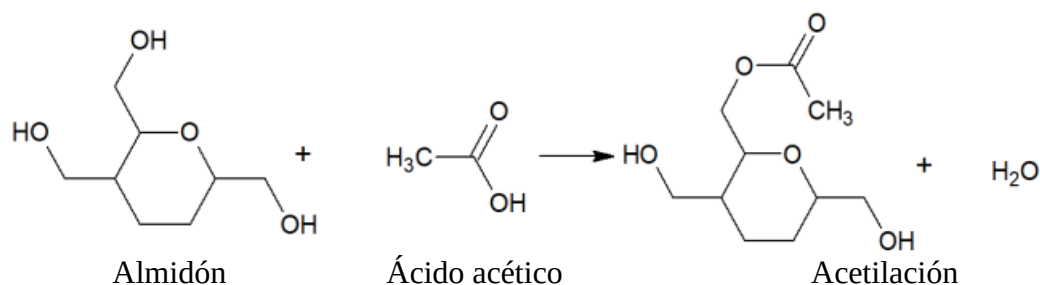
El almidón juega un papel fundamental en la producción de bioplásticos al funcionar como una fuente sustentable para la elaboración de materiales de plástico biodegradable que son más amigables con el medio ambiente (Godinez et al., 2016).

2. Agua destilada

El agua destilada se utiliza para asegurar una disolución uniforme y libre de contaminantes, esto debido a que el agua tras pasar por un proceso de destilación deriva a un agua libre de cloruros, fluoruros, calcio y magnesio. A parte de ser un solvente universal actúa también como plastificante logrando destruir la estructura del almidón para obtener almidones termoplásticos a condiciones de temperatura y presión, obteniendo óptimas propiedades mecánicas y físicas (Charro, 2015).

3. Ácido Acético

La adición de ácido acético a los almidones nativos (acetilación) presenta mejores propiedades para la elaboración de bioplástico, el ácido acético imparte resistencia a la retrogradación y estabilidad (Montero Peralta, 2018). La acetilación es un proceso de esterificación, en el cual los grupos hidroxilo del almidón son reemplazados por grupos acetilos. En la figura 2 se muestra la reacción de acetilación. Se recomienda el uso de ácido acético debido que reduce la hidrofobicidad del almidón y mejora las propiedades hidrofóbicas del material (Holguin Cardona, 2019).

Figura 2*Reacción de Acetilación del Almidón*

Nota. Fuente: Holguin Cardona, (2019)

4. Plastificantes

Existe una variedad de productos químicos que son utilizados como plastificantes, por ejemplo; la urea, formamida, glicoles, polioles, entre otros. Los plastificantes más conocidos son la glicerina, xylol, sorbitol, maltiol y acetato de 1-etil-3-metilimidazolio cuya estructura química y propiedades se muestran en la Tabla 2 (Abera et al., 2020).

Por otro lado, cuanto mayor es el peso molecular del plastificante permite obtener buenas propiedades mecánicas del material, en términos de resistencia y alargamiento a la rotura (Dufresne & Mathew, 2002).

Tabla 2*Propiedades de Algunos Plastificantes*

	Glicerina	Xylol	Sorbitol	Maltiol
Número de carbonos	3	5	6	12
Peso molecular (g/mol)	92	152	182	344
Temperatura de fusión (°C)	20	94	100	157
Estabilidad al calor (°C)	>160	>160	>160	>160
Higroscopicidad	Alto	Alto	Media	Media
T _g (°C)	-75	-27	0	45

Nota. Fuente: Dufresne & Mathew, (2002)

Generalmente la glicerina es el plastificante más empleado para transformar el almidón en un material termoplástico (TPS) por la extensibilidad de las películas, sin embargo, genera efectos adversos como disminución en la elasticidad, resistencia a la tracción y la tasa de transmisión de vapor de agua (Gontard et al., 1993).

5. Sorbitol

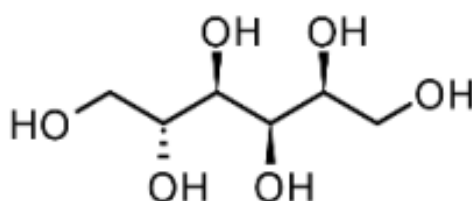
El sorbitol, también conocido como D-sorbitol, D-glucitol o D-glucohexano-1,2,3,4,5,6-hexol ($C_6H_{14}O_6$), es un poliol de origen natural obtenido mediante el proceso de hidrogenación de la glucosa, fructuosa y manosa (García Sánchez, 2022). En la figura 3 se muestra la estructura química del sorbitol.

Cumple la función de plastificante en la producción de bioplásticos. Su acción consiste en combinarse con los polímeros para incrementar la flexibilidad y adaptabilidad (Godinez et al., 2016)

Por otro lado, el sorbitol presenta mayor resistencia a la tracción; el doble de películas plastificadas de trietilenglicol, 2.5 veces que el glicerol y el triple del 1-etil-3-metilimidazolio (Abera et al., 2020). Así mismo, Arrieta et al., (2018) reportan que el sorbitol como plastificante presenta una menor capacidad de absorción de agua a comparación del glicerol.

Figura 3

Estructura Química del Sorbitol



Nota. Fuente: García Sánchez, (2022)

6. Cáscara de huevo

El huevo de gallina está compuesto por el 10 – 12% de cáscara en peso. La cáscara está compuesta por 95% de compuestos minerales, entre los cuales predomina el CaCO_3 y entre un 3% a 3.5% de componentes orgánicos, proteínas y proteoglicanos (ovocleidina 116, ovoalbúmina, ovotransferrina, ovocleidina 17, ovocalixina 32, osteopontina y lisozim), esto según Neunzehn et al., (2015). La cáscara de huevo es beneficiosa para mejorar las propiedades mecánicas de láminas de bioplástico (Ji et al., 2009). La adición de cáscara de huevo en polvo en películas de bioplástico mejora la resistencia a la tracción y la barrera al vapor de agua; esto debido al efecto inductivo entre el enlace O-C-O de CaCO_3 en los enlaces C-C del almidón, esto según Jiang et al., (2018).

2.2.6. *Características físico-mecánicas de bioplásticos*

Es necesario examinar las características físico-mecánicas de los bioplásticos obtenidos para asegurar su calidad como materiales de envase, empaque, etc. El análisis implica medir la resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, biodegradabilidad en el suelo y resistencia al agua, aunque los resultados dependerán de los componentes específicos presentes en cada muestra (Santa & Perez, 2019). A continuación, la descripción de las características físico-mecánicas mencionadas:

1. Resistencia a la tracción (R_m)

Las características mecánicas pueden evaluarse mediante un ensayo de tracción, que calcula la deformación de una muestra entre dos puntos fijos mientras se aumenta la carga aplicada (Narvaez Guerrero, 2016). La norma ASTM D882 evalúa las propiedades de tracción en láminas delgadas de plástico, cuyo intervalo de resistencia a la tracción varía dependiendo del material. Su objetivo es medir resistencia máxima, límite elástico, alargamiento, energía de ruptura y módulo de elasticidad en estas láminas. La prueba

implica cortar tiras de muestra con una relación 8:1 en longitud-anchura específica y sin formas especiales. La calidad del corte es esencial para resultados precisos. Las pruebas se realizan bajo condiciones controladas de pretratamiento, orientación, temperatura, humedad y velocidad. Esta norma se aplica a láminas con grosor menor a 1 mm; para materiales más gruesos, se recomienda la norma ASTM D638 (MICOM INC, 2023).

2. Porcentaje de elongación (%EL)

La elongación se refiere a la capacidad de un material para estirarse antes de romperse y se expresa como un porcentaje del cambio en la longitud original (Reynoso, 2018). La elongación puede depender de varios factores, como la estructura química del bioplástico, su procesamiento y su formulación con otros aditivos o polímeros (Bejarano Martinez, 2018).

3. Biodegradabilidad en el suelo

En relación a los plásticos biodegradables, experimentan la descomposición del material a través de la acción de microorganismos hasta transformarse en dióxido de carbono, agua, metano y biomasa dentro de un plazo razonable. Esta es la característica fundamental que distingue a los materiales biodegradables de los sintéticos. La biodegradación abarca dos etapas: una implica la de polimerización (ruptura de las cadenas) y la otra implica la mineralización hacia dióxido de carbono, sales, agua, entre otros. Los microorganismos apropiados, la adaptación al entorno y la presencia de polímeros susceptibles son componentes esenciales en el proceso de biodegradación (Pardo et al., 2011). La biodegradabilidad de los bioenvases a base de almidón presentan mayor velocidad de degradación favorable en suelos neutros, en base al pH que desarrolla una mayor diversidad de microorganismos, como nematodos, bacterias, hongos y protozoarios, seguida de suelos ácidos y suelos alcalinos (Hernández K. , 2013).

4. Absorción de agua

Los bioplásticos pueden variar en cuánto a la absorción de agua, lo cual depende de cómo están hechos y cómo se componen químicamente. Algunos bioplásticos, como el almidón, se disuelven más fácilmente en agua porque los componentes químicos que los forman son solubles con el agua, derivando a una disminución en las propiedades mecánicas del bioplástico. Esto significa que estos bioplásticos tienen una afinidad natural por el agua y pueden romperse o dispersarse en ella. Sin embargo, otros bioplásticos que no interactúan bien con el agua pueden no disolverse fácilmente en ella y mantendrán su forma en presencia de agua (Arrieta, 2018).

2.2.7. *Uncucha*

La *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) es un tubérculo que se puede consumir y que forma parte de la familia botánica de las Araceae. Es una especie originaria de las zonas húmedas y tropicales con abundantes lluvias. En su entorno natural, prospera en la sombra de los bosques, aunque en las plantaciones comerciales se cultiva a plena exposición solar. Necesita suelos con un buen drenaje y, aunque no tolera el exceso de agua, prefiere suelos que conserven cierta humedad. Para su óptimo crecimiento, se requiere una temperatura promedio superior a los 20 °C (Villachica, 1996).

Descripción botánica

1. Clasificación taxonómica de la Uncucha Q'uello

La siguiente clasificación es según Odicio et al., (2023).

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida

- Orden: Alismatales
- Familia: Araceae
- Género: Xanthosoma
- Especie: *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott

La planta conocida como Uncucha, con su nombre científico *Xanthosoma sagittifolium*, se origina en las regiones tropicales y subtropicales de América. Entre los países del Caribe y América Latina, Puerto Rico alberga la más extensa diversidad de variedades cultivadas de esta planta (Reyes et al., 2013). La figura 4 muestra la planta Uncucha.

Figura 4

Cormelo de Uncucha



Nota. Fuente: Odicio et al., (2023)

2. Nombre común

Uncucha, Malnga, Yautia, Huitina, Tiquisque, Mafafa, Tania, Ocumo, Rascadera, Malanga, Calusa (Español), Taioba, Mangara (Portugués), Cocoyam, New Coco-yam, Tanier (Ingles), Chou-caraiba (Frances) (Villachica, 1996).

3. Partes de la planta de Uncucha

3.1. Cormo

El cormo, un tipo de tallo, se localiza en el subsuelo y puede tener una estructura tanto simple como ramificada, adoptando formas cilíndricas o elipsoidales. A medida que llega a su desarrollo completo, es posible que más de un tercio del cormo emerja sobre la superficie del suelo. Este cormo se ramifica a través de estolones, los cuales generan tubérculos en forma de mazo que también se utilizan para la propagación de la planta (Odicio et al., 2023).

3.2. Cormelo

El Cormelo se refiere a la parte comestible, que puede ser de color blanco o morado. Deriva del cormo y suele contener una yema apical, adoptando la forma de un mazo o bate. La cantidad de cormelos por planta varía según la variedad y la ubicación del cultivo. Por ejemplo, los cormelos de tipo blanco pueden generar entre uno y diez unidades por planta, con un peso superior a 0.25 g cada uno (Odicio et al., 2023).

3.3. Raíces

Las raíces emergen en secuencia a lo largo de los espacios entre los nodos en la parte media e inferior del cormo principal; así como, en los cormelos. Estas raíces se renuevan de manera constante gracias a su forma estructural que les permite adaptarse a terrenos con niveles adecuados de humedad (Odicio et al., 2023).

3.4. Hojas

Las hojas tienen un tamaño grande, con forma de corazón y peltadas, con un ancho promedio de 24 cm y largo de alrededor de 40 cm. El pecíolo, que puede llegar a tener más de 1 m de longitud, forma una estructura similar a un falso tallo cilíndrico con ranuras. Las hojas jóvenes emergen enrolladas desde el centro de los pecíolos, mientras que las hojas más antiguas se secan. La base de la hoja se presenta envolvente y con ranuras, continuando hacia arriba con alas bien desarrolladas. La parte superior de la hoja

es de un verde brillante, mientras que la parte inferior es de un verde claro (Odicio et al., 2023).

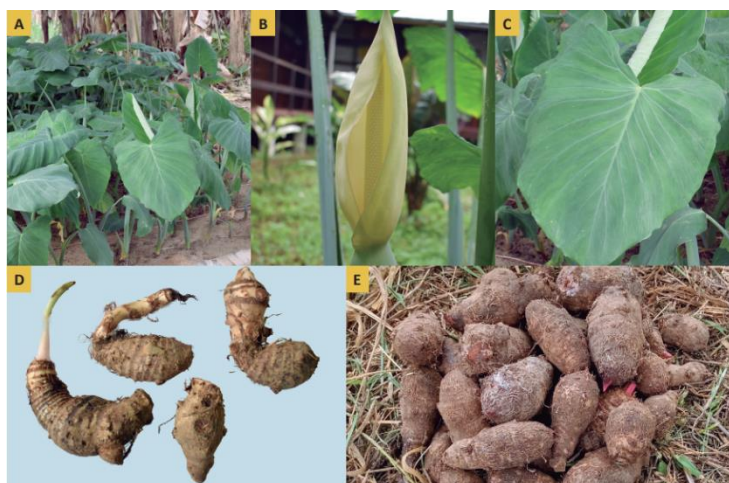
3.5. Inflorescencia

La inflorescencia es de tipo espádice y surge de las axilas de las hojas. Está protegida por una lámina foliar especial denominada "cavidad basal", que la envuelve en la base, seguida de una lámina cóncava que permite exponer la punta del espádice. La cavidad basal tiene dimensiones de 7 cm a 11 cm de largo y de 3 cm a 6 cm de ancho, mientras que la lámina cóncava mide entre 8 cm y 12 cm de longitud y suele tener un color crema. El espádice, un eje cilíndrico de 20 cm de largo, aloja múltiples flores en su interior (Odicio et al., 2023).

En figura 5 se muestran las partes de la planta Uncucha.

Figura 5

Partes de la Planta Uncucha



Nota. A. Planta de uncucha; B. Inflorescencia; C. Hoja; D. Cormelo; E. Cormo. Fuente: Odicio et al., (2023)

4. Composición química de la Uncucha

Los tallos subterráneos tuberosos contienen aproximadamente entre un 15% y un 39% de carbohidratos, alrededor del 2% al 3% de proteína, y una cantidad de agua que

oscila entre el 70% y el 77%. En términos de valor nutritivo, se asemejan a la papa y su digestibilidad es igual o incluso mayor (Villachica, 1996).

En la tabla 3 se muestra la composición química del almidón de *Xanthosoma sagittifolium* (Uncucha Q'uello).

2.2.8. Almidón

Está compuesto por una combinación de polisacáridos, en la cual la amilosa constituye alrededor del 20%, mientras que la amilopectina constituye aproximadamente el 80% (Leon et al., 2020).

Tabla 3

Composición Química Del Almidón de Uncucha Q'uello

Composición	(%)
Humedad	7.56
Proteína	1.2
Grasa	0.14
Fibra	1.07
Ceniza	3.98
Carbohidratos	86.05

Nota. Fuente: Vega & Mendoza (2017)

Características Químicas y Estructurales del Almidón

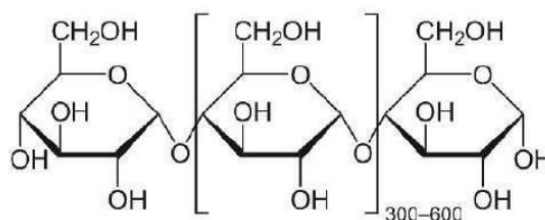
La composición del almidón son amilosa y amilopectina:

- Amilosa

La amilosa, un polímero esencial, consiste en unidades de anhidra glucosa conectadas principalmente por enlaces glucosídicos α (1-4) y en menor grado de ramificación en enlaces α (1-6), la cantidad de glucosa oscila entre 300-600 unidades. Ver figura 6. Su peso molecular promedio oscila entre 10^5 y 10^6 g/mol. La amilosa presenta una estructura en forma de hélice en la que los átomos de hidrógeno residen dentro y los grupos hidroxilo se encuentran en el exterior. Estos átomos de hidrógeno interiores contribuyen a su naturaleza hidrófoba, permitiéndole formar complejos con ácidos grasos libres, componentes glicéridos de ácidos grasos, yodo y algunos alcoholes (Leon et al., 2020). Por otro lado, Ramos et al., (2018) mencionan que el almidón que presente mayor cantidad de amilosa proporcionara mejores propiedades tanto mecánicas como físicas al bioplástico, esto debido a la red tridimensional que formarán las películas y dichas propiedades se mantendrán respecto al tiempo.

Figura 6

Estructura Química de la Amilosa



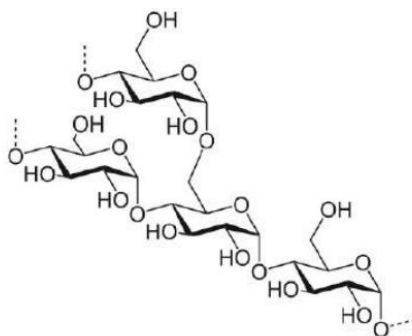
Nota. Fuente: Leon et al. (2020)

- Amilopectina

La amilopectina, una macromolécula con ramificaciones, está compuesta por cadenas lineales cortas que se conectan mediante enlaces glucosídicos α^{1-6} . Cada cadena lateral contiene de 10 a 60 unidades de glucosa, con aproximadamente un 5% de enlaces α (1-6) en los puntos de ramificación (Leon et al., 2020). Ver figura 7.

Figura 7

Estructura Química de la Amilopectina



Nota. Fuente: León et al. (2020)

El peso molecular de la amilopectina es mucho mayor que el de la amilosa, siendo aproximadamente de 1×10^7 a 5×10^8 g/mol (León et al., 2020).

Propiedades químicas del Almidón de Uncucha Q'uello

Según la investigación de Vega & Mendoza, (2017) la Tabla 4 muestra el porcentaje de almidón y relación de amilosa y amilopectina del almidón de Uncucha Q'uello, y en la tabla 5 muestra la temperatura y tiempo de gelatinización del almidón.

Tabla 4

Porcentaje de Almidón y Relación de Amilosa y Amilopectina del Almidón de Uncucha Q'uello

	Almidón	Amilosa	Amilopectina
Porcentaje (%)	19.80	24	76

Nota. Fuente: Vega & Mendoza (2017)

La tabla 5 presenta el tiempo y temperatura de gelatinización del almidón de Uncucha Q'uello.

Tabla 5

Temperatura y Tiempo de Gelatinización del Almidón de Uncucha Q'uello

	T (°C) Gelatinización	Tiempo de gelatinización (min)
Almidón	[63-74]	$\bar{x} = 2.23$

Nota. Fuente: Vega & Mendoza (2017)

2.2.8. Empresas de mayor producción de bioplásticos en el mundo

Estas representan solo algunas de las numerosas compañías a nivel global que están comprometidas en la investigación y producción de bioplásticos, con el propósito de mitigar el impacto medioambiental de los plásticos convencionales. La industria de los bioplásticos está en constante expansión, introduciendo constantemente nuevas innovaciones y alternativas sostenibles. Ver tabla 6.

Tabla 6*Algunas Empresas de Producción de Bioplásticos a Nivel Global*

Empresa	País	Fundación	Producción	Fuente
NATUREWORKS	Estados Unidos	2002	Productos a base de Ácido Poliláctico PLA (envases de alimentos bebidas), resinas para la aplicación de (envases, utensilios, textiles, productos de higiene personal), Filamentos para impresión 3D	(NatureWorks LLC, 2023)
BIOFASE	México	2012	Productos (Popote, agitador a granel, cubiertos, envases, platos) a base de semilla de aguacate	(BIOFASE, 2023)
NOVAMONT	Italia	1990	Productos Mater-Bi (bolsas, envases, utensilios y de más biodegradables), Matrol-Bi (Biolubricantes y grasas rápidamente biodegradables) y Celus-Bi (Ingredientes para el	(NOVAMONT, 2023)

			sector cosmético, elaborados a base de materias primas renovables)	
			Productos PEF (Furanoato de polietileno) entre ellas botellas, fibras, películas y otras aplicaciones	(AVANTIUM, 2023)
Ecomann Biotechnology Co. Ltd	Países Bajos China	2000 2008	Productos de polihidroxicanoanatos biodegradables (bolsas) y filamentos para impresora 3D biodegradable	(Ecomann Biotechnology Co. Ltd, 2023)
ECOESTRATEGIA A PERUANA	Perú	2018	Productos (envases, cubiertos, bolsas, bandejas, sorbetes, platos, vasos para bebidas frías y calientes)	(EXOESTRAT EGIA, 2023)

2.2.9. Diseño experimental factorial fraccionado

Los diseños factoriales fraccionados reducen el número de experimentos necesarios en comparación con un diseño factorial completo. Un diseño 2^{k-p} representa una fracción de un diseño 2^k . Esta reducción es crucial cuando se trabaja con muchos factores, ya que el número de experimentos en un diseño completo puede ser alto debido a limitaciones de recursos (Fernández Bao, 2020).

Diseño factorial fraccionado 2^{k-1}

Uno de los diseños más utilizados dentro del diseño factorial fraccionado es el medio, es decir el diseño 2^{k-1} , es una herramienta estadística que permite estudiar un gran número de factores con un número reducido de experimentos. Es una variante del diseño factorial completo, pero con la particularidad de que solo se exploran una parte de las posibles combinaciones de niveles de los factores (Fernández Bao, 2020).

Cuando se tiene k factores, cada uno con dos niveles (alto y bajo). Para un diseño factorial completo, necesitaría 2^k experimentos para evaluar todas las combinaciones posibles. Sin embargo, con un diseño fraccionado medio, solo necesita realizar 2^{k-1} experimentos. Esto se logra mediante la selección estratégica de las combinaciones de niveles a probar (Fernández Bao, 2020).

2.2.10. Hipótesis

La cantidad de almidón, cáscara huevo en polvo, ácido acético y sorbitol en el proceso de obtención de bioplástico influyen significativamente en la resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al agua y biodegradabilidad en el suelo de los envases obtenidos, dentro de la norma ASTM D882 y ASTM D570-98.

Capítulo III

Metodología

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio de Tecnologías (IQ-213) de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

3.1. Tipo, Enfoque, Diseño, y Alcance de la Investigación

Según la clasificación de las investigaciones por Hernández et al., (2015), la presente investigación es de tipo aplicado con un enfoque cuantitativo y diseño experimental.

Es de alcance explicativo, y examina como las variables independientes influyen en las variables dependientes.

3.2. Muestra

La muestra fue Uncucha Q'uello y cáscara de huevo.

3.3. Materiales

- Equipos

- Destilador de agua eléctrico de acero inoxidable (Kalstein, Capacidad 10 litros).
- Estufa eléctrica de secado (Incubadora Faithful, RT +10-300 °C).
- Agitador magnético (Heidolph, T° max. 300 °C, max. 1400 RPM).
- Balanza digital (Marca EUROTECH. Modelo FSF-A2204B. Capacidad 200 g, Repetividad +/- 0.1 mg).
- Balanza gramera electrónica (Capacidad 5000 g).

- Instrumentos

- Tamizadora malla 100 USA STANDARD SIEVE.
- Licuadora IMACO (Capacidad 1.5 litros, 8 niveles de velocidades).

- pHmetro.
- Termómetro digital de vástago de acero inoxidable 14.5 cm (-50 °C a 150 °C).
- **Software**
 - Statgraphics 18 – X64.
- **Materiales**
 - Bagueta de vidrio.
 - Vaso de precipitado de vidrio (20 ml, 100 ml, 500 ml).
 - Luna de reloj de vidrio 75 mm.
 - Jeringa de plástico (3ml, 5 ml, 10 ml).
 - Mortero de porcelana con pilón de 160 mm.
 - Tela tocuyo (abertura aproximada 0.5 – 0.8 mm).
 - Cuchillo de acero inoxidable mediano de cocina.
 - Escobilla de plástico para ropa.
 - Bolsas de polietileno HD.
 - Guantes de látex y nitrilo.
 - Soporte universal y pinzas para tubos de ensayos.
 - Tijera de acero inoxidable 8.5 pulgadas.
 - Regla digital Vernier (Rango de 1 mm a 20 cm, precisión +/- 0.02 mm).
 - Papel aluminio.
- **Reactivos**
 - Agua destilada.
 - Ácido acético 5%.
 - Sorbitol líquido 70%.
 - Hipoclorito de sodio 4.9%

3.4. Métodos

3.4.1. *Recolección de la muestra*

Se recolectaron 25 kg de la muestra de Uncucha Q'uello en el distrito de Yanatile, provincia de Calca, región del Cusco. Esta muestra provino de los productos que los pobladores vendían en el mercado local, por tanto, el muestreo es intencionado. Ver Figura 8.

Figura 8

Recolección de la Uncucha Q'uello en el distrito de Yanatile



3.4.2. *Obtención de almidón*

3.4.2.1. **Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello por Vía Húmeda**

Se utilizó el método empleado por García Vasquez, (2017) y Vega & Mendoza (2017), quienes estudiaron la obtención de almidón de Uncucha Q'uello por el método de vía húmeda, con el siguiente procedimiento:

a. Limpieza, Selección y Clasificación de la Materia Prima

Se escogió la muestra de Uncucha Q'uello, en buen estado y se desechó las impurezas. Ver figura 9.

Figura 9

Limpieza de Muestra de Uncucha Q'uello

**b. Lavado**

El lavado se realizó de forma individual de cada tubérculo con agua potable corriente y con ayuda de cepillos con la finalidad de eliminar la tierra u otro tipo de impurezas. Ver figura 10.

Figura 10

Lavado de Muestra de Uncucha Q'uello



c. Pelado y Picado

Se procedió a la eliminación de las cortezas del cormelo y el respectivo pesado, posterior a ello se picó en trozos de 1 cm². Ver figura 11.

Figura 11

Pelado y Picado de Muestra de Uncucha Q'uello



d. Licuado y Filtrado

La muestra de Uncucha Q'uello ya picada y pelada se agregó a la licuadora por 5 min, con una relación de 1:10 de materia prima / agua destilada; hasta obtener una mezcla lechosa. Después, la mezcla lechosa pasó por un proceso de filtrado, dejando caer está en un balde. Ver figura 12.

Figura 12

Licuado y Filtrado de Muestra de Uncucha Q'uello



e. Sedimentado

La lechada fue sometida a sedimentación por 24 horas, a condiciones ambientales, procediéndose a eliminar el sobrenadante. Ver figura 13.

Figura 13

Sedimentado de la Muestra de Uncucha Q'uello

**f. Lavado**

Se realizó el lavado del sedimentado con agua destilada por 5 veces y se dejó sedimentar por 8 horas en cada etapa, para obtener mayor pureza del almidón. Ver figura 14.

Figura 14

Lavado de Almidón de Uncucha Q'uello



g. Secado, Molienda y Tamizado

El almidón sedimentado (pasta húmeda) fue llevado a una estufa a 50 °C durante 1 hora y 45 minutos en vasos precipitados, este tiempo se determinó en pruebas preliminares para lograr una humedad adecuada (aproximadamente 12%). Posterior a ello el almidón fue sometido a molienda en un mortero, y finalmente fue tamizado en malla 120 USA STANDARD SIEVE. Ver figura 15.

Figura 15

Secado, Molienda y Tamizado de Almidón de Uncucha Q'uello



h. Pesado y Almacenado

El almidón de Uncucha Q'uello obtenido fue pesado y almacenado en frascos de vidrio para conservar su humedad y su posterior uso. Ver figura 16.

Figura 16

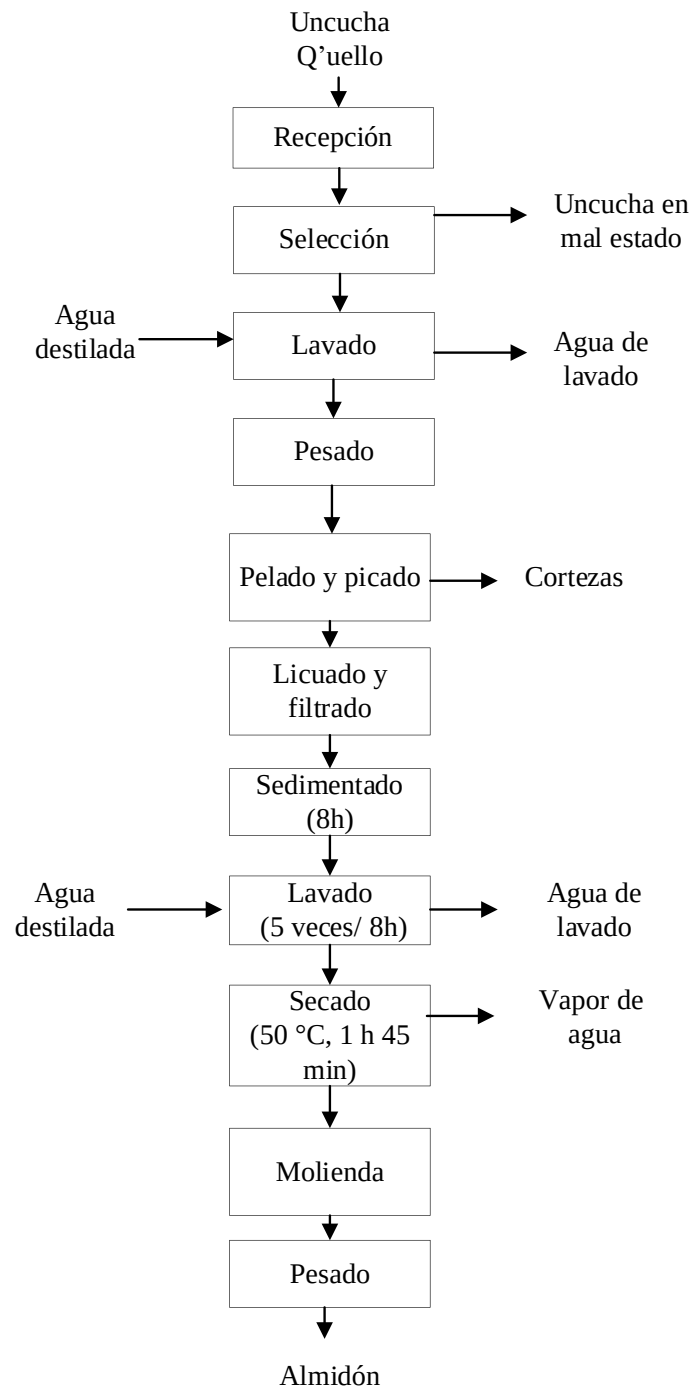
Pesado y Almacenado de Almidón de Uncucha Q'uello



El diagrama de bloques de obtención de almidón de Uncucha Q'uello se observa en la figura 17.

Figura 17

Diagrama de Bloques de Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello



3.4.2.2. Rendimiento (%R)

El rendimiento del almidón de Uncucha Q'uello se calculó con la ecuación (1):

$$\%R = \frac{\text{Masa de almidon}}{\text{Masa de uncucha}} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

%R: Rendimiento.

Masa de almidón (g).

Masa de Uncucha (g).

3.4.3. Obtención de la cáscara de huevo en polvo

3.4.3.1 Obtención de cáscara de huevo en polvo

La obtención de la cáscara de huevo en polvo se realizó aplicando el método empleado por Jiang et al., (2018):

a. Limpieza, Selección y Clasificación de la Materia Prima

Se partió de 10 huevos crudos, que fueron recolectados de desechos; a los cuales se les separaron las cáscaras. Se seleccionaron las cáscaras en buen estado y se desecharon las deficientes.

b. Lavado y desinfección

El lavado se realizó con agua potable para eliminar restos de clara y/o yema u otro tipo de impurezas. La desinfección se realizó con 4 gotas de cloro por litro de agua, durante 5 minutos. Ver figura 18.

Figura 18

Desinfección de Cáscaras de Huevo



c. Secado, Molienda y Tamizado

Las cáscaras de huevo limpias fueron llevadas a una estufa a 50 °C y 5 horas, en láminas de aluminio. Ver figura 19. Posterior a ello, fueron sometidas a molienda en un mortero, y finalmente fueron tamizadas en malla 100 USA STANDARD SIEVE, para partículas mayores de 0.15 mm.

Figura 19

Secado de Cáscaras de Huevo

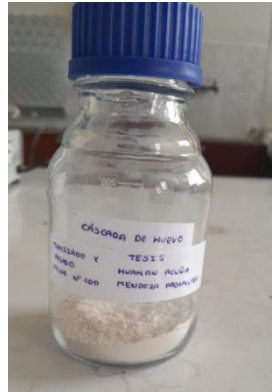


d. Pesado y Almacenado

Las cáscaras de huevos en polvo fueron pesadas y almacenadas en frascos de vidrio. Ver figura 20.

Figura 20

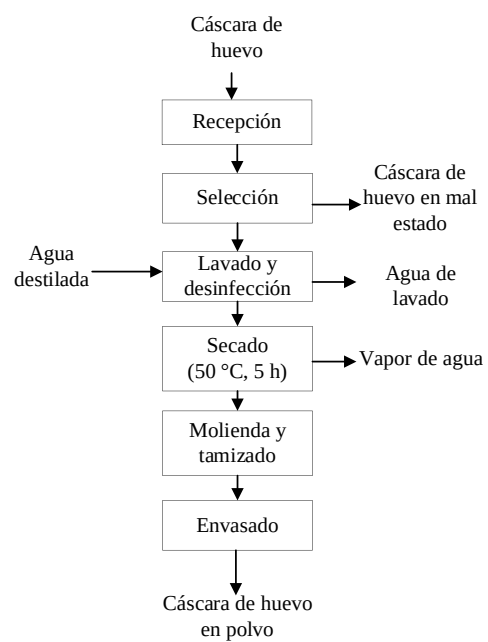
Pesado y Almacenado de Cáscara de Huevo en Polvo



La figura 21 muestra el diagrama de bloques de obtención de cáscara de huevo en polvo.

Figura 21

Diagrama de Bloques de Obtención de Cáscara de Huevo en Polvo



3.4.3.2. Rendimiento (%R)

El rendimiento de la Cáscara de Huevo en Polvo se calculó con la ecuación (2):

$$\%R = \frac{\text{Masa de cáscara de huevo en polvo}}{\text{Masa de cáscara de huevo}} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

%R: Rendimiento.

Masa de cáscara de huevo en polvo (g).

Masa de cáscara de huevo (g).

3.4.4. Elaboración de láminas de Bioplástico

Se siguió la metodología propuesta por García Vasques (2017) y Hasan et al., (2018).

La síntesis de la elaboración de bioplástico se realizó a diferentes masas de almidón de Uncucha Q'uello (6, 8 y 10 g) y de cáscara de huevo en polvo (1, 3 y 5 g), a diferentes volúmenes de ácido acético (3, 5 y 7 ml) y sorbitol (16, 18 y 20 ml). Los valores de almidón se obtuvieron de las investigaciones de Machaca Ramos (2022) y Hormaza & Salazar (2021), quienes utilizaron distintas fuentes de almidón, se consideró el mismo valor que fue de 10 g de almidón y dos valores inferiores a esta (6 y 8 g). Para la cáscara de huevo, se utilizó el valor medio reportado por Jiang et al. (2018) que fue de 1 g y dos valores superiores a esta (3 y 5 g). En el caso del ácido acético nos basamos en los valores encontrados en la investigación de Machaca Ramos (2018)) ácido acético (3, 5 y 7 ml), mientras que, para el sorbitol se emplearon los tres valores más altos de Sernaqué et al. (2020) quién varió los volúmenes de glicerina (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 y 20 ml).

En un vaso de precipitados de 100 ml, se mezclaron las masas (cantidad de almidón y cantidad de cáscara de huevo en polvo) y el volumen total (volumen de ácido

acético y volumen de sorbitol) con 60 ml de agua destilada. La premezcla se realizó a una velocidad de agitación de 250 rpm, 10 °C y durante 2 minutos. Posteriormente, se aumentó la velocidad de agitación a 750 rpm y la temperatura a 78-80 °C. Ver figura 22.

Figura 22

Cocción de Mezcla Para la Obtención de Láminas de Bioplástico



Cuando se alcanzó temperaturas entre 78 °C y 80 °C se retiró la mezcla y se procedió a moldear en moldes de silicona (20 cm x 8 cm y espesor de 1 mm); posterior a ello se llevó a una estufa a 55 °C por 48 horas, luego fue retirada y almacenada. Ver figura 23.

Figura 23

Moldeado y Secado de Láminas de Bioplástico



Tras cada experimento, se procedió a guardar cada lámina de bioplástico en un sobre de papel, debidamente rotulado Ver figura 24.

Figura 24

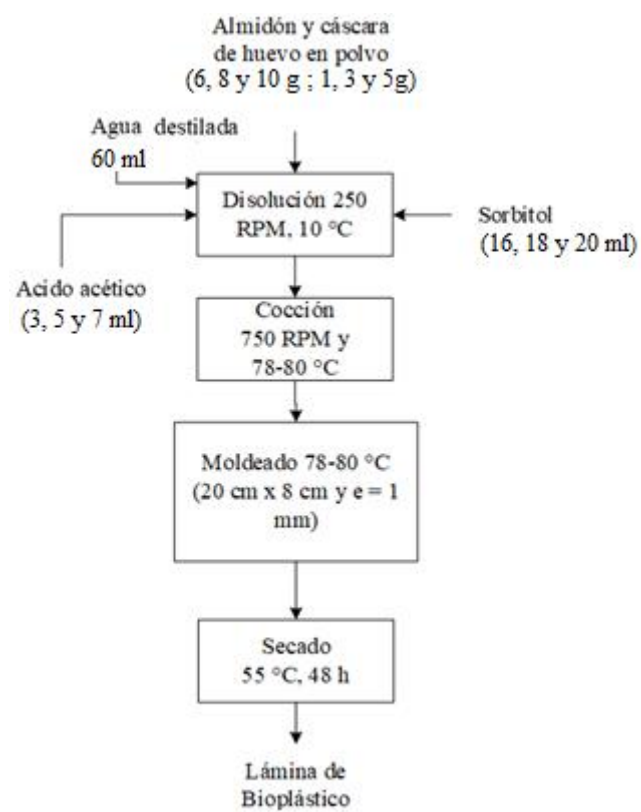
Almacén y Rotulado de Láminas de Bioplástico



En la figura 25 se presenta el diagrama de bloques de elaboración de láminas de bioplástico.

Figura 25

Diagrama de Bloques de Elaboración de Láminas de Bioplástico



3.4.4.1. Rendimiento (%R)

El rendimiento de la obtención de láminas de bioplástico se calculó con la ecuación (3):

$$\%R = \frac{\text{Masa de lámina de bioplástico}}{\text{Masa inicial de la muestra total}} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

%R: Rendimiento.

Masa de lámina de bioplástico (g).

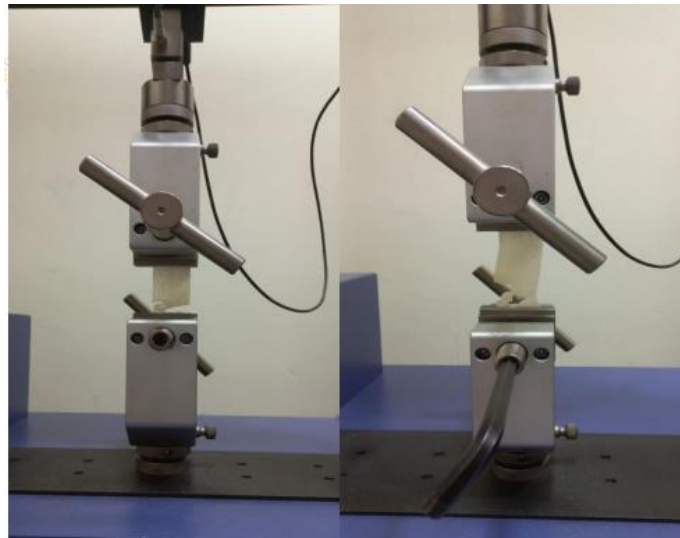
Masa de inicial de la muestra total (g)

3.4.4.2. Análisis Físico-Mecánicos y de Biodegradabilidad

Al término de cada experiencia cada lámina de bioplástico se guardó en sobres de papel, las cuales fueron rotuladas y enviadas al laboratorio ‘Sistemas de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLab’ (Laboratorio acreditado por INACAL) para la medición de Resistencia a la tracción (R_m) y Elongación (%EL):

- Determinación de Resistencia a la Tracción (R_m)

Se determinó la resistencia a la tracción de láminas de bioplástico (9.5 cm x 3.5 cm, 1 mm de espesor) utilizando la norma ASTM D882 - Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas (ASTM, 2018) en el laboratorio externo (‘Sistemas de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLab’). Esta norma está diseñada para plásticos de menos de 1 mm de espesor y se aplicó con una máquina de ensayo UNIAXIAL. Ver anexo 1. En la figura 26 se visualiza la resistencia a la tracción de láminas de bioplástico.

Figura 26*Resistencia a la Tracción de Láminas de Bioplástico*

- **Determinación del Porcentaje de Elongación (%EL)**

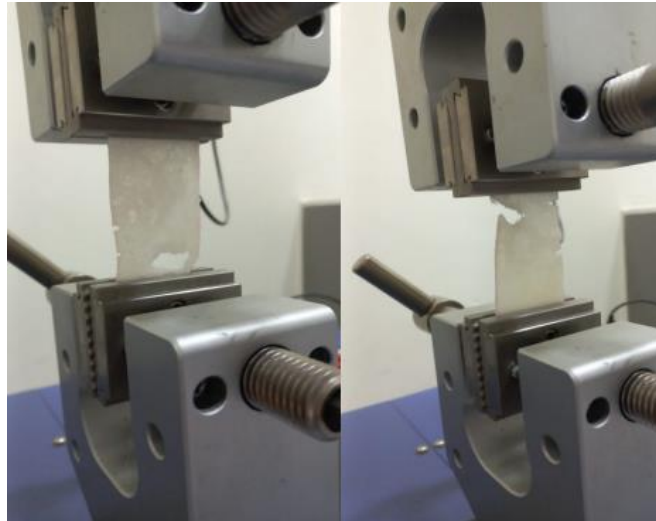
Se determinó el porcentaje de elongación de láminas de bioplástico (9.5 cm x 3.5 cm, 1 mm de espesor) siguiendo la norma ASTM D882 (ASTM, 2018). Los ensayos se realizaron en el laboratorio externo 'Sistemas de Servicios y Análisis Químicos S.A.C. SLab' utilizando una máquina de ensayo UNIAXIAL Ver anexo 1. En figura 27 se visualiza la elongación de láminas de bioplásticos. Se hizo uso de la ecuación (4):

$$\%EL = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:

l_0 : Longitud inicial de la lámina de bioplástico (cm).

l : Longitud final de la lámina de bioplástico (cm).

Figura 27*Elongación de Láminas de Bioplástico*

Los análisis de absorción de agua y biodegradabilidad se llevaron a cabo en el laboratorio de tecnologías, siguiendo las normas y metodologías descritas en las investigaciones que se presentan a continuación:

- **Determinación de la Absorción de Agua de Plásticos**

Se empleó la norma ASTM D 570-98 de ASTM, (2023) para determinar la absorción de agua en láminas de bioplástico con dimensiones de 6 cm x 6 cm y un espesor de 1 mm, siguiendo las especificaciones para muestras estándar ISO 62. Previamente, las muestras se secaron en una estufa a 53 °C durante 24 horas y se pesaron. Posteriormente, se sumergieron en vasos precipitados con agua a 23 °C durante 24 horas. Ver Anexo 2. Tras la inmersión, las muestras se limpiaron con un paño de seda y se pesaron nuevamente utilizando una luna de reloj para una mayor precisión. Ver figura 28. Se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\%Absorción\ de\ agua = \frac{P_H - P_0}{P_0} \times 100\% \quad (5)$$

Donde:

P_H : Peso húmedo de la lámina de bioplástico (g).

P_0 : Peso inicial de la lámina de bioplástico (g).

Figura 28

Prueba de Absorción de Agua de Láminas de Bioplástico



- **Determinación de Biodegradabilidad en el Suelo**

Se determinó la biodegradabilidad de las muestras de bioplástico (3 cm x 3 cm) de acuerdo con la metodología establecida por Guamán Bravo (2019) y Jiang et al. (2018). El procedimiento implicó en enterrar las láminas de bioplástico a 7 cm de profundidad en separadores de vidrio con tierra negra y compost durante un período de 30 días, a nivel laboratorio. Ver figura 29 y figura 30.

Figura 29

Prueba de Biodegradabilidad en Tierra de Láminas de Bioplástico



Figura 30

Láminas de Bioplástico Después de 30 días



Se midió cada 07 días el pH (6.5) y temperatura (17.5 °C) para asegurar las condiciones de degradación anaeróbica (Guamán, 2019). Se hizo uso de la ecuación (6):

$$\%Pérdida\ de\ peso = \frac{P_0 - P_f}{P_0} \times 100\% \quad (6)$$

Donde:

P_0 : Peso inicial de la lámina de bioplástico (g).

P_f : Peso final de la lámina de bioplástico (g).

3.4.4.2. Diseño experimental

A continuación, las variables independientes y las variables dependientes:

VARIABLES INDEPENDIENTES: x

- Cantidad de almidón (CA), g
- Cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH), g
- Volumen de ácido acético (VA), ml
- Volumen de sorbitol (VS), ml

VARIABLES DEPENDIENTES: y

- Resistencia a la tracción (R_m), MPa
- Elongación (EL), %
- Absorción de agua (AA), %
- Biodegradabilidad (BD), %

El Apéndice N°1 describe la operacionalización de variables. Y el Apéndice N°2 muestra la matriz de consistencia.

La Tabla 7 muestra las variables independientes y niveles.

El diseño experimental que se desarrolló fue el diseño fraccional 2^4 . Ver tabla 8. De tal diseño se seleccionó la media fracción del diseño fraccional 2^{4-1} . Es decir 8 tratamientos más tres puntos medios con tres repeticiones, ver tabla 9; teniendo un total de 44 tratamientos.

Tabla 7

Variables Independientes y sus Niveles de Estudio

Variables independientes	Nivel inferior	Nivel superior
Cantidad de almidón (g)	6	10
Cantidad de cáscara de huevo en polvo (g)	1	5
Volumen de sorbitol (ml)	16	20
Volumen de ácido acético (ml)	3	7

La tabla 10 muestra el plan experimental, que también constituye el instrumento de recolección de datos.

Tabla 8*Diseño Fraccional 2^4*

N°	x1	x2	x3	x4	x1*x2*x3*x4
1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1	1
8	1	1	1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	1
11	-1	1	-1	1	1
12	1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	1
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1

Nota. Los valores de -1, 0, 1 representan los niveles inferior, neutro y superior de las variables independientes

Tabla 9*Diseño Fraccional 2^{4-1} Más tres Puntos Medios*

Nº	x1	x2	x3	x4	x1*x2*x3*x4
1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	1	-1	-1	1
3	1	-1	1	-1	1
4	-1	1	1	-1	1
5	1	-1	-1	1	1
6	-1	1	-1	1	1
7	-1	-1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0

Nota. Los valores de -1, 0, 1 representan los niveles inferior, neutro y superior de las variables independientes.

Donde:

- CA: Cantidad de Almidón (g)
- CH: Cantidad de cáscara de huevo en polvo (g)
- VA: Volumen de ácido acético (ml)
- VS: Volumen de sorbitol (ml)
- Rm: Resistencia a la tracción (MPa)
- %EL: Porcentaje de elongación (%)
- %AA: Absorción de agua (%)
- %BD: Biodegradabilidad en el suelo (%)

Tabla 10*Plan Experimental*

N°	Variable independiente				Variable dependiente			
	CA (g)	CH (g)	VA (ml)	VS (ml)	Rm	%EL	AA (%)	BD (%)
1	6	1	3	16				
2	10	5	3	16				
3	10	1	7	16				
4	6	5	7	16				
5	10	1	3	20				
6	6	5	3	20				
7	6	1	7	20				
8	10	5	7	20				
9	8	3	5	18				
10	8	3	5	18				
11	8	3	5	18				

Nota. La tabla 10 será utilizada para registrar los resultados obtenidos en cada una de las experimentaciones

Los resultados fueron evaluados estadísticamente con el STATGRAPHICS 18-X64 para determinar el efecto de las variables independientes sobre la resistencia a la tracción, % de elongación, % de absorción de agua y % de biodegradabilidad; asimismo mediante la prueba ANOVA la significancia estadística de las variables y sus interacciones.

3.4.5. Formulación De Bioplástico

De los 44 experimentos desarrollados se seleccionaron los parámetros de cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético que logró láminas

de bioplástico con mejores propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, % de elongación, % de absorción de agua y % de biodegradabilidad) de acuerdo a las normas establecidas.

El prototipo de bioenvase fue elaborado a las condiciones establecidas en el párrafo anterior empleando los moldes diseñados para este fin y siguiendo el mismo proceso de elaboración de láminas de bioplástico, se elaboró el prototipo de bioenvase. Este proceso permitió dar al bioplástico la forma de envase.

3.4.5.1. Rendimiento (%R)

El rendimiento del prototipo de bioenvase se calculó con la ecuación (7):

$$\%R = \frac{\text{Masa del prototipo de bioenvase}}{\text{Masa inicial de la muestra total}} \times 100\% \quad (7)$$

Donde:

%R: Rendimiento.

Masa del prototipo de bioenvase (g).

Masa de inicial de la muestra total (g)

Capítulo IV

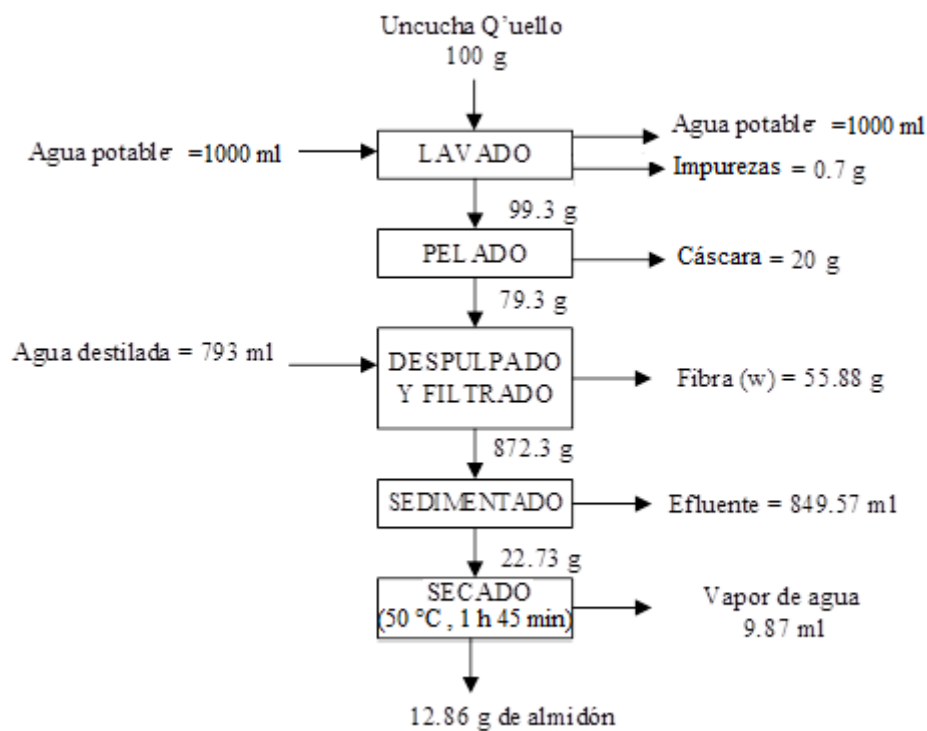
Resultados y Discusión

4.1. Obtención de almidón

La figura 31 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de obtención de Almidón de Uncucha Q'uello.

Figura 31

Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Almidón de Uncucha Q'uello



Nota. A temperatura ambiente (25 °C).

Para calcular el rendimiento se hizo uso de la Ec. 1.

Teniendo como resultado la cantidad de almidón de 12.86 g y un rendimiento del 12.86 %. Este resultado es menor con respecto a lo reportado por Vega & Mendoza (2017) quienes también utilizaron Uncucha Q'uello donde obtuvieron 19.8%; esta diferencia

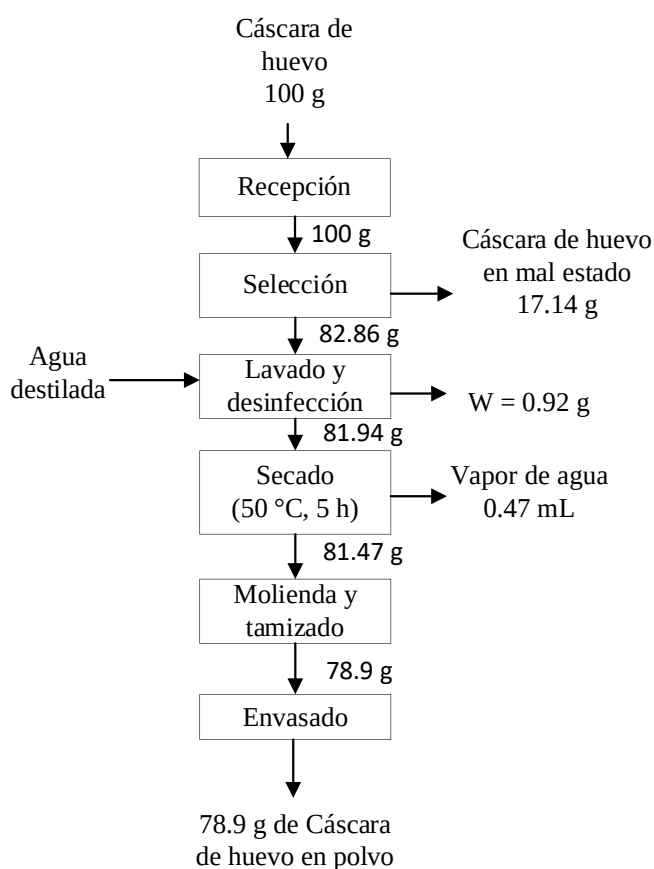
puede deberse a que la cosecha se realizó antes de la maduración adecuada de la planta, también por las condiciones de cultivo como el manejo inadecuado del suelo y por una falta de control de las malezas. Por tanto, el 87.14% constituye residuos de proceso de obtención de almidón.

4.2. Obtención de la cáscara de huevo en polvo

La figura 32 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de obtención de cáscara de huevo en polvo.

Figura 32

Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Cáscara de Huevo en Polvo



Para calcular el rendimiento se hizo uso de la Ec. 2.

Teniendo como resultado un rendimiento del 78.9%.

4.3.Elaboración de Láminas de Bioplástico

Los resultados de los 44 tratamientos realizados para obtener bioplásticos a diferentes cantidades de almidón, cáscara de huevo en polvo, volumen de ácido acético y de sorbitol, teniendo como respuestas características de: Resistencia a la Tracción (R_m), % Elongación (%EL), Absorción de Agua (%AA) y % Biodegradabilidad (%BD) en las láminas de bioplástico se muestra en el Apéndice 3, Apéndice 4 y Apéndice 5.

Tabla 11

Tabla Resumen de Evaluación de R_m , %EL, %AA y %BD de Láminas de Bioplástico

Nº	CA (g)	CH (g)	VA (ml)	VS (ml)	R_m (MPa)		EL(%)		AA (%)		BD (%)	
1	6	1	3	16	$\bar{x}$	2.33	$\bar{x}$	17.72%	$\bar{x}$	12.09%	$\bar{x}$	55.41%
					s	0.44	s	3.67%	s	1.52%	s	1.28%
					$\bar{x}$	0.91	$\bar{x}$	5.47%	$\bar{x}$	19.12%	$\bar{x}$	43.79%
2	10	5	3	16	s	0.30	s	3.67%	s	1.21%	s	3.83%
					$\bar{x}$	1.47	$\bar{x}$	22.45%	$\bar{x}$	17.38%	$\bar{x}$	42.66%
					s	0.27	s	2.60%	s	1.73%	s	0.79%
3	10	1	7	16	$\bar{x}$	1.16	$\bar{x}$	11.09%	$\bar{x}$	14.41%	$\bar{x}$	46.39%
					s	0.15	s	3.30%	s	1.67%	s	2.78%
					$\bar{x}$	2.31	$\bar{x}$	12.31%	$\bar{x}$	7.85%	$\bar{x}$	47.55%
4	6	5	7	16	s	0.51	s	5.06%	s	0.98%	s	1.26%
					$\bar{x}$	0.92	$\bar{x}$	2.47%	$\bar{x}$	18.63%	$\bar{x}$	54.55%
					s	0.30	s	1.14%	s	1.95%	s	2.80%
5	10	1	3	20	$\bar{x}$	0.68	$\bar{x}$	7.01%	$\bar{x}$	13.20%	$\bar{x}$	59.83%
					s	0.18	s	1.65%	s	1.65%	s	4.45%
					$\bar{x}$	0.99	$\bar{x}$	8.71%	$\bar{x}$	10.58%	$\bar{x}$	51.74%
6	6	5	3	20	s	0.06	s	2.28%	s	0.87%	s	1.16%
					$\bar{x}$	1.58	$\bar{x}$	10.14%	$\bar{x}$	22.92%	$\bar{x}$	49.79%
					s	0.16	s	3.59%	s	0.44%	s	0.88%
7	10	5	7	20	$\bar{x}$	1.92	$\bar{x}$	16.10%	$\bar{x}$	23.27%	$\bar{x}$	43.65%
					s	0.61	s	4.95%	s	2.11%	s	1.56%
					$\bar{x}$	1.03	$\bar{x}$	12.18%	$\bar{x}$	19.31%	$\bar{x}$	52.61%
8	8	3	5	18	s	0.11	s	6.19%	s	1.00%	s	2.14%

Nota. Donde cantidad de almidón (CA), cantidad de huevo (CH), volumen de ácido acético (VA), volumen de sorbitol (VS), resistencia a la tracción (R_m), porcentaje de elongación (%EL), porcentaje de absorción

de agua (%AA) y porcentaje de biodegradabilidad (%BD); siendo $\bar{x}$ la cantidad promedio y s la desviación estándar.

Según la Tabla 11, los rangos de valores de las propiedades físico-mecánicas son: resistencia a la tracción (0.68-2.33 MPa), porcentaje de elongación (2.47%-22.45%), absorción de agua (7.85%-23.27%) y biodegradabilidad (42.66%-59.83%).

La Tabla 11 muestra resistencia a la tracción mayor con cantidad de almidón y sorbitol menor, cuando se combinan con bajas cantidades de ácido acético y cáscara de huevo en polvo, este comportamiento se mantiene incluso con cantidades mayores de almidón y sorbitol. Sin embargo, al variar estas cantidades se reduce la resistencia a la tracción. Con cantidades intermedias de cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, ácido acético y sorbitol, la resistencia a la tracción presenta valores intermedios.

Respecto al porcentaje de elongación, la Tabla 11 indica que cantidades cercanas a 1 g de cáscara de huevo en polvo producen mayor porcentaje de elongación, mientras valores superiores disminuyen el porcentaje de elongación, siendo los valores medios de porcentaje de elongación obtenidos con las cantidades intermedias de almidón, cáscara de huevo en polvo, ácido acético y sorbitol. Se observa también un menor porcentaje de elongación con bajas cantidades de almidón y ácido acético y altas cantidades de cáscara de huevo en polvo y sorbitol, mientras que ocurre lo contrario con mayor porcentaje de elongación.

En cuanto a la absorción de agua, se registra menor absorción con altas cantidades de almidón y sorbitol, y bajas cantidades de cáscara de huevo y ácido acético. Las cantidades intermedias muestran mayor absorción.

Finalmente, en términos de biodegradabilidad, todas las muestras presentaron una reducción de aproximadamente el 50% de su masa en 30 días, estimándose una degradación completa en 60 días o menos, dependiendo de las condiciones ambientales.

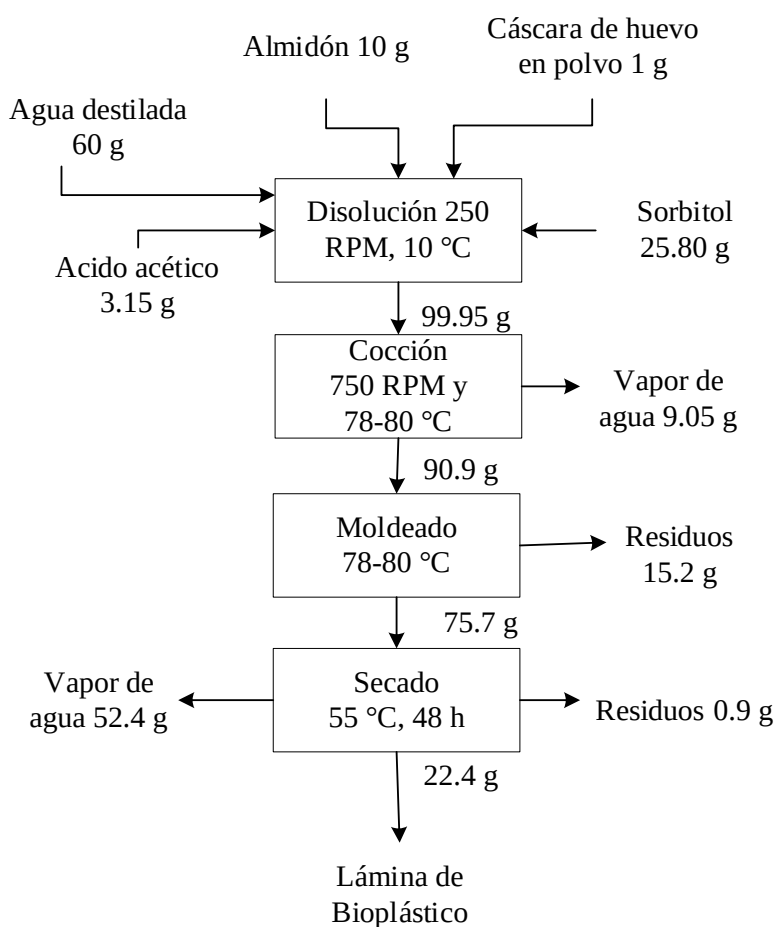
La mayor biodegradabilidad se observa con bajas cantidades de almidón y cáscara de huevo en polvo, y altas cantidades de sorbitol y ácido acético; la menor biodegradabilidad se presenta con altas cantidades de almidón y ácido acético, y bajas cantidades de cáscara de huevo en polvo y sorbitol.

4.3.1. Rendimiento de láminas de bioplástico

La figura 33 muestra el diagrama de flujo del procedimiento de obtención de láminas de bioplástico.

Figura 33

Masas de Entrada y Salida de la Obtención de Láminas de Bioplástico



Para calcular el rendimiento se hizo uso de la Ec. 3.

Teniendo como resultado un rendimiento del 22.41%. Este rendimiento es similar al obtenido por Ortiz Ramírez (2019), en su investigación sobre bioplástico de almidón de semillas de mango (*Mangifera indica*). Ortiz Ramírez empleó 8 g de almidón, 11 ml de glicerol, 75 ml de agua y 5 ml de vinagre, logrando un rendimiento promedio de 21.40%. La ligera diferencia con nuestro resultado se atribuye a la variación en el tipo de plastificante y en las cantidades de almidón, agua y vinagre utilizadas.

Sin embargo, este resultado es menor con respecto al resultado reportado por Holguin Cardona (2019), donde se empleó almidón de papa modificado combinado con PVA, HXCELL, NaOH, ácido bórico, glicerina, etanol, aceite mineral, goma xantana y agua, se obtuvo un rendimiento promedio del 42.79% con pérdidas de insumos del 5.4857%. El almidón de Uncucha Q'uello no ha sido previamente modificado químicamente, lo que podría limitar su comportamiento frente al calor y su capacidad de gelatinización y retrogradación a diferencia del estudio comparado. Por otro lado, en la presente investigación se hizo uso de moldes de silicona abiertos para el secado, lo que incrementó notablemente la evaporación del agua, lo mencionado es coherente con lo reportado por Holguin Cardona (2019), donde también se observaron pérdidas durante la reacción de polimerización y el secado, aunque en menor medida por el uso de sistemas más cerrados como beakers.

4.4. Análisis estadístico

4.4.1. Del Porcentaje de Elongación (%EL)

El efecto de las variables independientes cantidad de almidón (CA), cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH), volumen de ácido acético (VA) y volumen de sorbitol (VS) sobre la variable dependiente del porcentaje de elongación (%EL) se muestra en la tabla 12.

Tabla 12

Efectos Estimados para Porcentaje de Elongación (%EL)

Efecto	Estimado	Int. Confianza
Promedio	11.4227	+/- 2.83839
A:CA	2.6625	+/- 6.65662
B:CH	-7.9375	+/- 6.65662
C:VA	2.8225	+/- 6.65662
D:VS	-6.5575	+/- 6.65662
AB+CD	-2.3525	+/- 6.65662
AC+BD	3.8675	+/- 6.65662
AD+BC	3.1075	+/- 6.65662

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 de confianza (intervalos) basados en el error total con 3 g.l. (t = 3.18245)

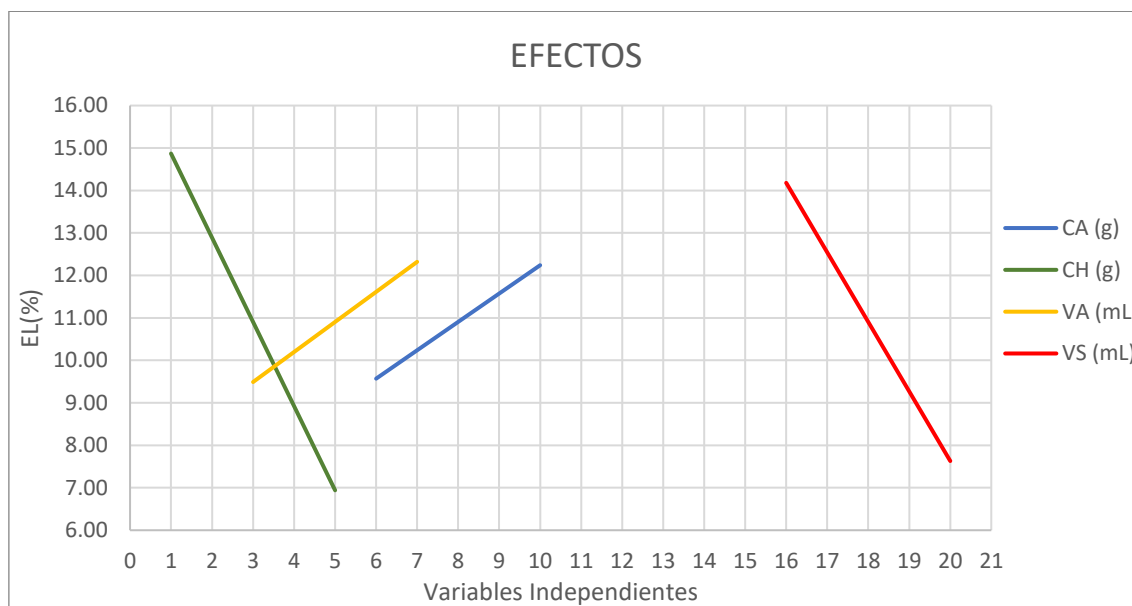
La figura 34 muestra la gráfica de efectos para el porcentaje de elongación (%EL).

La tabla 12 y figura 34 muestran que cuando se cambia la cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH) de 1 a 5 g el porcentaje de elongación (%EL) disminuye en 7.9375% en promedio, es decir a mayor cantidad de cáscara de huevo en polvo existe menor %EL; de igual manera cuando se varía el volumen de sorbitol (VS) de 16 a 20 ml el (%EL)

disminuye en 6.5575% en promedio, es decir a mayor volumen de sorbitol (VS) existe menor %EL.

Figura 34

Gráfica de Efectos para Porcentaje de Elongación (%EL)



Nota. Gráfica de efectos de variables independientes sobre Porcentaje de Elongación (%EL)

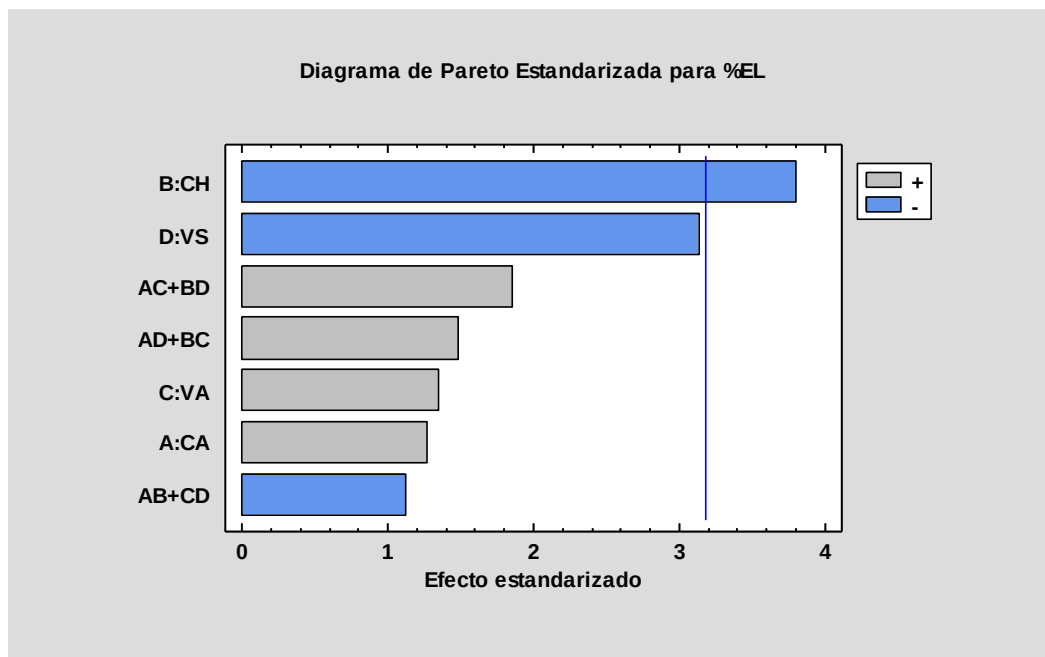
Por otro lado, cuando se varía la cantidad de almidón (CA) de 6 a 10 g el %EL aumenta en 2.6625% en promedio, es decir a mayor cantidad de almidón existe mayor %EL; de igual manera cuando se varía el volumen de ácido acético (VA) de 3 a 7 ml el %EL aumenta en 2.8225% en promedio, es decir a mayor volumen de ácido acético (VA) existe mayor %EL.

La tabla 13 y figura 35 muestran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y sus interacciones; así como también se muestra el intervalo de confianza de cada uno de los efectos.

El diagrama de Pareto permite conocer el orden de importancia de las variables del estudio CA, CH, VA y VS como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Diagrama de Pareto Estandarizada para el Porcentaje de Elongación (%EL)



Por lo tanto, la variable de mayor efecto sobre el porcentaje de elongación (%EL) es la cantidad de cascara de huevo en polvo (CH).

El análisis de varianza (ANOVA) se da en la tabla 13

La tabla ANOVA particiona la variabilidad del %EL en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, un efecto tienen un valor-P menor que 0.05, es decir, la variable independiente cantidad de huevo en polvo (CH) es significativa; y donde el estadístico R-Cuadrado explica 92.0131% de la variabilidad del porcentaje de elongación.

Tabla 13*Análisis de Varianza para el Porcentaje de Elongación (%EL)*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CA	14.1778	1	14.1778	1.62	0.2927
B:CH	126.008	1	126.008	14.40	0.0321
C:VA	15.933	1	15.933	1.82	0.2700
D:VS	86.0016	1	86.0016	9.83	0.0519
AB+CD	11.0685	1	11.0685	1.26	0.3426
AC+BD	29.9151	1	29.9151	3.42	0.1616
AD+BC	19.3131	1	19.3131	2.21	0.2341
Error total	26.2504	3	8.75014		
Total (corr.)	328.667	10			

Nota. Donde cantidad de almidón (CA), cantidad de huevo (CH), volumen de ácido acético (VA), volumen de sorbitol, resistencia a la tracción (Rm), porcentaje de elongación (%EL), porcentaje de absorción de agua (%AA) y porcentaje de biodegradabilidad (%BD)

4.4.2. De la Resistencia a la Tracción Rm (MPa)

El efecto de las variables independientes cantidad de almidón (CA), cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH), volumen de ácido acético (VA) y volumen de sorbitol (VS) sobre la variable dependiente resistencia a la tracción (Rm) se muestra en la tabla 14.

Tabla 14*Efectos Estimados para (Resistencia a la Tracción), Rm (MPa)*

Efecto	Estimado	Int. Confianza
Promedio	1.39091	+/- 0.376513

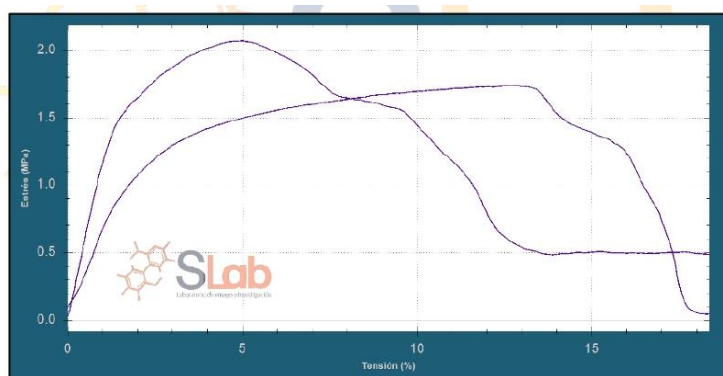
A:CA	0.1475	+/- 0.883001
B:CH	-0.7025	+/- 0.883001
C:VA	-0.5425	+/- 0.883001
D:VS	-0.2425	+/- 0.883001
AB+CD	-0.2375	+/- 0.883001
AC+BD	0.1625	+/- 0.883001
AD+BC	0.7025	+/- 0.883001

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 de confianza (intervalos) basados en el error total con 3 g.l. ($t = 3.18245$)

En la figura 36 se visualiza el ensayo a la tracción realizado en el laboratorio externo acreditado por INACAL (SLab).

Figura 36

Ensayo de Tracción realizado en SLAB (Laboratorio externo)

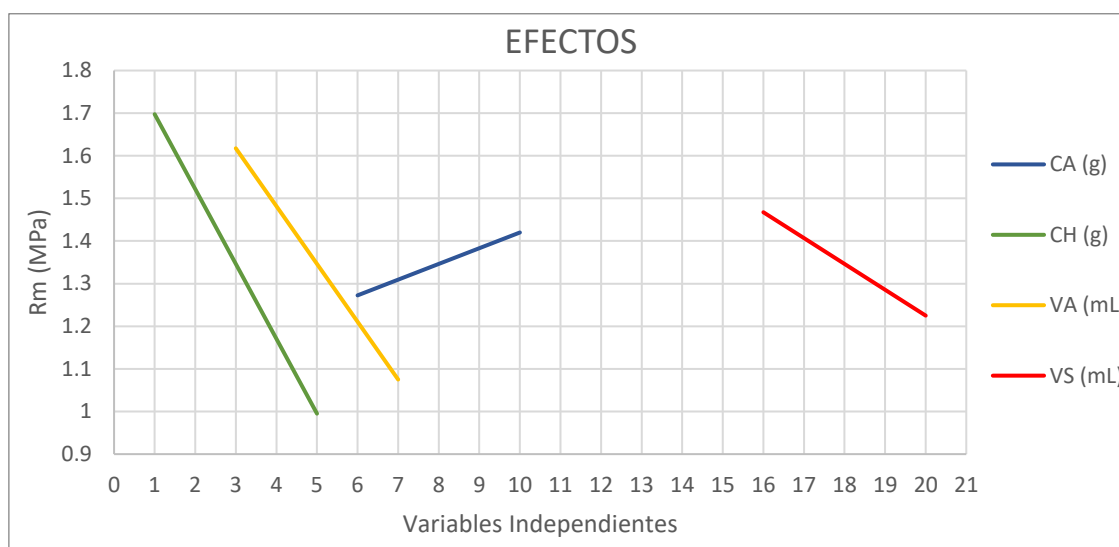


Nota. Prueba de tracción para el tratamiento N°5

La figura 37 muestra la gráfica de efectos para la resistencia a la tracción (R_m).

Figura 37

Gráfica de Efectos para la Resistencia a la Tracción (Rm)



Nota. Gráfica de efectos de variables independientes sobre Resistencia a la Tracción (Rm)

De la tabla 14 y figura 37 se puede indicar que cuando se cambia la cantidad de almidón (CA) de 6 a 10 g la resistencia a la tracción (Rm) aumenta en 0.1475% en promedio, es decir a mayor cantidad de almidón existe mayor Rm. Por otro lado, cuando se varía la cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH) de 1 a 5 g la Rm disminuye en 0.7025 en promedio, es decir mayor cantidad de cáscara de huevo en polvo existe menor Rm, cuando se varía el volumen de ácido acético (VA) de 3 a 7 ml la Rm disminuye en 0.5425% en promedio, es decir a mayor volumen de ácido acético (VA) existe menor Rm, también cuando se varía el volumen de sorbitol (VS) de 16 a 20 ml la Rm disminuye en 0.2425% en promedio, es decir a mayor volumen de sorbitol (VS) existe menor Rm.

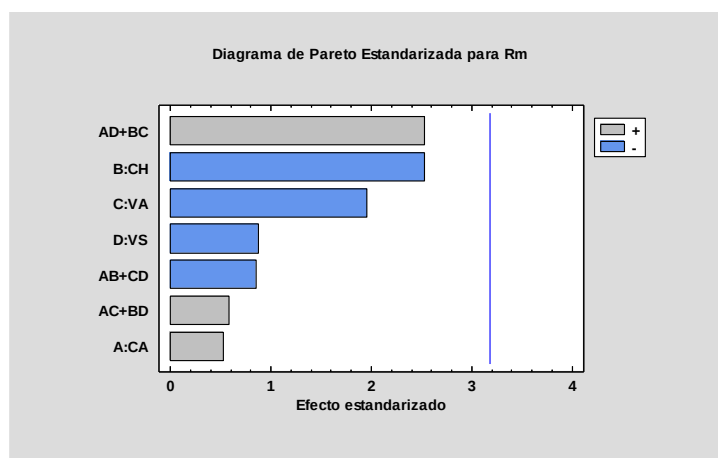
La tabla 15 y figura 38 muestran las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y sus interacciones; así como, también se muestra el intervalo de confianza de cada uno de los efectos.

El diagrama de Pareto permite conocer el orden de importancia de las variables del estudio CA, CH, VA y VS como se muestra en la figura 38.

Las variables cantidad de cascara de huevo en polvo (CH), volumen de ácido acético (VA), volumen de sorbitol (VS), cantidad de almidón (CA), así como las interacciones (CA * VS + CH * VA), (CA * CH + VA * VS) y (CA * VA + CH * VS) muestran tener una influencia en la resistencia a la tracción. A pesar de que, se muestra en el diagrama de Pareto, podemos deducir que la variable más importante es la cantidad de almidón (CA); sin embargo, podemos afirmar en base a evidencia estadística que realmente estos efectos no son significativos.

Figura 38

Diagrama de Pareto Estandarizada para la Resistencia a la Traccion (Rm)



El análisis de varianza (ANOVA) se da en la tabla 15

Tabla 15*Análisis de Varianza para Resistencia de Traccion (Rm)*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:CA	0.0435125	1	0.0435125	0.28	0.6318
B:CH	0.987013	1	0.987013	6.41	0.0853
C:VA	0.588613	1	0.588613	3.82	0.1455
D:VS	0.117613	1	0.117613	0.76	0.4464
AB+CD	0.112812	1	0.112812	0.73	0.4549
AC+BD	0.0528125	1	0.0528125	0.34	0.5992
AD+BC	0.987013	1	0.987013	6.41	0.0853
Error total	0.461903	3	0.153968		
Total (corr.)	3.35129	10			

Nota. Donde cantidad de almidón (CA), cantidad de huevo (CH), volumen de ácido acético (VA), volumen de sorbitol, resistencia a la tracción (Rm), porcentaje de elongación (%EL), porcentaje de absorción de agua (%AA) y porcentaje de biodegradabilidad (%BD)

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Rm en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. Es este caso, ningún efecto tiene un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero, lo que quiere decir que sí existe influencia, sí hay diferencia; con un nivel de confianza del 95.0%. Si el p-valor fuera exactamente cero, implicaría que el resultado observado es absolutamente imposible. Por tanto, las variables de estudio (CA, CH, VA y VS) no son significativas; y donde el estadístico R-Cuadrado explica 86.2171% de la variabilidad de la resistencia a la tracción.

4.4.3. Del Porcentaje de Absorción (%AA)

El efecto de las variables independientes cantidad de almidón (CA), cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH), volumen de ácido acético (VA) y volumen de sorbitol (VS) sobre la variable dependiente porcentaje de absorción (%AA) se muestra en la tabla 16.

Tabla 16

Efectos estimados para Porcentaje de Absorción de Agua (%AA)

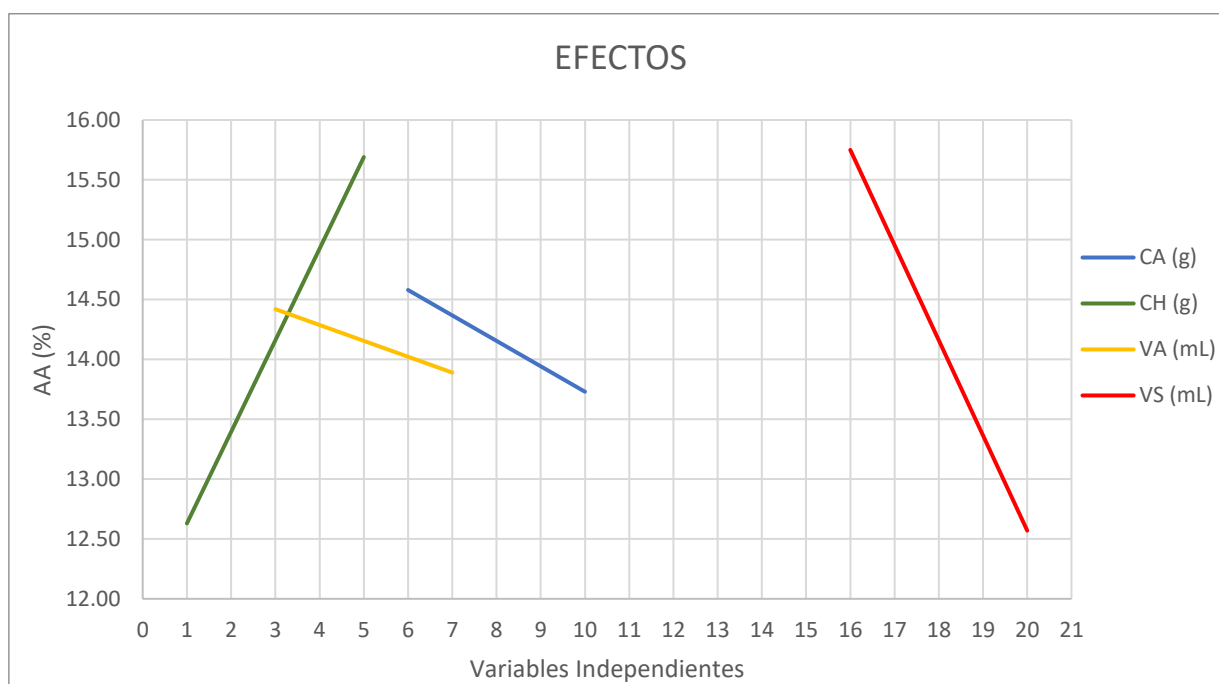
Efecto	Estimado	Int. Confianza
Promedio	16.2509	+/- 6.51175
A:CA	-0.85	+/- 15.2714
B:CH	3.055	+/- 15.2714
C:VA	-0.53	+/- 15.2714
D:VS	-3.185	+/- 15.2714
AB+CD	-0.82	+/- 15.2714
AC+BD	1.025	+/- 15.2714
AD+BC	-5.85	+/- 15.2714

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 de confianza (intervalos) basados en el error total con 3 g.l. (t = 3.18245)

La figura 39 muestra la gráfica de efectos para el porcentaje de absorción de agua (%AA).

Figura 39

Gráfica de Efectos para la Absorción de Agua (%AA)



Nota. Gráfica de efectos de variables independientes sobre la Absorción de Agua (%AA)

De la tabla 16 y figura 39 se puede indicar que cuando se cambia el volumen de sorbitol (VS) de 16 a 20 ml el %AA disminuye a 3.185% en promedio, es decir a mayor volumen de sorbitol existe menor %AA; de igual manera cuando se varía la cantidad de almidón (CA) de 6 a 10 g el %AA disminuye a 0.85% en promedio, es decir a mayor cantidad de almidón existe menor %AA; también cuando se varia el volumen de ácido acético (VA) de 3 a 7 ml el %AA disminuye en 0.53% en promedio, es decir a mayor volumen de ácido acético (VA) existe menor %AA. Por otro lado, cuando se varia la cantidad de huevo (CH) de 1 a 5 g el %AA aumenta a 3.055% en promedio, es decir a mayor cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH) existe mayor %AA.

4.4.4. Del Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)

El efecto de las variables independientes cantidad de almidón (CA), cantidad de cáscara de huevo en polvo (CH), volumen de ácido acético (VA) y volumen de sorbitol (VS) sobre la variable dependiente porcentaje de biodegradabilidad (%BD) se muestra en la tabla 17.

Tabla 17

Efectos Estimados para el Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)

Efecto	Estimado	Int. Confianza
Promedio	49.8155	+/- 3.80867
A:CA	-7.61	+/- 8.93213
B:CH	-2.245	+/- 8.93213
C:VA	-0.17	+/- 8.93213
D:VS	6.355	+/- 8.93213
AB+CD	4.905	+/- 8.93213
AC+BD	1.7	+/- 8.93213
AD+BC	0.065	+/- 8.93213

Nota. Intervalos de confianza del 95.0 de confianza (intervalos) basados en el error total con 3 g.l. (t = 3.18245)

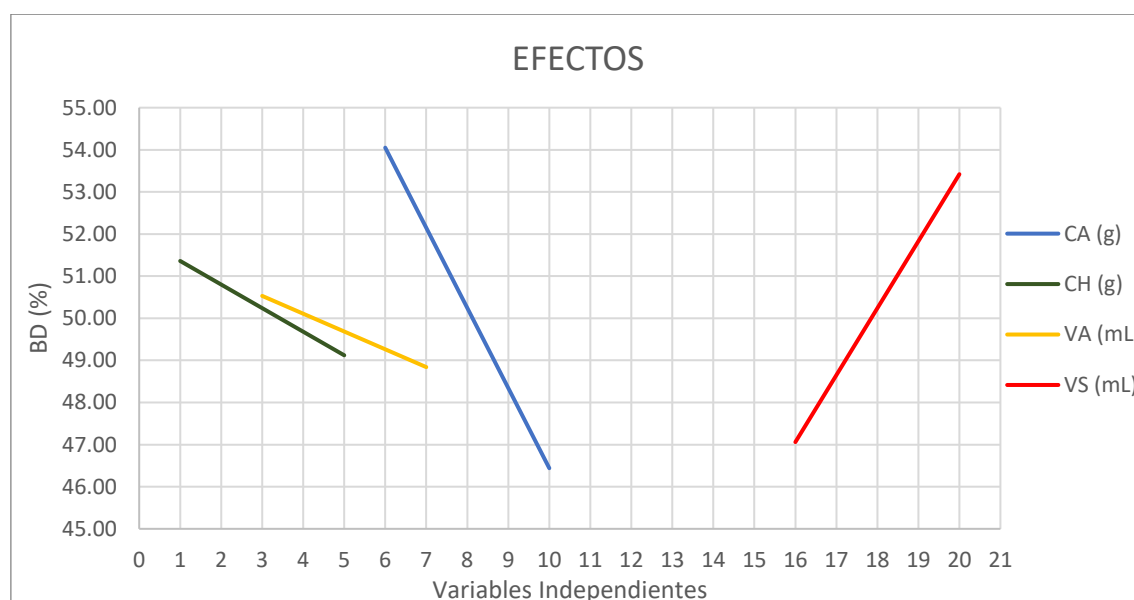
La figura 40 muestra la gráfica de efectos para el porcentaje de biodegradabilidad (%BD).

De la tabla 17 y figura 40 se puede indicar que cuando cambia la cantidad de almidón (CA) de 6 a 10 g el %BD disminuye a 7.61% en promedio, es decir a mayor cantidad de almidón existe menor %BD; de igual manera cuando se varia la cantidad de huevo en polvo (CH) de 1 a 5 g el %BD disminuye a 2.245% en promedio, es decir a

mayor cantidad de cáscara de huevo en polvo existe menor %BD; de igual manera cuando se varía el volumen de ácido acético (VA) de 3 a 7 ml el %BD disminuye en 0.17% en promedio, es decir a mayor volumen de ácido acético (VA) existe menor %BD. Por otro lado, cuando se varía el volumen de sorbitol (VS) de 16 a 20 ml el %BD aumenta a 6.355% en promedio, es decir a mayor volumen de sorbitol existe mayor %BD.

Figura 40

Gráfica de Efectos para el Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)



Nota. Gráfica de efectos de variables independientes sobre el Porcentaje de Biodegradabilidad (%BD)

Haciendo una comparación con los resultados de otras investigaciones se puede indicar lo siguiente:

Para la resistencia a la tracción (R_m): Este resultado es un tanto menor a la investigación realizada por Machaca Ramos, (2022) quien obtuvo bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta de la variedad Hass, su estudio reportó una resistencia a la tracción de 2.82 MPa utilizando 10 g de almidón, 7 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina. Sin embargo, de acuerdo a su investigación nuestros resultados también sugieren que la

mejor resistencia a la tracción se logra mediante la reducción del plastificante (sorbitol), mientras que el aumento del ácido acético la disminuye; esto se refleja en la formulación 1 (Cantidad de Almidón = 6 g, Cantidad de Huevo = 1 g, Volumen de Ácido Acético = 3 ml y Volumen de Sorbitol = 16 ml) obteniendo 2.33 MPa de resistencia a la tracción, esto puede deberse al tipo de plastificante y tipo de almidón. Por otro lado, Machaca Ramos reportó que a mayor volumen de ácido acético y plastificante tiene menor resistencia, esto lo podemos evidenciar en su resultado con menor resistencia (0.47 MPa), quien utilizó 10 g de almidón, 5 ml de ácido acético y 15 ml de glicerina, este resultado mantiene similitud a nuestra formulación 7 (Cantidad de Almidón = 6 g, Cantidad de Huevo = 1 g, Volumen de Ácido Acético = 7 ml y Volumen de Sorbitol = 20 ml) con una resistencia de 0.68 MPa, esto puede deberse a la concentración del ácido acético. Adicionalmente, observamos que la disminución de la concentración de cascara de huevo también incrementa la resistencia, lo cual concuerda con lo reportado por Jiang en el 2018, donde reportó un aumento en la resistencia de tracción (de 2.37MPa a 4.69MPa) en bioplástico de almidón de maíz reforzado con cascara de huevo en concentraciones de 0% a 2% respectivamente, observando una disminución de la resistencia para concentraciones superiores al 2%.

Para el porcentaje de elongación: También se evidenció un menor porcentaje de elongación (% EL) en nuestra formulación 5 de 12.31%, este resultado presenta similitud con la investigación realizada por Machaca Ramos en la cual obtuvo 11.45 en % EL para 3 ml de ácido acético y 5 ml de glicerina según la Norma ASTM D882, al disminuir el volumen de ácido acético y el volumen de plastificantes (glicerina) reduce el porcentaje de elongación, lo cual coincide con la disminución de ácido acético en nuestros experimentos, sin embargo, en nuestro resultado al aumentar el volumen de sorbitol obtenemos que disminuye el porcentaje de elongación lo cual se contradice con el estudio

de Machaca Ramos, esto puede deberse al tipo de plastificante ya que según Gontard señala que generalmente la glicerina es el plastificante más empleado para transformar el almidón en un material termoplástico (TPS); sin embargo, genera la disminución en la elasticidad. En cambio, al aumentar la cantidad de almidón y la cantidad de huevo incrementó el porcentaje de elongación lo cual coincide con el estudio de Jing et al., (2018) que al aumentar la cantidad de cascara de huevo en polvo, aumentó el porcentaje de elongación.

Para el porcentaje de absorción de agua: El experimento 5 mostró la menor absorción de agua (7.85%). Este resultado es inferior al rango de 17-24% reportado por Vargas & Medina, (2019) en su estudio sobre la influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa, quienes utilizaron 20 ml de sorbitol y durante 24 horas. por lo que a mayor volumen de sorbitol se obtiene menor porcentaje de absorción de agua acercándose a las propiedades de los bioenvases. De igual manera el estudio de Zambrano, (2022) quien obtuvo bioplastico a partir de Lechuguines, reporto una absorción de agua del bioplástico del 13.8% a 24 horas por encima a nuestro resultado, esto se debe a que usaron gran cantidad de almidón, menor proporción de ácido acético y sorbitol, por lo que resulto una menor absorción de agua; sin embargo, en nuestro resultado con las mismas proporciones a diferencia del sorbitol, es que el sorbitol en mayor volumen ayudo en la disminución de la absorción del agua.

Para el porcentaje de biodegradabilidad: El porcentaje de biodegradabilidad obtenido (47.55%) es inferior a los reportados en estudios previos. Jing et al., reportaron una biodegradación del 58.25% en tres semanas para bioplásticos de maíz reforzados con cáscara de huevo, utilizando una metodología diferente. Esta discrepancia puede atribuirse a las diferencias en las condiciones del suelo, incluyendo pH, humedad, composición de materia orgánica y factores ambientales. Similarmente, nuestros

resultados son menores a los obtenidos por Sernaqué Auccahuasi, (2020) quienes reportaron una degradación del 93.06% (bioplástico de cáscara de mango) y 73.16% (bioplástico de cáscara de plátano) en cuatro semanas, empleando un sustrato con mayor humedad (31.15% humedad relativa) a base de humus de lombriz, los altos porcentajes de degradación se debieron a mayor volumen de sorbitol. En nuestro estudio, el uso de tierra negra y compost con menor humedad probablemente contribuyó a la menor degradación observada. Sin embargo, el porcentaje de biodegradación obtenido en nuestro estudio (47.55% en 30 días) supera el reportado por Machaca Ramos (33.47% en 90 días). Esta diferencia se atribuye a las variaciones en la composición de la formulación. Mientras Machaca Ramos utilizó un mayor volumen de ácido acético y menor volumen de glicerol, en nuestro estudio se empleó un menor volumen de ácido acético, incorporando cáscara de huevo y un mayor volumen de sorbitol por lo que obtuvimos mayor porcentaje de biodegradabilidad en un periodo de tiempo menor. Por lo tanto, nuestros resultados muestran que la disminución en la cantidad de almidón, cantidad de cascara de huevo y el volumen de ácido acético, junto con un aumento en el volumen de sorbitol, lo que lleva a un mayor porcentaje de biodegradabilidad (%BD), consistente con el estudio de García Vázquez, (2017) sobre la producción de bioplástico a partir de almidón de cáscara de plátano. Sin embargo, a diferencia de los resultados de García Vázquez, sus películas de bioplástico exhibieron un contenido de humedad relativamente alto (19.77%), lo que probablemente contribuyó a la biodegradabilidad del 83.9% observada después de 90 días en suelo. Esto sugiere que el contenido de humedad puede ser un factor crítico que influye en la velocidad de biodegradación de los bioplásticos.

4.5. Formulación de bioplástico

Los parámetros de las variables independientes CA, CH, VA y VS para el producto de bioplástico que se desea obtener es aquel que cumpla con la norma ASTM D882 y ASTM D570-98. Por consiguiente, se tomó los parámetros que se ha obtenido en el experimento 5, corresponde a la tabla siguiente:

Tabla 18

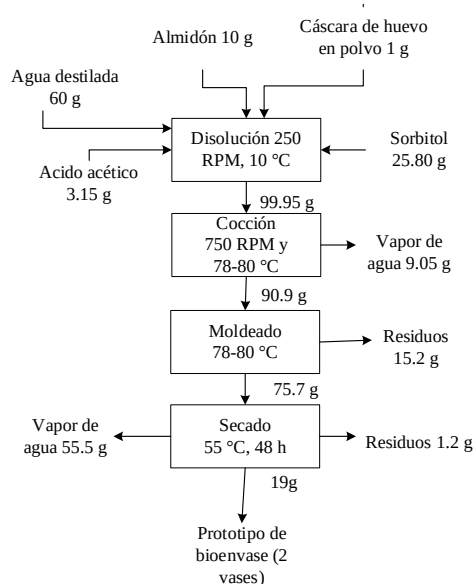
Parámetros para la elaboración del prototipo de bioenvase

N°	CA (g)	CH (g)	VA (ml)	VS (ml)
5	10	1	3	20

Por lo tanto, a estas condiciones se elaboró el prototipo de bioenvase. La figura 41 muestra el proceso de elaboración de prototipo de bioenvase y la figura 42 los resultados de los prototipos obtenidos.

Figura 41

Diagrama de Bloques de Elaboración de Prototipo de Bioenvase



Nota. Base de cálculo: 100 g; $\rho_{\text{ácido acético}}$ (1.05g/ml), ρ_{sorbitol} (1.29g/ml) y ρ_{agua} (1.00g/ml)

Para calcular el rendimiento se hizo uso de la ecuación (7).

El prototipo de bioenvase mostró un rendimiento del 19%, con un 80.95% de residuos generados durante el proceso de obtención del envase de bioplástico.

Figura 42

Resultados de Prototipo de Bioenvase



Nota. A. Bioenvases 10 x 13 cm; B. Bioenvase 10 x 20 cm; C. Bioenvases en forma de vaso; D. Espesor del bioenvase.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. Se logró obtener envases biodegradables utilizando *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) y cáscara de huevo en polvo. Las propiedades físico-mecánicas de los envases fueron evaluados de acuerdo con las normas ASTM D882 y ASTM D570-98.
2. El porcentaje de almidón obtenido de *Xanthosoma sagittifolium* L. (Uncucha Q'uello) fue del 12.86%.
3. Se determinó que la cáscara de huevo en polvo mostró un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de elongación. Por otro lado, las variables de estudio no resultaron estadísticamente significativas en la resistencia a la tracción, porcentaje de absorción de agua y el porcentaje de biodegradabilidad, sin embargo; presentan un efecto positivo sobre las mismas.
4. Se determinó que una cantidad de almidón de 10 g, cantidad de huevo en polvo de 1g, volumen de ácido acético de 3 ml y volumen de sorbitol de 20 ml da las características físico-mecánicas necesarias para el bioenvase dando propiedades de resistencia a la tracción de 2.31 MPa, porcentaje de elongación de 12.31%, absorción de agua de 7.85% en impermeabilidad del bioplastico y biodegradabilidad de 47.55% en pérdida de peso en 30 días a condiciones normales de Cusco de acuerdo a la norma ASTM D882 y ASTM D570-98.

Recomendaciones

- Se recomienda ensayos de biodegradabilidad evaluando la tasa de descomposición del bioplástico en diferentes entornos, como compostaje doméstico, industrial, suelo y agua, utilizando métodos estándares de ensayo.
- Para aumentar la hidrofobicidad del bioplástico se recomienda la modificación del almidón o mezcla con otro biopolímero como el ácido poliláctico (PLA)

Referencias Bibliográficas

- Abera, G., Woldeyes, B., Demash, H. D., & Miyake, G. (2020). The effect of plasticizers on thermoplastic starch films developed from the indigenous Ethiopian tuber crop Anchote (*Coccinia abyssinica*) starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 581-587.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.218>
- Agarwal, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films. *European Polymer Journal*, 160.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110788>
- Arcos Coba, J. A., & Marín Cucalón, B. E. (2021). La actualidad de los tipos de envases plásticos para alimentos. *Journal of Engineering Science*, 3(6), 1-16.
doi:<https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id176>
- Arrieta, Á., Durango, L., & Arizal, E. (2018). Estudio de las propiedades absorbentes de un biopolímero a base de almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Espacios*, 39(53). Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-15.pdf>
- ASTM. (2018). *Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. Obtenido de <https://www.astm.org/standards/d882>
- ASTM. (Agosto de 2023). Obtenido de <https://pdfcoffee.com/norma-astm-d570-prueba-de-humedad-3-pdf-free.html>
- AVANTIUM. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://www.avantium.com/our-company/>

- Bejarano Martinez, N. L. (2018). *Estudio de las propiedades mecanicas de un biopolimero a partir del contenido de almidon de cáscara de platano*. Universidad Nacional San Agustin de Arequipa, Arequipa. Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7f674c14-003f-4356-b976-e25a187ada91/content>
- Benoit de Guillebon. (Septiembre de 2011). Bioplasticos. *Remar, Red de Energía y Medio Ambiente*. Obtenido de <https://xdoc.mx/preview/bioplasticos-5d28e96122a1e>
- BIOFASE. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://biofase.com.mx/>
- Buteler, M. (Diciembre de 2019). ¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos? *CONICET*, 16(28), 56. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/109678/CONICET_Digital_Nro.9fbc68cb-0eb2-4000-b7f6-ac241af6e3f0_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- CAIRPLAS. (17 de Noviembre de 2017). *Camara de la industria de reciclados plasticos*. Obtenido de <https://cairplas.org.ar/plasticos/>
- Callister, Jr., W. D. (2007). *Materials Science and Engineering*. Obtenido de <http://196.189.149.23/handle/123456789/55432>
- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. Quito, Ecuador: Repositorio de Universidad Central del Ecuador.
- De Almeida, A., Ruiz, J. A., Lopez, N. I., & Pettinar, M. J. (2004). Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Química Viva*, 3(3), 122-133. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86330305.pdf>

Deal II. (2022). Recuperado el 31 de Agosto de 2023, de ¿Qué es un envase biodegradable? Todo lo que necesitas saber: <https://dealdos.com/blog/envase-biodegradable/>

Del Pilar Farfán, M., Maza, J., Navarro, E., Saavedra, O., & Yamunaqué, K. (2018). *Diseño de un sistema productivo para la obtención de bolsas biodegradables a partir del almidón de yuca en la empresa Polímeros del Norte S.A.C.* Universidad de Piura, Piura. Recuperado el 3 de Septiembre de 2023, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3830/PYT_Informe_Final_Proyecto_BOLSASBIODEGRADABLES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dufresne, A., & Mathew, A. P. (2002). Plasticized Waxy Maize Starch: Effect of Polyols and Relative Humidity on Material Properties. *Biomacromolecules*, 3(5), 1101–1108. doi:10.1021/bm020065p

Ecomann Biotechnology Co. Ltd. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <http://ecomann.sx-gear.com/introduce/>

El Peruano. (23 de Diciembre de 2016). *DECRETO LEGISLATIVO N° 1278*. Recuperado el 2023, de Decreto Legislativo que aprueba la ley de gestion integral de residuos solidos: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-gestion-integral-residuos-solidos>

EXOESTRATEGIA. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://www.ecoestrategiaperuana.com/#eco>

Fathanah, U., Lubis, M. R., Nasution, F., & Masyawi, M. S. (2018). Characterization of bioplastic based from cassava crisp home industrial waste incorporated with chitosan and liquid smoke. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/334/1/012073/pdf>

- Fernández Bao, S. (2020). *Diseño de experimentos: diseño factorial*. Universidad Politecnica de Cataluña - BarcelonaTech, Barcelona. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf
- García Sánchez, B. (2022). *Producción de polioles a partir de recursos renovables de origen lignocelulósico mediante transferencia catalítica de hidrógeno empleando catalizadores comerciales de tipo Níquel Raney*. Repositorio Universidad Rey Juan Carlos. Obtenido de https://burjcdigital.urjc.es/bitstream/handle/10115/20011/MEMORIA_Tesis_BGS_2022.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Garcia, I. (2017). *Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (Musa paradisiaca) en Pucallpa*. Pucallpa, Perú: Repositorio Universidad Nacional de Ucayali. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3626>
- Godinez Cardoso, M. F., Juarez Green, S., Nieto Trespalacios, R. A., & Senties Paz, M. (2016). *Bioplásticos: Soluciones Ambientales*. Instituto Asunción de México, México. Obtenido de <https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2016/trabajos-ciencias-biologicas/biologia/11.pdf>
- Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L. (Enero de 1993). Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film. *Food Science*, 206-211. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb03246.x>

- Guamán, J. M. (2019). *Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial*. Riobamba, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11069>
- Hasan, M., Rahmayani, R. F., & Munandar. (2018). Bioplastic from Chitosan and Yellow Pumpkin Starch with Castor Oil as Plasticizer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/325140098_Bioplastic_from_Chitosan_and_Yellow_Pumpkin_Starch_with_Castor_Oil_as_Plasticizer
- Hayatun, A., Jannah, M., Ahmad, A., & Taba, P. (2020). Synthetic Bioplastic Film from Rice Husk Cellulose. *Journal of Physics: Conference Series*, 1463. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1463/1/012009/pdf>
- Hernández, K. (2013). *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables*. Mexico.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (s.f.). *Metodología de la investigación (6ta ed.)*. México: Editorial Mexicana.
- Holguin Cardona, J. S. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa*. Bogota: Repositorio Universidad de América. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Hormaza, J. L., & Salazar, Y. R. (2021). *Evaluación de la Biodegradabilidad de Películas Plastificadas Elaborado a partir de Almidón de Solanumtuberosum*. Lima, Perú: Repositorio Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75284>

- Inayati, Pamungkas, D. J., & Matovanni, M. P. (2019). Effect of glycerol concentration on mechanical characteristics of biodegradable plastic from rice straw cellulose. *AIP Publishing*, 2097. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5098285>
- INEI. (Mayo de 2021). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/presentacion-iii-congreso-internacional-plasticos.pdf>
- Ji, G., Zhu, H., Qi, C., & Zeng, M. (15 de Mayo de 2009). Mechanism of interactions of eggshell microparticles with epoxy resins. *Inspiring Plastics Professionals*. doi:<https://doi.org/10.1002/pen.21339>
- Jiang, B., Li, S., Wu, Y., Song, J., Chen, S., & Li, X. (2018). Preparation and characterization of natural corn starch-based composite films reinforced by eggshell powder. *CyTA - Journal of Food*, 16, 1045 - 1054. doi:<https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1527783>
- Lednická, D., Mergaert, J., Cnockaert, M., & Swings, J. (2000). *Isolation and identification of cellulolytic bacteria involved in the degradation of natural cellulosic fibres* (Vol. 23). doi:10.1016/S0723-2020(00)80017-X
- Leon Mendez, G., Monroy Arellano, M., Leon Mendez, D., De la Espriella Angarita, S., & Herrera Barros, A. (09 de Julio de 2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-626. Recuperado el 26 de Agosto de 2023, de https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/17_modificacion.pdf

- Machaca, C. E. (2022). *Obtención de bioplástico a partir de almidón de la semilla de palta (Persea americana) variedad Hass y determinación de la biodegradabilidad*. Moquegua, Perú: Repositorio Universidad Nacional de Moquegua. Obtenido de http://www.repositorio.unam.edu.pe/bitstream/handle/UNAM/488/D095_74892167_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Marcovecchio, J. E., Ronda, A. C., & Arias, A. H. (2020). Las consecuencias de la sobrecarga de plásticos en el ambiente: la zona costera marina como receptor final. *CONICET*, 140. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/146256/CONICET_Digital_Nro.f638217b-45cf-4b5c-905e-a17615f66633_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Martinez Mendoza, E. L., & Tapia Parada, K. (2008). *Propuesta para la obtencion y caracterizacion de Poliамidas y Policarbonatos a partir de Xilosa*. Intituto Politecnico Nacional, México. Obtenido de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/8982>
- MICOM INC. (30 de Agosto de 2023). *Norma ASTM D882*. Obtenido de <https://www.micomlab.com/micom-testing/astm-d882/>
- MINAM. (21 de Diciembre de 2021). *Consenso nacional sobre Visión y Actuación para enfrentar la basura plástica*. Recuperado el 2023, de Residuos plásticos en el Perú: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2617362/MINAM%20sobre%20PL%20399-2021-CR%20Tecnopor%2015.12.2021%20%282%29.pdf.pdf>
- Montero Peralta, S. (2018). *Efecto de la modificación química del almidón sobre la miscibilidad de mezclas de ácido poliláctico/almidón modificado termoplástico*.

Repositorio Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/610/1/Tesis%20MT%20Sailyn%20Montero%2017%20ene%202019.pdf>

Narvaez Guerrero, M. A. (2016). *Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón*. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6299/1/129278.pdf>

NatureWorks LLC. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://www.natureworkslc.com/>

Neunzehn, J., Szuwart, T., & Wiesmann, H. P. (16 de Abril de 2015). Eggshells as natural calcium carbonate source in combination with hyaluronan as beneficial additives for bone graft materials, an in vitro study. *BioMed Central*(12). doi:<https://doi.org/10.1186/s13005-015-0070-0>

NOVAMONT. (2023). Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de <https://www.novamont.com/eng/company-profile>

Odicio Guevara, J. E., Tuisima Coral, L. L., Guillén Huachua, W., & Bonzano del Aguila, E. H. (Enero de 2023). *Manual Manejo Agronómico de Raíces y Tubérculos Tropicales*. Instituto Nacional de Innovación Agraria , Lima, Perú. Recuperado el 26 de Agosto de 2023, de <https://pgc-snia.inia.gob.pe:8443/jspui/handle/pubitem/2435>

OGEIEE. (2025). *Desempeño e importancia de la Industria de Plásticos*. Oficina General de Evaluación de Impacto y Estudios Económicos, Lima, Perú. Obtenido de https://www.producempresarial.pe/wp-content/uploads/2025/02/250-PPT_Industria-Plasticos_2019_2024_25.02.25.pdf

- Ortiz Ramírez, M. A. (2019). *Evaluación de un bioplástico de almidón de semillas de mango (Mangifera indica) con aplicación potencial en envases*. Universidad El bosque, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/bd115bfc-079e-4d7c-833e-1f78fbd2aa04/content>
- Pardo, L., Menendez, J., & Jiraudó, M. (2011). Envases biodegradables: una necesidad de compromiso. *La Alimentación Latinoamericana*(292), 42-44.
- PLASTICS EUROPE. (2022). *PLASTICS EUROPE Enabling a sustainable future*. Obtenido de <https://plasticseurope.org/es/knowledge-hub/plasticos-situacion-en-2022/>
- Prieto, M. A. (1 de Agosto de 2020). Los bioplásticos, ¿qué son? ¿cuántos hay? ¿cómo se producen? (S. E. Molecular, Ed.) *SEBBM divulgación*. Obtenido de https://digital.csic.es/bitstream/10261/217640/1/SEBBM_Agosto2020_AuxiliadoraPrieto.pdf
- Ramos García, M., Romero Bastida, C., & Bautista Baños, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1). Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>
- Reyes Castro, G., Corea Narváez, H. G., & Guatemala Ortega, T. V. (Abril de 2013). Guía de manejo agronomico del Quequisque en Nicaragua. *ProPemce*, 4. Recuperado el 25 de Agosto de 2023, de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01R457g.pdf>

- Reynoso, S. L. (2018). *Polimeros Plasticos*. Mexico. Recuperado el 29 de Agosto de 2023, de https://www.google.com.pe/books/edition/Los_Pol%C3%ADmeros_Pl%C3%A1sticos/fmZhEAAAQBAJ?hl=qu&gbpv=1&dq=elongacion+de+plasticos&pg=PA88&printsec=frontcover
- Santa Cruz, M. K., & Perez Arriola, Y. K. (2019). *Bioplásticos degradables a base de almidón termoplástico modificado y alginato de sodio reforzado con montmorillonita sódica*. Universidad Peruana Union, Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1898/Maria_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4
- Sernaqué Auccahuasi, F. A., Huamán Mogollón, L., Pecho Chipa, H., & Chacón Chacón, M. (Diciembre de 2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. *Centro de Investigaciones Agropecuarias*, 47(4), 22-31. Recuperado el 2024, de <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v47n4/0253-5785-cag-47-04-22.pdf>
- Singhal, S., Agarwal, S., Godiya, C. B., & Kumar, S. (2021). Prospects and Applications of Starch based Biopolymers. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. doi:<https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1963717>
- SP GROUP. (1 de Febrero de 2023). Recuperado el 31 de Agosto de 2023, de <https://www.spg-pack.com/blog/envases-biodegradables-ventajas-y-desventajas/>
- Vargas García, Y., Pazmiño Sánchez, J., & Dávila Rincón, J. (2021). Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión. *Revista Politécnica*, 48(2). doi:<https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.01>

- Vargas Moreno, P. A., & Medina Vargas, O. J. (2019). Influencia del tipo de plastificante en la elaboración de bioplásticos, a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 17(2), 239-249. Recuperado el 2024, de <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/bistua/article/view/253/237>
- Vega, G., & Mendoza, N. (2017). *Caracterización del almidón de Uncucha (Xanthosoma sagittifolium) de dos variedades y su aplicación en embutidos*. Cusco, Perú.
- Villachica, H. (1996). *Frutales y Hortalizas Promisorios de la Amazonia*. Lima: Tratado de Cooperación Amazónica. Recuperado el 25 de Agosto de 2023
- Yamada, M., Morimitsu, S., Hosono, E., & Yamada, T. (2020). Preparation of bioplastic using soy protein. *International Journal of Biological Macromolecules*, 149, 1077-1083. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.025>
- Zambrano Saltos, A. D., Zambrano Bravo, E. J., García Muentes, S. A., & Burgos Briones, G. A. (2022). Aprovechamiento de biomasa lignocelulósica: *Eichhornia crassipes* (Lechuguines) para la obtención de bioplástico. *Ciencia & Desarrollo*, 21(1), 40-49. doi:<https://doi.org/10.33326/26176033.2022.1.1405>

Apéndices

Apéndice N°1. Matriz de Operacionalización de Variables

Variables Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Unidades
Cantidad de almidón de Uncucha Q'uello	Está compuesto por polisacáridos: amilosa (24%) y amilopectina (76%) (Vega & Mendoza, 2017).	Es la cantidad obtenida por vía húmeda y pesada en una balanza analítica.	Masa	g
Cantidad de cáscara de huevo en polvo	Contiene 5% de materia orgánica (colágeno) y 95% de calcio. Sus proteínas son beneficiosas para mejorar las propiedades mecánicas de las láminas de bioplástico (Ji et al., 2009)	Medición del peso de cascara de huevo en polvo utilizando balanza analítica.	Masa	g
Cantidad de sorbitol	Es un poliol de origen natural, actúa como plastificante en la fabricación de bioplásticos, uniendo a los polímeros para aumentar la maleabilidad y adaptabilidad (Godinez et al., 2016).	Es la cantidad de D-sorbitol obtenida utilizando balanza analítica.	Masa	g
Cantidad de ácido Acético	La inclusión de ácido acético en almidones naturales mejora las características de producción de bioplásticos, otorga mayor resistencia a la retrogradación y una mayor estabilidad (Montero Peralta, 2018).	Medición del ácido acético utilizando una jeringa para determinar la cantidad necesaria.	Volumen	ml
Variables Dependientes				
Resistencia a la tracción	Es una característica mecánica que calcula la deformación de una muestra entre dos puntos fijos mientras se aumenta la carga aplicada (Narvaez Guerrero, 2016).	Fuerza aplicada por unidad de área medida por una máquina de tracción universal, siguiendo el	Ensayo de tracción	MPa

		procedimiento estándar ASTM D882.		
		Longitud de la muestra tras la aplicación de una fuerza para estirarla, medida por una máquina de tracción universal, siguiendo el procedimiento estándar ASTM D882		
Porcentaje de elongación	Hace referencia a la habilidad de un material para alargarse previo a la ruptura, expresándose como un porcentaje de modificación respecto a su longitud inicial (Reynoso, 2018)		Grado de elongación	%
	La capacidad para retener o incorporar agua en su estructura cuando se encuentran en ambientes húmedos y acuosos. Esta característica puede cambiar dependiendo a las propiedades del almidón y de la adición de componentes en la obtención de los bioplásticos (Del Pilar et al., 2018)	La habilidad de los bioplásticos para absorber agua es medida siguiendo el procedimiento estándar ASTM D 570-98	Cantidad de agua retenida	%
Biodegradabilidad en el suelo	Característica fundamental que distingue a los materiales biodegradables de los sintéticos. Esto involucra la ruptura de cadenas poliméricas y su transformación en dióxido de carbono, sales y agua. (Pardo et al., 2011).	El material biodegradado es determinado mediante un análisis de peso, considerando tanto el peso inicial como el peso al concluir el proceso de biodegradación	Pérdida de peso de láminas de bioplástico	%

Apéndice N°2. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipotesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Independiente		
¿Cuál es la concentración de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético en la formulación de envases biodegradables?	Obtener envases biodegradables a partir de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> L. (Uncucha Q'uello) y cáscara de huevo en polvo.	La cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, ácido acético y sorbitol en el proceso de obtención de bioplástico influyen significativamente en la resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, resistencia al agua y biodegradabilidad en el suelo de los envases obtenidos, dentro de la norma ASTM D882 y ASTM D570-98.	Cantidad de almidón de Uncucha Q'uello	Masa	Investigación de tipo aplicado.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos		Cantidad de cáscara de huevo en polvo	Masa	Enfoque cuantitativo.
¿Cuál es el porcentaje de almidón obtenido de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (Uncucha Q'uello)?	Determinar la cantidad de almidón y porcentaje de recuperación obtenido de <i>Xanthosoma sagittifolium</i> (Uncucha Q'uello)		Cantidad de sorbitol	Volumen	Diseño experimental.
¿Cómo influye la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético en las	Evaluar el efecto de la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético en las propiedades físico-		Cantidad de ácido Acético	Volumen	Alcance explicativo.

propiedades físico-mecánicas del envase biodegradable (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad)?	mecánicas de las láminas de bioplástico (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad).
¿Cuáles son los parámetros de cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético para obtener envases con las propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad)?	Identificar los parámetros de la cantidad de almidón, cáscara de huevo en polvo, sorbitol y de ácido de acético para obtener envases y determinar las propiedades físico-mecánicas (Resistencia a la tracción, porcentaje de elongación, porcentaje de absorción de agua y biodegradabilidad) del bioplástico.

Variables Dependientes	
Resistencia a la tracción	Ensayo de tracción
Porcentaje de elongación	Grado de elongación
Absorción de agua	Cantidad de agua retenida
Biodegradabilidad en el suelo	Pérdida de peso de láminas de bioplástico

Apéndice N°3. Evaluación de Rm, %EL, %AA y %BD de Láminas de Bioplástico

con 3 Réplicas

N°	CA (g)	CH (g)	VA (ml)	VS (ml)	Rm		%EL		AA (%)		BD (%)	
1	6	1	3	16	1.9	2.33	18.41%	17.72%	10.02%	12.09%	57.23%	55.41%
					2.09		21.24%		12.80%		54.96%	
					2.44		18.66%		13.55%		54.26%	
					2.9		12.56%		11.98%		55.18%	
2	10	5	3	16	0.54	0.91	2.27%	5.47%	20.64%	19.12%	39.74%	43.79%
					0.8		2.50%		17.70%		48.18%	
					1.1		7.46%		18.92%		41.59%	
					1.19		9.63%		19.21%		45.66%	
3	10	1	7	16	1.2	1.47	19.62%	22.45%	19.47%	17.38%	42.84%	42.66%
					1.46		21.87%		15.70%		41.81%	
					1.39		22.41%		16.24%		43.66%	
					1.84		25.90%		18.09%		42.32%	
4	6	5	7	16	1.37	1.16	12.52%	11.09%	12.37%	14.41%	49.97%	46.39%
					1.14		12.40%		14.10%		43.80%	
					1.12		13.27%		16.39%		44.64%	
					1.01		6.17%		14.79%		47.16%	
5	10	1	3	20	1.73	2.31	12.84%	12.31%	8.99%	7.85%	49.02%	47.55%
					2.07		5.11%		6.60%		46.17%	
					2.91		14.51%		8.04%		46.91%	
					2.51		16.77%		7.75%		48.11%	
6	6	5	3	20	0.76	0.92	1.96%	2.47%	17.39%	18.63%	54.19%	54.55%
					0.88		1.62%		17.00%		57.25%	
					0.67		4.14%		21.30%		50.80%	
					1.35		2.15%		18.83%		55.96%	
7	6	1	7	20	0.43	0.68	8.07%	7.01%	11.42%	13.20%	65.89%	59.83%
					0.77		6.09%		15.20%		55.20%	
					0.66		5.17%		12.39%		58.73%	
					0.84		8.70%		13.78%		59.50%	
8	10	5	7	20	0.95	0.99	5.47%	8.71%	9.60%	10.58%	51.91%	51.74%
					0.95		8.86%		10.90%		50.13%	
					0.97		9.92%		11.61%		52.90%	
					1.08		10.60%		10.19%		52.03%	
9	8	3	5	18	1.62	1.58	8.93%	10.14%	22.48%	22.92%	50.31%	49.79%
					1.35		6.86%		22.70%		50.73%	
					1.62		15.24%		23.50%		48.87%	
					1.72		9.54%		22.99%		49.24%	
10	8	3	5	18	1.02	1.92	20.16%	16.10%	25.02%	23.27%	45.44%	43.65%
					2.05		20.30%		20.50%		43.30%	
					2.23		10.34%		24.82%		41.71%	
					2.37		13.60%		22.74%		44.15%	
11	8	3	5	18	0.98	1.03	4.31%	12.18%	20.31%	19.31%	55.32%	52.61%
					0.93		11.93%		18.00%		51.36%	

1.02	13.09%	19.81%	50.50%
1.19	19.40%	19.10%	53.27%

Nota. Donde cantidad de almidón (CA), cantidad de huevo (CH), volumen de ácido acético (VA), volumen de sorbitol, resistencia a la tracción (Rm), porcentaje de elongación (%EL), porcentaje de absorción de agua (%AA) y porcentaje de biodegradabilidad (%BD)

Apéndice N°4. Análisis de Resistencia a la Tracción y % Elongación de Láminas de Bioplástico.



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA 773, CUSCO 08003

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : BIOPOLÍMERO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 11
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-02
2.5 Periodo de Ensayo : 2024-11-04 al 2024-11-06
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-12
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-154300-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Resistencia a la Tracción y elongación (espesor < 1mm)	ASTM D882 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:

Código de Laboratorio	Descripción de Muestras
S-5284	Bioplastico MA-01 (c)
S-5285	Bioplastico MA-02 (c)
S-5286	Bioplastico MA-03 (c)
S-5287	Bioplastico MA-04 (c)
S-5288	Bioplastico MA-05 (c)
S-5289	Bioplastico MA-06 (c)
S-5290	Bioplastico MA-07 (c)
S-5291	Bioplastico MA-08 (c)
S-5292	Bioplastico MA-09 (c)
S-5293	Bioplastico MA-10 (c)
S-5294	Bioplastico MA-11 (c)

DIEGO ROMANO VERCARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
CQP. 1337



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5284)

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5284	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.900	1.995
			2	2.090	

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5284	Elongación	%	1	18.41	19.83
			2	21.24	

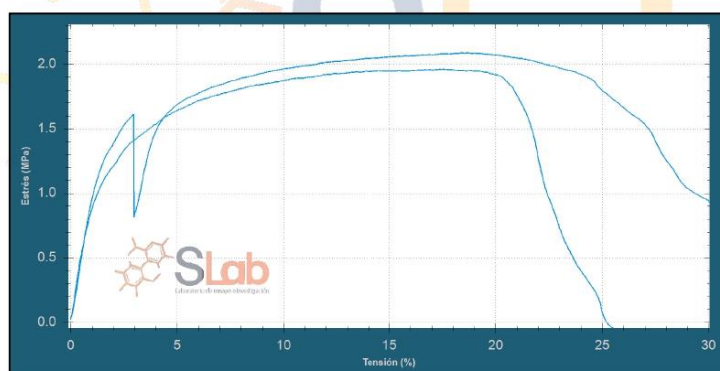


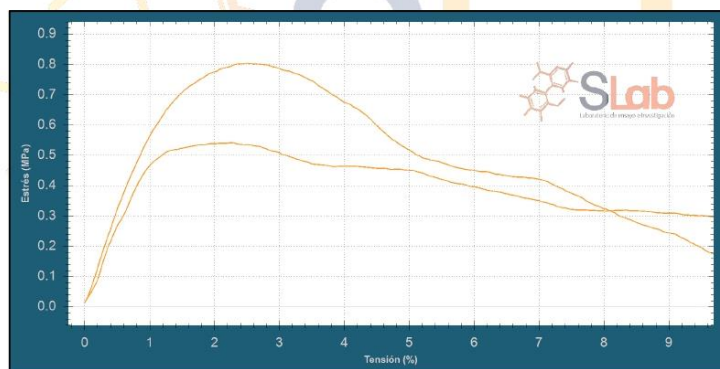
Figura N°1: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5285)
Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5285	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.540	0.670
			2	0.800	

Tabla N°4: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5285	Elongación	%	1	2.27	2.39
			2	2.50	


Figura N°2: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5286)

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5286	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.200	1.330
			2	1.460	

Tabla N°6: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5286	Elongación	%	1	19.62	20.75
			2	21.87	

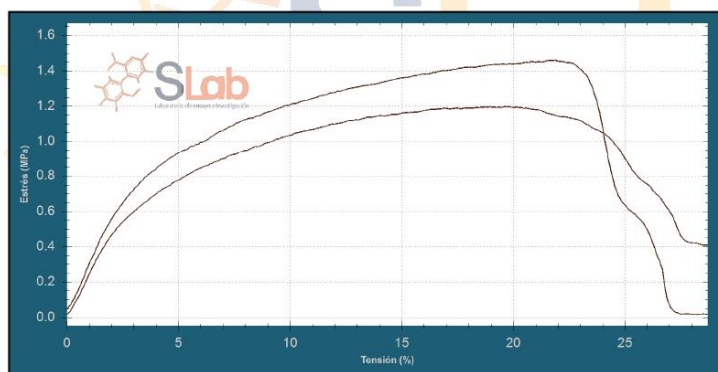


Figura N°3: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5287)

Tabla N°7: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5287	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.370	1.255
			2	1.140	

Tabla N°8: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5287	Elongación	%	1	12.52	12.46
			2	12.40	

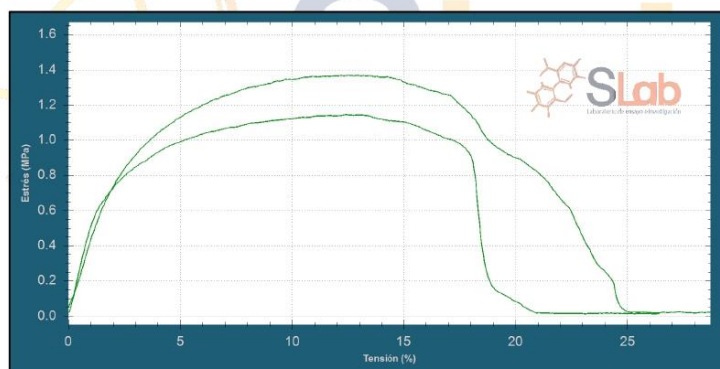


Figura N°4: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5288)

Tabla N°9: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5288	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.730	1.900
			2	2.070	

Tabla N°10: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5288	Elongación	%	1	12.84	8.98
			2	5.11	

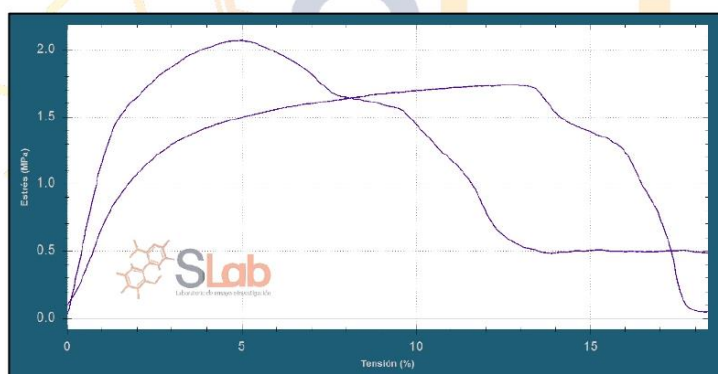


Figura N°5: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.7. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5289)

Tabla N°11: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5289	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.760	0.820
			2	0.880	

Tabla N°12: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5289	Elongación	%	1	1.96	1.79
			2	1.62	

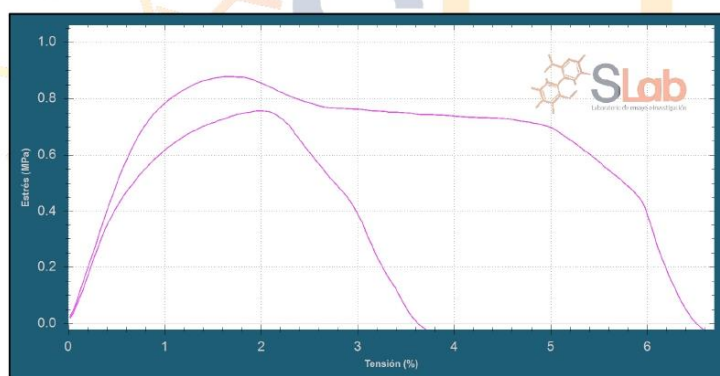


Figura N°6: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.8. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5290)

Tabla N°13: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5290	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.430	0.600
			2	0.770	

Tabla N°14: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5290	Elongación	%	1	8.07	7.08
			2	6.09	

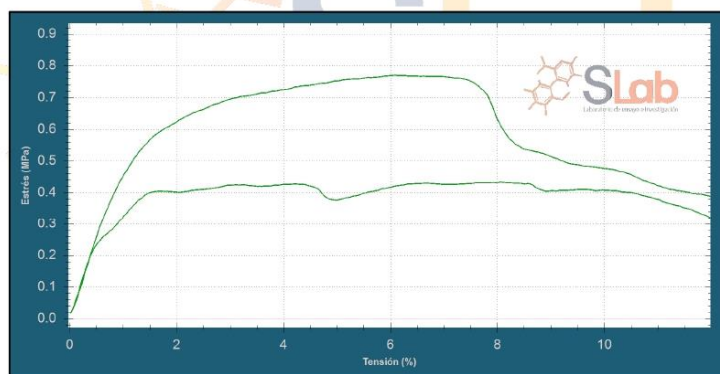


Figura N°7: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5291)

Tabla N°15: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5291	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.950	0.950
			2	0.950	

Tabla N°16: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5291	Elongación	%	1	5.47	7.17
			2	8.86	

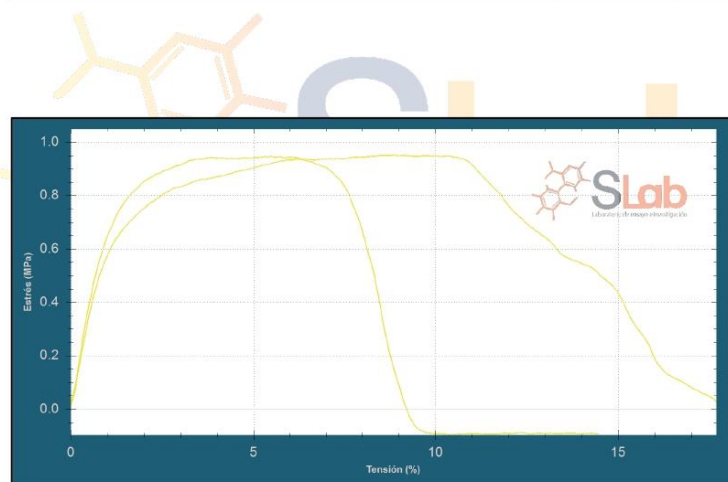


Figura N°8: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5292)

Tabla N°17: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5292	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.620	1.485
			2	1.350	

Tabla N°18: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5292	Elongación	%	1	8.93	7.90
			2	6.86	

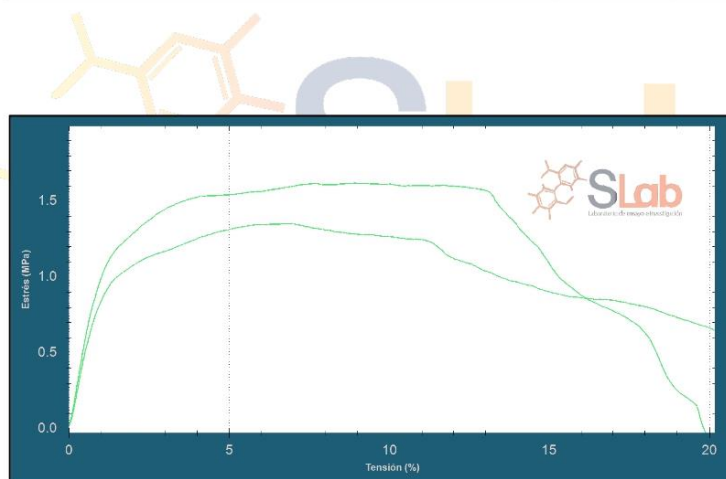


Figura N°9: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5293)

Tabla N°19: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5293	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.020	1.535
			2	2.050	

Tabla N°20: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5293	Elongación	%	1	20.16	20.23
			2	20.30	

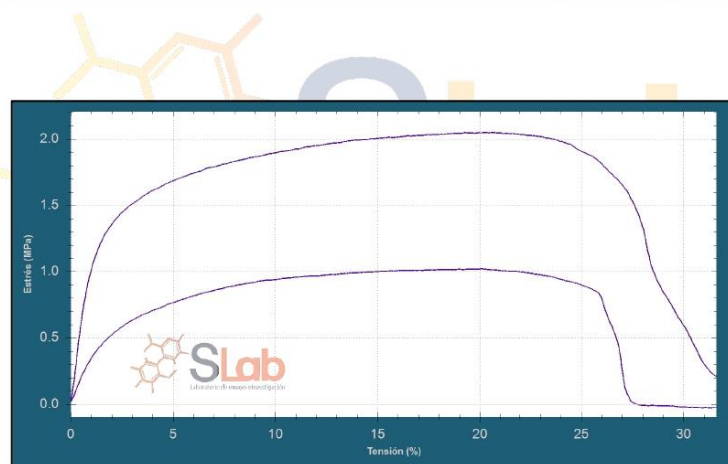


Figura N°10: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

4.12. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION (S-5294)

Tabla N°21: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5294	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.980	0.955
			2	0.930	

Tabla N°22: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5294	Elongación	%	1	4.31	8.12
			2	11.93	

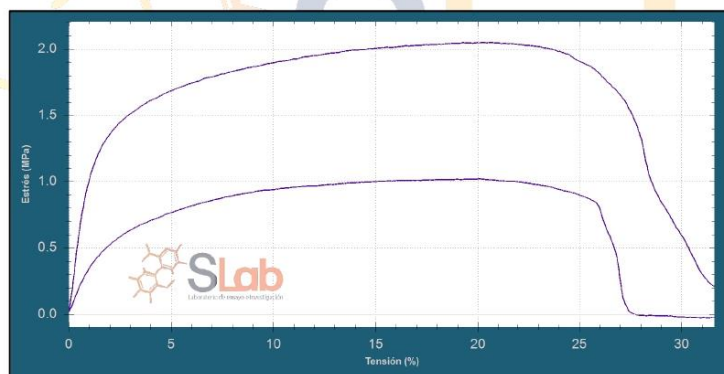


Figura N°11: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3266

Leyenda

(c) Información suministrada por el cliente.

- 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.
- 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.



Apéndice N°5. Análisis de Resistencia a la Tracción y % Elongación de Láminas de Bioplástico, segunda y tercera repetición



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

INFORME DE ENSAYO

IE-2024-3267

1. DATOS DEL CLIENTE

1.1 Cliente : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
1.2 RUC o DNI : 20172474501
1.3 Dirección : AV. DE LA CULTURA 773, CUSCO 08003

2. DATOS DE LA MUESTRA

2.1 Producto : BIOPOLÍMERO
2.2 Muestreado por : CLIENTE (c)
2.3 Número de Muestras : 11
2.4 Fecha de Recepción : 2024-11-02
2.5 Período de Ensayo : 2024-11-04 al 2024-11-06
2.6 Fecha de Emisión : 2024-11-12
2.7 Fecha y Hora de Muestreo : No Precisa
2.8 N° de cotización : COT-154300-SL24

3. ENSAYO SOLICITADO - METODOLOGÍA UTILIZADA

ENSAYO	MÉTODO
Resistencia a la Tracción y elongación (espesor < 1mm)	ASTM D882 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:

Código de Laboratorio	Descripción de Muestras
S-5295	Bioplastico MB-01 (c)
S-5296	Bioplastico MB-02 (c)
S-5297	Bioplastico MB-03 (c)
S-5298	Bioplastico MB-04 (c)
S-5299	Bioplastico MB-05 (c)
S-5300	Bioplastico MB-06 (c)
S-5301	Bioplastico MB-07 (c)
S-5302	Bioplastico MB-08 (c)
S-5303	Bioplastico MB-09 (c)
S-5304	Bioplastico MB-10 (c)
S-5305	Bioplastico MB-11 (c)

DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO
QUÍMICO
COP. 1337

FR-INF-02 V00
2024-10-09

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 13



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5295)

Tabla N°1: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5295	Resistencia a la Tracción	MPa	1	2.440	2.670
			2	2.900	

Tabla N°2: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5295	Elongación	%	1	18.66	15.61
			2	12.56	

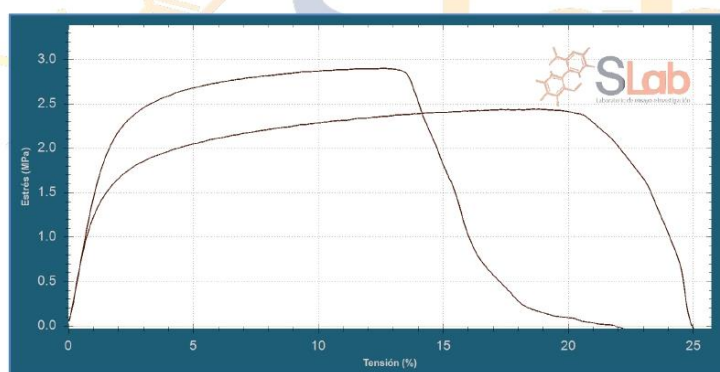


Figura N°1: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5296)

Tabla N°3: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5296	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.100	1.145
			2	1.190	

Tabla N°4: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5296	Elongación	%	1	7.46	8.55
			2	9.63	

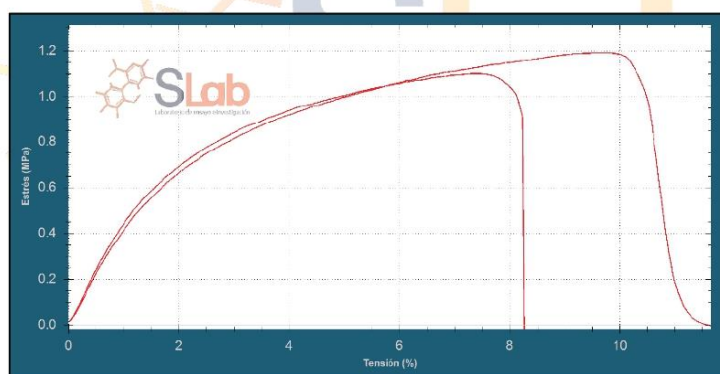


Figura N°2: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5297)

Tabla N°5: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5297	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.390	1.615
			2	1.840	

Tabla N°6: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5297	Elongación	%	1	22.41	24.16
			2	25.90	

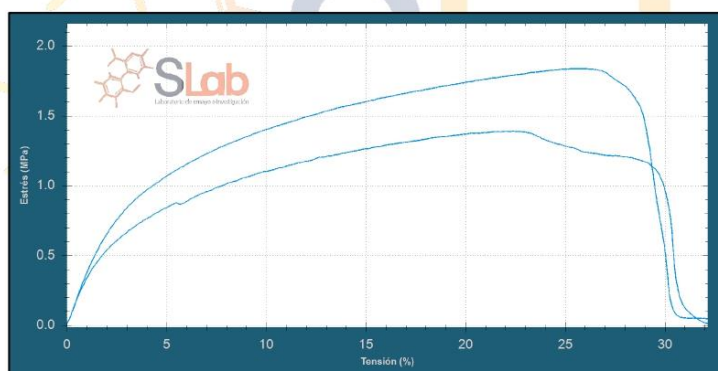


Figura N°3: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.5. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5298)

Tabla N°7: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5298	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.120	1.065
			2	1.010	

Tabla N°8: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5298	Elongación	%	1	13.27	9.72
			2	6.17	

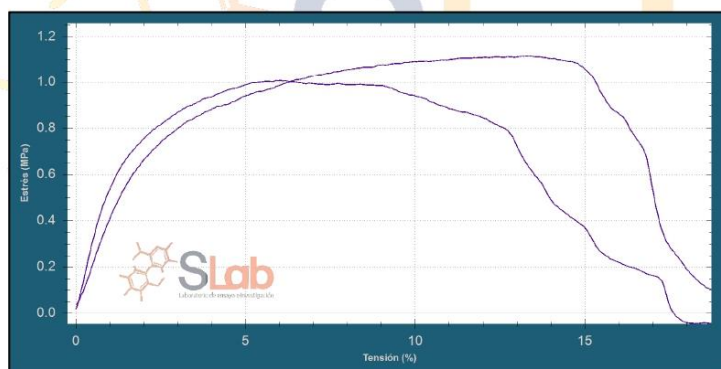


Figura N°4: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.6. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5299)

Tabla N°9: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5299	Resistencia a la Tracción	MPa	1	2.910	2.710
			2	2.510	

Tabla N°10: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5299	Elongación	%	1	14.51	15.64
			2	16.77	

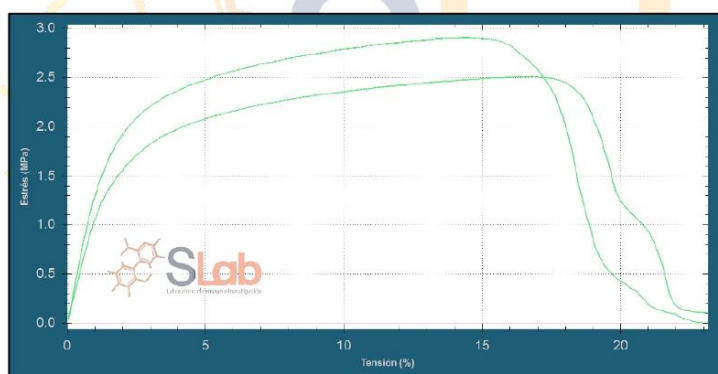


Figura N°5: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.7. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5300)

Tabla N°11: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5300	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.670	1.010
			2	1.350	

Tabla N°12: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5300	Elongación	%	1	4.14	3.15
			2	2.15	

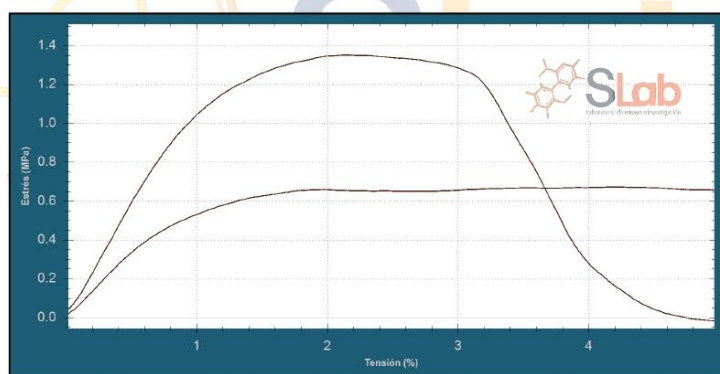


Figura N°6: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.8. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5301)

Tabla N°13: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5301	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.660	0.750
			2	0.840	

Tabla N°14: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5301	Elongación	%	1	5.17	6.94
			2	8.70	

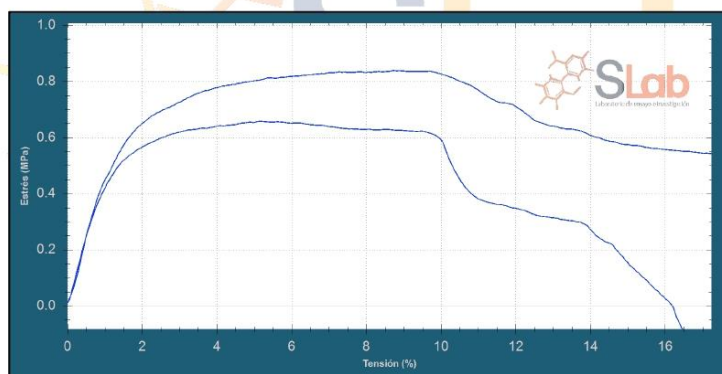


Figura N°7: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.9. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5302)

Tabla N°15: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5302	Resistencia a la Tracción	MPa	1	0.970	1.025
			2	1.080	

Tabla N°16: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5302	Elongación	%	1	9.92	10.26
			2	10.60	



Figura N°8: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5303)

Tabla N°17: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5303	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.620	1.670
			2	1.720	

Tabla N°18: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5303	Elongación	%	1	15.24	12.39
			2	9.54	

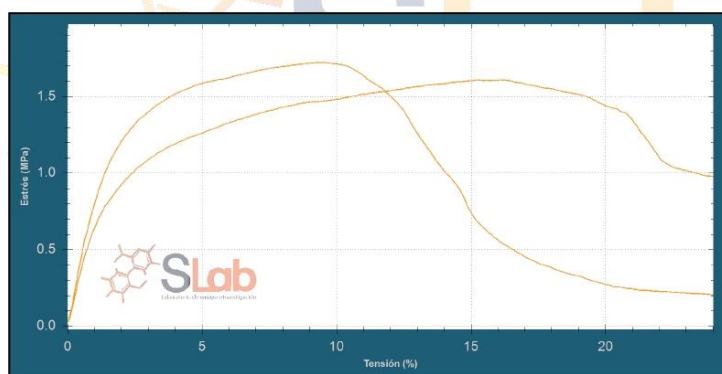


Figura N°9: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.11. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5304)

Tabla N°19: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5304	Resistencia a la Tracción	MPa	1	2.230	2.300
			2	2.370	

Tabla N°20: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5304	Elongación	%	1	10.34	11.97
			2	13.60	



Figura N°10: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

4.12. RESULTADOS OBTENIDOS EN RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION (S-5305)

Tabla N°21: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5305	Resistencia a la Tracción	MPa	1	1.020	1.105
			2	1.190	

Tabla N°22: RESULTADOS OBTENIDOS

Código de Laboratorio	Parámetro	Unidad	Numero de probeta	Resultado	Promedio de Resultado
S-5305	Elongación	%	1	13.09	16.25
			2	19.40	

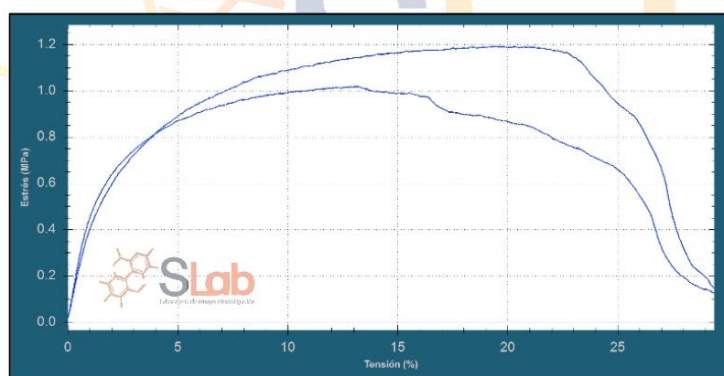


Figura N°11: GRÁFICA CARGA – DESPLAZAMIENTO



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

INFORME DE ENSAYO IE-2024-3267

Leyenda

(c) Información suministrada por el cliente.

- 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.
- 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.



Anexos

Anexo N°1. Método De Prueba Estándar Para Las Propiedades De Tracción De Láminas Delgadas De Plástico

Este método de ensayo permite determinar propiedades de tracción útiles para identificar y caracterizar materiales con fines de control y especificación. Los resultados pueden variar según factores como el espesor, la preparación de la muestra o la velocidad del ensayo, por lo que deben controlarse cuidadosamente. Es importante consultar la especificación del material antes de aplicar el método, ya que pueden existir adaptaciones específicas (ASTM, 2018)

Según MICOM INC, (2023) el procedimiento para la preparación y ensayo de muestras de materiales poliméricos son:

1. Preparación de las Muestras:

- Las muestras deben ser cortadas en forma de tiras rectangulares en relación 1:8.
- Para materiales de este grosor, no se debe emplear la geometría de tipo mancuerna, dado que no es apropiada para este tipo de ensayo.

2. Control de Calidad del Corte:

- Las muestras deben estar libres de muescas, rebabas u otros defectos resultantes del proceso de corte.
- La presencia de dichas imperfecciones puede afectar de manera significativa la reproducibilidad y precisión de los resultados obtenidos durante el ensayo.

3. Condiciones de Ensayo:

- Las pruebas deben realizarse bajo condiciones controladas (23 ± 2 °C) y estandarizadas de: pretratamiento de las muestras, orientación del material, temperatura ambiente, humedad relativa controlada de 50 ± 5 % y velocidad de tracción.

4. Normativa Aplicable:

- Para materiales con un espesor inferior a 1 mm, se debe utilizar como referencia la norma **ASTM D882**.

5. Parámetros experimentales típicos de la norma ASTM D882

- Cantidad de muestras por producto: Se deben analizar cinco (5) muestras por cada tipo de producto evaluado.
- Orientación de las pruebas: En determinadas situaciones, es necesario realizar mediciones tanto en la dirección del flujo del material (dirección de la máquina) como en la dirección transversal, debido a que las propiedades mecánicas pueden diferir significativamente según la orientación. Esta variación se conoce como anisotropía.
- Velocidad del travesaño: Debe establecerse entre 12,5 mm/min y 500 mm/min, en función de la velocidad inicial de deformación.

Anexo N°2. Método De La Prueba Estándar Para La Absorción Del Agua De Plásticos

Este procedimiento establece la forma de determinar la tasa relativa de absorción de agua en plásticos mediante inmersión. Es aplicable a todo tipo de plásticos, incluidos los resinosos fundidos, moldeados en caliente o en frío, así como materiales homogéneos o laminados, en forma de varillas, tubos o láminas con un espesor mínimo de 0,13 mm (0,005 pulgadas) (ASTM, 2023).

Según ASTM, (2023) el procedimiento para la preparación y prueba estándar para la absorción del agua de plasticos:

- Muestra estándar según ISO: Para plásticos homogéneos, la muestra de ensayo debe tener dimensiones de $60 \times 60 \times 1$ mm. Se permite una tolerancia de ± 2 mm en la longitud y anchura, y de $\pm 0,05$ mm en el espesor.
- Cuando se requieran datos comparativos con los valores de absorción de otros plásticos, las muestras deben ser secadas en horno durante 24 horas a una temperatura de 50 ± 3 °C ($122 \pm 5,4$ °F). Posteriormente, deben enfriarse en un desecador y pesarse de inmediato con una precisión de 0,001 g.
- Ensayo de inmersión durante 24 horas: Las muestras acondicionadas se sumergen completamente en agua destilada a 23 ± 1 °C, colocadas de canto. Tras 24 horas ± 30 minutos, se retiran una por una, se secan con un paño y se pesan de inmediato con una precisión de 0,001 g. Si la muestra tiene un espesor igual o inferior a 1/16 de pulgada, debe colocarse en una botella de pesaje inmediatamente después del secado y ser pesada dentro de ella.

Anexo N°3. Características mecánicas a temperatura ambiente de algunos de los polímeros más comunes

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Modulus [GPa (ksi)]</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Elongation at Break (%)</i>
Polyethylene (low density)	0.917–0.932	0.17–0.28 (25–41)	8.3–31.4 (1.2–4.55)	9.0–14.5 (1.3–2.1)	100–650
Polyethylene (high density)	0.952–0.965	1.06–1.09 (155–158)	22.1–31.0 (3.2–4.5)	26.2–33.1 (3.8–4.8)	10–1200
Poly(vinyl chloride)	1.30–1.58	2.4–4.1 (350–600)	40.7–51.7 (5.9–7.5)	40.7–44.8 (5.9–6.5)	40–80
Polytetrafluoroethylene	2.14–2.20	0.40–0.55 (58–80)	20.7–34.5 (3.0–5.0)	—	200–400
Polypropylene	0.90–0.91	1.14–1.55 (165–225)	31–41.4 (4.5–6.0)	31.0–37.2 (4.5–5.4)	100–600
Polystyrene	1.04–1.05	2.28–3.28 (330–475)	35.9–51.7 (5.2–7.5)	—	1.2–2.5
Poly(methyl methacrylate)	1.17–1.20	2.24–3.24 (325–470)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	53.8–73.1 (7.8–10.6)	2.0–5.5
Phenol-formaldehyde	1.24–1.32	2.76–4.83 (400–700)	34.5–62.1 (5.0–9.0)	—	1.5–2.0
Nylon 6,6	1.13–1.15	1.58–3.80 (230–550)	75.9–94.5 (11.0–13.7)	44.8–82.8 (6.5–12)	15–300
Polyester (PET)	1.29–1.40	2.8–4.1 (400–600)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	59.3 (8.6)	30–300
Polycarbonate	1.20	2.38 (345)	62.8–72.4 (9.1–10.5)	62.1 (9.0)	110–150

Fuente. Recuperado de (Callister, Jr., 2007)