



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

“OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADALES”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: GERMAN DAVID HARO CARRILLO

DIRECTORA: Ing. VIOLETA MARICELA DALGO FLORES MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Germán David Haro Carrillo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, GERMÁN DAVID HARO CARRILLO, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2022

Germán David Haro Carrillo
180521260-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **“OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADALES”**, realizado por el señor: **GERMAN DAVID HARO CARRILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-23
Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores MSc. DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2022-03-23
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas Mag. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2022-03-23

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado aquellas personas que han aportado de manera especial a fortalecer y generar conocimientos, y, aquellos que han sido piedra angular y motivación para mí; mi madre Mariana De Jesús Carrillo Ninacuri, mi padre German Heriberto Haro Rivera, así también, mis hermanas Yolanda y Alexandra Haro Carrillo, quienes han sido de gran motivación para alcanzar objetivos de mi vida.

Germán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien ha sido fortaleza en todo momento de mi vida y mi carrera. A mis padres, Germán Haro R. y Mariana De Jesús Carrillo, quienes me inculcaron la persistencia hasta lograr aquello que anhelo. A mis hermanas, quienes estuvieron siempre presentes con un gesto de amor y que me impulsaron en cada etapa que más necesitaba. A mis amigos, Stalin Sarabia, Daniela Quintana y Santiago Aguiar, quienes me brindaron apoyo y su amistad sincera a lo largo de cada semestre. A cada uno de los Docentes de la carrera de Ingeniería Química, quienes fomentaron mis conocimientos muy valiosos para mi vida profesional.

Un Agradecimiento especial a la Dra. Gina Álvarez, quien me dio la mano para poder desarrollar el presente proyecto. A la Ing. Violeta Dalgo, por la guía para desarrollar este trabajo de titulación, desde el principio mostró su buena predisposición, al igual que mi colaborador el Ing. Marco Chuiza, quien, además fue uno de mis profesores aportando de gran manera en mi título por obtener.

Germán

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	2
1.1. Identificación del Problema	2
1.2. Justificación de la Investigación	2
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i>.....	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4. Antecedentes de la Investigación	4
1.5. Marco conceptual	5
1.5.1. <i>Achira (canna edulis)</i>.....	5
1.5.2. <i>Almidón</i>	8
1.5.2.1. <i>Componentes del almidón</i>	8
1.5.2.2. <i>Almidón de Achira</i>.....	10
1.5.2.3. <i>Gelatinización del almidón</i>	10
1.5.2.4. <i>Retrogradación del almidón</i>	10
1.5.2.5. <i>Envases a partir de almidón</i>	11
1.5.3. <i>Bioplástico</i>	11
1.5.4. <i>Plastificante</i>	11
1.5.4.1. <i>Tipos de plastificantes</i>.....	12
1.5.5. <i>Biodegradabilidad</i>	12
1.5.5.1. <i>Métodos para medir biodegradación</i>.....	13

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	14
2.1.	Planteamiento de hipótesis	14
2.1.1.	<i>Hipótesis General</i>	14
2.1.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	14
2.2.	Identificación de variables	14
2.3.	Operacionalización de variables	15
2.4.	Matriz de Consistencia	16
2.5.	Tipo y Diseño de Investigación	18
2.5.1.	<i>Tipo de Investigación</i>	18
2.5.1.1.	<i>Según el objeto a investigar</i>	18
2.5.1.2.	<i>Según el nivel de profundización del objeto de estudio</i>	18
2.5.1.3.	<i>Según la manipulación de variables</i>	18
2.5.1.4.	<i>Según el tipo de inferencia</i>	18
2.5.2.	<i>Diseño experimental de la Investigación</i>	19
2.5.2.1.	<i>Diseño factorial 2²</i>	19
2.6.	Unidad de Análisis	19
2.7.	Población de Estudio	19
2.8.	Tamaño de muestra	19
2.9.	Selección de muestra	20
2.10.	Técnica de recolección de datos	20
2.10.1.	<i>Recolección de datos mediante métodos establecidos</i>	21
2.10.1.1.	<i>Lugar de la Investigación</i>	21
2.10.1.2.	<i>Técnica de extracción del almidón del rizoma de achira verde</i>	21
2.10.1.3.	<i>Métodos de ensayo para caracterización físico química del almidón</i>	24
2.11.	Obtención de Bioplástico	30
2.11.1.	<i>Desarrollo experimental para la obtención de bioplástico</i>	30
2.11.2.	<i>Variables y parámetros tomados en cuenta para la experimentación</i>	30
2.11.3.	<i>Técnica para la producción de bioplástico</i>	31
2.11.4.	<i>Técnica para la producción del envase de almidón de achira verde</i>	33
2.11.5.	<i>Técnicas para la caracterización del bioplástico</i>	34
2.11.6.	<i>Análisis microbiológico</i>	39

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
-----------	--	----

3.1.	Resultados de la caracterización de la materia prima	41
3.1.1.	<i>Propiedades físicas y organolépticas de los rizomas de achira verde</i>	41
3.1.2.	<i>Resultado del rendimiento de la extracción del almidón</i>	42
3.1.3.	<i>Análisis de la varianza del rendimiento de almidón obtenido de achira</i>	44
3.1.3.1.	<i>Prueba de Turkey para los tratamientos de extracción de almidón de achira</i>	44
3.1.4.	Resultados de los Ensayos Físicoquímicos del almidón de achira	46
3.1.4.1.	<i>Contenido de Amilosa y Amilopectina en el almidón del rizoma de achira verde</i>	46
3.1.4.2.	<i>Distribución del tamaño de gránulo</i>	47
3.1.4.3.	<i>Temperatura de Gelatinización</i>	47
3.1.4.4.	<i>Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de de Hinchamiento (PH)</i>	48
3.1.4.5.	<i>Determinación de pH</i>	50
3.1.4.6.	<i>Substancias Reductoras</i>	50
3.1.4.7.	<i>Contenido de humedad y materia seca</i>	51
3.1.4.8.	<i>Residuos por calcinación</i>	52
3.1.4.9.	<i>Sensibilidad</i>	52
3.1.3.8.	<i>Viscosidad Brookfield</i>	53
3.1.4.10.	<i>Análisis microbiológicos del almidón de achira</i>	53
3.2.	Resultados de la elaboración del bioplástico	54
3.2.1.	<i>Análisis sensorial del bioplástico</i>	55
3.2.2.	<i>Análisis de validación de las biopelículas plásticas</i>	58
3.2.2.1.	<i>Cálculo del porcentaje de humedad</i>	58
3.2.2.2.	<i>Cálculo del porcentaje de solubilidad</i>	59
3.2.2.3.	<i>Cálculo de la velocidad de transmisión de vapor (WVTR)</i>	60
3.2.2.4.	<i>Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua (PVA)</i>	60
3.2.2.5.	<i>Resultados del ensayo de Espesor</i>	62
3.2.2.6.	<i>Resultados del ensayo de Permeabilidad</i>	63
3.2.2.7.	<i>Resultados del Ensayo de tracción</i>	63
3.2.2.8.	<i>Resultados del análisis de espectroscopia infrarroja (IR)</i>	64
3.2.3.	Biodegradabilidad del bioplástico	65
3.2.3.1.	<i>Biodegradabilidad en el agua</i>	65
3.2.3.2.	<i>Biodegradabilidad anaerobia</i>	67
3.2.3.3.	<i>Biodegradabilidad en el aire</i>	68
3.2.4.	Análisis Microbiológicos del Bioplástico	69
3.3.	Resultados de formulaciones preliminares a la obtención del envase a partir de rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>)	71
3.3.1.	<i>Análisis sensorial de los envases biodegradables</i>	73

3.3.2.	<i>Aplicación de los envases biodegradables</i>	73
3.3.2.1.	<i>Tiempo de vida útil del envase obtenido con mejores propiedades</i>	75
3.4.	Prueba de Hipótesis	75
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		80
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Descripción taxonómica de la achira (<i>canna edulis</i>).....	7
Tabla 2-1:	Características morfológicas de la achira verde (<i>canna edulis</i>).	7
Tabla 3-1:	Composición de la Achira.	8
Tabla 4-1:	Composición nutricional del almidón de Achira.	8
Tabla 1-2:	Identificación de variables.....	14
Tabla 3-2:	Matriz de Consistencia.	16
Tabla 4-2:	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	20
Tabla 5-2:	Técnica de extracción de almidón de achira.....	23
Tabla 6-2:	Caracterización del almidón extraído según la norma ecuatoriana INEN 1456... ..	24
Tabla 7-2:	Temperatura de gelatinización para el almidón de achira.	27
Tabla 8-2:	Viscosidad para el almidón de achira.....	27
Tabla 9-2:	Contenido de humedad y materia seca para el almidón de achira.....	28
Tabla 10-2:	Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.....	28
Tabla 11-2:	Parámetros para la elaboración de bioplásticos finales.	30
Tabla 12-2:	Diseño factorial 2 ^k para la obtención del bioplástico a partir de almidón de achira.....	30
Tabla 13-2:	Elaboración de bioplástico de almidón de achira verde (<i>Canna edulis</i>).....	32
Tabla 14-2:	Técnica de obtención de un envase a partir de almidón de achira verde (<i>canna edulis</i>).....	34
Tabla 15-2:	Ensayos de caracterización de los bioplásticos.	34
Tabla 16-2:	Ensayos microbiológicos.....	39
Tabla 1-3:	Características físicas del rizoma de achira.	41
Tabla 3-3:	Variables utilizadas para la extracción de almidón.	42
Tabla 4-3:	Resultados del rendimiento de la extracción del almidón de Achira.....	43
Tabla 5-3:	Análisis de varianza del rendimiento obtenido del almidón de achira.	44
Tabla 6-3:	HSD para el almidón de achira.....	44
Tabla 7-3:	Prueba de Tukey para los rendimientos de almidón de achira.	45
Tabla 8-3:	Análisis de las medias de los rendimientos del almidón de achira.....	45
Tabla 9-3:	Análisis físico químico del almidón de achira verde (<i>Canna edulis</i>).....	46
Tabla 10-3:	Resultados de distribución del tamaño de gránulo del almidón del rizoma de achira verde.	47
Tabla 11-3:	Temperatura de gelatinización del almidón del rizoma de achira verde	48
Tabla 12-3:	Datos para los cálculos de ISA, IAA y Poder de Hinchamiento	48

Tabla 13-3:	Resultados para el Índice de Absorción de Agua (IAA).	49
Tabla 14-3:	Resultados para el Índice de Solubilidad en Agua (ISA).	49
Tabla 15-3:	Resultados del Poder de Hinchamiento (PH).	50
Tabla 16-3:	Resultados de pH.	50
Tabla 17-3:	Resultados de Sustancias Reductor.	50
Tabla 18-3:	Resultados obtenidos de humedad y materia seca del almidón.	51
Tabla 19-3:	Resultados obtenidos del contenido de ceniza del almidón.	52
Tabla 20-3:	Resultados para la Sensibilidad de almidones.	52
Tabla 21-3:	Resultados de Viscosidad Brookfield.	53
Tabla 22-3:	Resultados microbiológicos del almidón de achira.	54
Tabla 23-3:	Cantidades utilizadas en la elaboración de las láminas de bioplástico.	54
Tabla 24-3:	Ensayos de las biopelículas a partir de almidón de achira verde.	55
Tabla 25-3:	Análisis Sensorial de las biopelículas a partir del almidón de achira verde.	56
Tabla 26-3:	Análisis sensorial de los bioplásticos obtenidos a partir del almidón del rizoma de achira verde (<i>Canna edulis</i>)	57
Tabla 27-3:	Resultados del porcentaje de humedad.	58
Tabla 28-3:	Resultados para Solubilidad.	59
Tabla 29-3:	Resultados de la velocidad de transmisión de vapor.	60
Tabla 30-3:	Resultados de la permeabilidad al vapor de agua.	61
Tabla 31-3:	Resultados del espesor de las bioplástico.	62
Tabla 32-3:	Datos para calcular la permeabilidad de las bioplástico.	63
Tabla 33-3:	Resultados de los ensayos de tracción.	63
Tabla 34-3:	Lectura del análisis de espectroscopia infrarroja de la lámina.	64
Tabla 35-3:	Resultados de biodegradabilidad en el agua.	66
Tabla 36-3:	Resultados biodegradabilidad en agua por pérdida de área.	66
Tabla 37-3:	Resultados de la biodegradación del biomaterial en el suelo.	67
Tabla 38-3:	Resultados de biodegradabilidad en tierra.	68
Tabla 40-3:	Resultados de biodegradabilidad en el aire.	69
Tabla 41-3:	Resultados de los análisis microbiológicos del Bioplástico.	70
Tabla 42-3:	Resultados de formulaciones preliminares a la obtención de envases.	71
Tabla 43-3:	Resultados de formulaciones de envases.	72
Tabla 44-3:	Estabilidad del envase con diferentes muestras.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Achira (<i>Canna Edulis</i>).	6
Figura 2-1. Rizomas de Achira.	6
Figura 3-1. Esquema de la amilosa.	9
Figura 4-1. Esquema de la amilopectina.	10
Figura 1-3. Diferencias de las medias de la variable respuesta.	46
Figura 2-3. IR de las láminas de bioplástico de las cuatro formulaciones.	46
Figura 3-3. Prueba piloto del bioplástico de achira verde (<i>Canna edulis</i>).	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1.	Polímeros procedentes de fuentes renovables.	11
Gráfico 1-2.	Selección de la muestra.	20
Gráfico 2-2.	Diagrama de bloques para la obtención de almidón de rizomas de achira verde (<i>canna edulis</i>).....	22
Gráfico 3-2.	Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico a partir del almidón de achira verde.....	31
Gráfico 4-2.	Diagrama de flujo para producir un envase a partir de almidón de achira verde.	33

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Porcentaje de residuo por calcinación.	24
Ecuación 2-2:	Porcentaje de humedad.	28
Ecuación 3-2:	Porcentaje de materia seca.	28
Ecuación 4-2:	Índice de absorción de agua.	28
Ecuación 5-2:	Índice de solubilidad en agua.	28
Ecuación 6-2:	Poder de hinchamiento.	28
Ecuación 7-2:	Solubilidad en agua.	36
Ecuación 8-2:	Velocidad de transmisión de vapor de agua.	36
Ecuación 9-2:	Permeabilidad al vapor de agua.	37
Ecuación 1-3:	Porcentaje de rendimiento del almidón.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** EXTRACCION DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*) POR EL MÉTODO VÍA HÚMEDA.
- ANEXO B:** ANALISIS PROXIMAL DEL ALMIDON DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).
- ANEXO C:** ANALISIS PREVIOS A LA OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).
- ANEXO D:** OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).
- ANEXO E:** PRUEBAS REALIZADAS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).
- ANEXO F:** ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)
- ANEXO G:** PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ENVASE DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE
- ANEXO H:** ENSAYOS DE AMILOSA REALIZADOS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)
- ANEXO I:** ENSAYOS MECANICOS DEL BIOPLASTICO
- ANEXO J:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE.
- ANEXO K:** ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue obtener bioplástico a partir del almidón del rizoma de achira verde (*canna edulis*) para utilizarlo en la producción de envases alimentarios biodegradables. Para el efecto, se aplicó el diseño factorial 2k, tanto en la etapa de extracción del almidón como en la etapa de formulación del polímero biodegradable. El almidón se extrajo por vía húmeda mediante cuatro tratamientos con cuatro repeticiones cada uno, empleando tiempos de trituración de 30 y 60 segundos y una velocidad de licuado de 6800 y 18000 rpm. Se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del almidón, en base a la NTE INEN 1456, para determinar su nivel de calidad y la capacidad de formar un polímero. El bioplástico se obtuvo mediante el ensayo de cuatro formulaciones, donde se varió la composición del almidón y de la glicerina, manteniendo constantes las proporciones de agua destilada, ácido acético y alcohol polivinílico (PVA). Se caracterizó el bioplástico y la mejor formulación se destinó a producir el envase de uso alimentario, además, se sometió a pruebas de biodegradabilidad. El almidón con mayor rendimiento (8,57%) fue el T4, mismo que, presentó excelentes características organolépticas, ausencia de microorganismos y alto contenido de amilosa y amilopectina (58,38% y 41,62%), necesarias para la formación del polímero. El bioplástico con mejor resistencia mecánica (29,68% de elongación) fue el F3, el cual mostró buena transparencia, gran facilidad de moldeo, flexibilidad y firmeza; resultando idóneo para la elaboración de los envases alimenticios. El ensayo de biodegradabilidad determinó que, el bioplástico se descompone en un 63,68% a los 28 días de ser expuesto en el suelo. En conclusión, el bioplástico elaborado con almidón de rizomas de achira cumple con los requisitos para envases biodegradables según la Norma EN 13432. Se recomienda emplear toda la planta de achira en la producción de películas bioplásticas.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <BIOPLÁSTICOS>, <ALMIDÓN>, <RIZOMA>, <ACHIRA VERDE (*canna edulis*)>, <ENVASE BIODEGRADABLE>, <BIODEGRADABILIDAD>.



SUMMARY

The objective of this research consisted of obtaining a bioplastic from the starch of the green achira rhizome (*canna edulis*) to be used in the production of biodegradable food packaging. For this purpose, a 2k factorial design was applied, both in the starch extraction stage and in the formulation stage of the biodegradable polymer. Starch was extracted using the wet way through four treatments with four replicates each, using crushing times of 30 and 60 seconds and a liquefaction speed of 6800 and 18000 rpm. The physicochemical and microbiological analysis of the starch was carried out, based on NTE INEN 1456, to determine its quality level and capacity to form a polymer. The bioplastic was obtained by testing four formulations, where the composition of starch and glycerin was varied, keeping the proportions of distilled water, acetic acid and polyvinyl alcohol (PVA) constant. The bioplastic was characterized and the best formulation was used to produce the food packaging and tested for biodegradability. The starch with the highest yield (8.57%) was T4, which showed excellent organoleptic characteristics, absence of microorganisms and high amylose and amylopectin content (58.38% and 41.62%), necessary for polymer formation. The bioplastic with the best mechanical strength (29.68% elongation) was F3, which showed good transparency, high mouldability, flexibility and firmness, making it suitable for food packaging. The biodegradability test determined that the bioplastic decomposes 63.68% after 28 days of exposure to soil. It is concluded that the bioplastic made from achira rhizome starch meets the requirements for biodegradable packaging according to EN 13432. It is recommended to use the whole achira plant in the production of bioplastic films.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <BIOPLASTICS>, <STARCH>, <RIZOMA>, <GREEN ACHIRA (*canna edulis*)>, <BIODEGRADABLE PACKAGING>, <BIODEGRADABILITY>.

ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.07.26
21:21:38 -05'00'

INTRODUCCIÓN

El plástico se encuentra en todas partes; en el aire, agua y suelo. Lo que lo hace útil, es exactamente lo que lo hace perjudicial pues está diseñado para engañar a la naturaleza misma, ya que está sintetizado de cadenas moleculares demasiado resistentes para biodegradarse en un periodo admisible. De hecho, la degradación del plástico tiene efectos adversos sobre la misma naturaleza y sobre la especie humana.

Las personas estamos contaminadas con plástico, y no solo indirectamente por los peces que comemos tras estos haber ingerido plástico. Sino que además éste contamina de una u otra forma durante cada etapa de su ciclo vital, desde la extracción del petróleo, durante los procesos de producción, hasta que su vida termina, es decir, cuando los residuos plásticos son arrojados, enterrados, reutilizados o quemados (Parker, 2017, párr.3).

El uso y la producción de plásticos ha aumentado de manera exponencial en los últimos años, de manera que, para el año 2019 se registró una producción global de 368 millones de toneladas, un 2,51% más que en el año 2018 (Statista, 2022, párr.1). El mercado generalmente es controlado por grandes corporaciones multinacionales que en conjunto están invirtiendo alrededor de 200 mil millones de dólares para producir más petroquímicos destinados a la producción de plástico (Boll, 2019, p.8).

En la actualidad se buscan alternativas para sustituir los materiales plásticos, una de ellas es la elaboración de bioplásticos a partir del almidón de ciertas plantas, y con amplio campo de aplicación como envases o embalajes, estos tienen la capacidad de degradarse con mayor facilidad en el ambiente. Es por ello que el presente proyecto de investigación plantea la obtención de bioplásticos empleando almidón de los rizomas de achira verde, una fuente rica y reconocida de este compuesto, para elaborar biofilms de uso alimentario.

Para llevar a cabo la investigación, el trabajo se ha estructurado en 3 capítulos. En el primero denominado “Marco Teórico Referencial”, se identifica y justifica la obtención del bioplástico, se plantean los objetivos, antecedentes históricos y precisiones teórico-conceptuales de la materia prima y el producto. En el segundo, “Marco Metodológico” se puntualizan las hipótesis y variables de estudio; y se detallan los métodos y técnicas que se aplicaron para obtener el producto de interés. Finalmente, en el tercer capítulo “Resultados y discusión de los resultados” se exponen los resultados alcanzados con su respectivo análisis y comentario de acuerdo con estudios previos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Identificación del Problema

La contaminación causada por residuos plásticos afecta de manera desmedida al medio ambiente y a los seres vivos que lo integran, incluido el ser humano. Jenna Jambeck, docente de la Universidad de Georgia, menciona que la mayor parte de los plásticos comerciales no son biodegradables y su lenta degradación toma al menos cientos o miles de años, representando un problema medioambiental de interés (El Telégrafo, 2017, párr.5).

Se estima que al año cerca de 8 millones de toneladas de plástico terminan en los océanos, como producto de la mala disposición final de los mismos, amenazando la vida marina y por consiguiente la salud humana pues entran en la cadena alimentaria (El Tiempo, 2019, párr.1).

De acuerdo con datos de Las Naciones Unidas, en América Latina y el Caribe, la tercera parte de los residuos generados terminan en vertederos abiertos o en la naturaleza, de los cuales 145 mil toneladas corresponden a plásticos (Sánchez, 2019, párr.4). En Ecuador, solo la capital produce alrededor de 277,35 toneladas de residuos plásticos al día, donde tan solo alrededor de 75,06 toneladas son recicladas al año (Medina, 2018, párr.1-5).

A raíz de esta problemática, en los últimos años se ha planteado varias soluciones para reducir la acumulación de plástico en el medio ambiente, entre las cuales se encuentran el reciclaje, la reutilización, la pirolisis, la gasificación, entre otras (Mancheno et al., 2016, p.61). Sin embargo, esto no es suficiente debido a que pocas personas clasifican los desechos como tal, además el costo de operación y recolección suele ser alto.

Es por eso que se ha optado por evaluar nuevos biomateriales que puedan sustituir a los plásticos, tal es el caso del bioplástico a base de almidón, el cual es un carbohidrato formado por gránulos compuestos por dos polímeros (amilosa y amilopectina) los cuales tiene alto potencial de formar películas biodegradables (Encalada, 2016, p.3).

En este sentido, la presente investigación pretende sintetizar plástico biodegradable a partir del almidón presente en los rizomas de la achira verde, una planta de cultivo muy fácil (renovable) y rica en almidón de excelente calidad, que brinde las propiedades adecuadas al producto.

1.2. Justificación de la Investigación

La producción de plástico sintético derivado de compuestos obtenidos en la industria petroquímica y su mal manejo como desecho, causan ciertos daños a ecosistemas marinos y terrestres; estos residuos sólidos por lo general terminan en rellenos sanitarios o en forma de micro

partículas en los océanos y el aire. La mayoría de productos plásticos tienen una larga permanencia en el medio ambiente debido a su lenta o escasa degradabilidad, pues no se oxidan ni se descomponen al pasar el tiempo como el papel, las fibras naturales o incluso el metal (Encalada, 2016, p.23).

Los materiales de estructura polimérica son importantes en la industria debido a su resistencia, ligereza y versatilidad si se los compara con otros materiales como metales o cerámicas, por tanto, se ha visto la necesidad de desarrollar materiales con fácil degradación en el medio ambiente, mediante la utilización de materias primas biodegradables de bajo costo (Hu, 2014, p.239). Este es el caso del almidón vegetal, considerado un recurso natural y renovable.

El almidón al estar compuesto por amilosa y amilopectina que son polímeros constituidos a su vez por enlaces glucosídicos, capaces de formar películas elásticas debido a su naturaleza gelatinosa, en mezcla con polivinilo alcohol y fibras orgánicas, son capaces de producir bioplástico de gran resistencia y buena degradabilidad (Encalada, 2016, p.8).

El objetivo primordial de los bioplásticos es reemplazar a los plásticos convencionales, con la finalidad de reducir el impacto ambiental que estos últimos generan al concluir su vida útil y continuar brindando a la sociedad materiales útiles y versátiles.

En consecuencia, a lo descrito anteriormente se justifica la realización de la presente investigación como una contribución al avance tecnológico en el ámbito de la ingeniería de los plásticos biodegradables a partir de almidón de rizomas de achira verde. Esta, es una planta que se encuentra en la región andina de cultivo, genera un bajo desgaste al suelo y es relativamente fácil de cultivar. Además, el bioplástico que se planea producir debe tener buena termoplasticidad a partir del polímero natural, pues será destinado a elaborar envases alimentarios, para lo cual, se debe evaluar correctamente los porcentajes de cada componente a emplear y las características relevantes de la principal materia prima.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Obtener bioplástico a partir del almidón del rizoma de achira verde (*canna edulis*) para producción de envases alimentarios biodegradables.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el almidón extraído del rizoma de la achira en base a la Norma NTE INEN 1456 para obtención de bioplástico.

- Sintetizar bioplástico a partir del almidón del rizoma de la achira verde utilizando una formulación específica.
- Determinar la calidad del bioplástico del almidón del rizoma de achira verde mediante el análisis de sus propiedades físico-químicas y mecánicas.
- Valorar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido en base a la norma EN 13432 con el fin de analizar el tiempo de descomposición y su utilidad como envases alimentarios desechables.

1.4. Antecedentes de la Investigación

La presente investigación se basó en los siguientes trabajos relacionados con la obtención de plásticos biodegradables a partir de polímeros derivados de recursos renovables.

“Elaboración de recipientes biodegradables a partir de residuos de caña de azúcar (*saccharum officinarum*): planta piloto”

López et al. (2017, pp.1-5), mencionan que su estudio consintió en evidenciar que es posible la obtención de celulosa a mayor escala (planta piloto) a partir de los residuos agroindustriales (paja) de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), obteniendo el 50% de rendimiento de fibra pretratada y mediante un tratamiento químico de hidrólisis ácida y blanqueamiento se obtuvo un rendimiento del 34% de celulosa final.

“Características de los bioplásticos compuestos de almidón de tapioca y fibra de bagazo de caña de azúcar”

Asrofi et al. (2020, p.87), fabricaron bioplásticos compuestos a partir de materiales ecológicos, como la fécula de maíz y la fibra de bagazo de caña de azúcar (SBF). Esta última sirve de refuerzo estructural para el bioplástico compuesto y se añadió en un 1% en peso (a partir del peso seco de la base de almidón), manteniendo constante para cada variación de la muestra. Utilizaron el método de fundición en solución y la variación en refuerzo del bioplástico obtuvo una mejora notable.

“Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cáscaras de papa para su aplicación industrial”

Guamán (2018, pp.22-86), describe que el resultado óptimo obtenido fue aquel que tuvo una pérdida de peso de 99,89% en medio aerobio, y por otra parte en medio aerobio fue de 99,61%. El bioplástico obtenido con mejor puntuación en el análisis sensorial fue aquel elaborado a partir de la formulación número uno cuyos valores son: 3,95% de glicerina y ácido acético, 13,16% de almidón y 78,95% de agua destilada. La relación en este caso es el método de obtención de almidón, además los análisis que se realizan por medio aerobio y anaerobio mediante la pérdida de peso.

“Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales”

Espina et al. (2016, pp.14-19), dicen que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de las fibras naturales obtenidas de residuos agroindustriales en la densidad, el gramaje y las propiedades mecánicas de las espumas termoprensadas elaboradas de almidón de especies nativas, como lo son el camote, la oca y la arracacha. Las bandejas elaboradas por termopresión a base de almidón de camote-fibra de bagazo de caña de azúcar al 15%, y de almidón de arracacha-fibra peladilla de espárrago al 30% presentaron mayores valores en resistencia a la flexión frente a las elaboradas con otros tipos de almidones y fibras, incluyendo a pruebas en blanco.

Analizando este caso es semejante en buscar una consistencia adecuada como parte sensorial el cual se lo puede medir mediante propiedades mecánicas.

“Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón”

Narváez (2016, pp.8-26), menciona que su objetivo fue desarrollar un método para la elaboración de bioplásticos en película a partir de almidones comerciales. Se utilizó un diseño de experimentos con quince variables donde se manipularon la cantidad de glicerina y el valor de pH, realizándose cinco repeticiones de cada experimento. Posteriormente, se estudió la influencia de estas variables sobre las propiedades mecánicas de los biopolímeros elaborados. Se analizaron las siguientes propiedades mecánicas: módulo de elasticidad [MPa], esfuerzo último [MPa] y elongación [%]. Finalmente, se realizó una comparación entre las propiedades mecánicas de los bioplásticos y las propiedades mecánicas de tres diferentes plásticos derivados de petróleo obteniendo como resultado que la variación del porcentaje de elongación se ve afectada al cambiar el porcentaje de glicerina.

Analizados cada uno de los casos de investigación cuyo fundamento radica en la elaboración de un bioplástico es evidente la factibilidad de llevar a cabo la investigación propuesta “OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADALES”.

1.5. Marco conceptual

1.5.1. Achira (*canna edulis*)

La Achira (*canna edulis*), forma parte del reino vegetal, de la familia de las cannáceas, especie nativa de la región Andina, que puede alcanzar hasta los dos metros de altura, se cultiva en valles cálidos y templados, es utilizada como alimento, extrayendo el almidón de sus raíces, y como forraje (Cartay, 2020, párr.3-14).

Se caracteriza por ser una herbácea robusta de hojas alternas y en su base una larga vaina que envuelve el tallo, se la denomina también como Capacho o Caña de India que se cultivaba principalmente en Perú. La achira, es una monocotiledónea perenne, originaria de los trópicos americanos y muy probable que haya sido adaptada en regiones andinas, que se distribuye desde México hasta Chile (Morejón, 2012, p.4).



Figura 1-1. Achira (*Canna Edulis*).

Fuente: Bol de cereales, 2022.

Los rizomas miden aproximadamente de 3 a 12 cm de ancho y entre 5 a 20 cm de alto, presentan cortas raicillas cilíndricas en su parte inferior y un pseudotallo en su ápice, al igual que en el vástago floral y las hojas de la planta (Bol de cereales, 2022, párr.10-11).



Figura 2-1. Rizomas de Achira.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.





Tabla 1-1: Descripción taxonómica de la achira (*canna edulis*).

TAXONOMÍA	
Reino:	Plantae
Subreino:	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión:	Spermatophyta (plantas con semillas)
División:	Angiospermae
Clase:	Liliopsida (monocotiledóneas)
Subclase:	Zingiberidae
Orden:	Escitamiéas
Familia:	Cannaceae
Género:	<i>Canna</i>
Especie:	<i>C. edulis</i>

Fuente: Idrovo, 2010, p.25.; Von, 2014, párr.5-6.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 2-1: Características morfológicas de la achira verde (*canna edulis*).

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS			
Planta	Hojas	Flor	Tubérculos
Es una planta de crecimiento recto, que puede llegar a tener una altura de 3 metros.	El número de hojas en el tallo fluctúa entre 17 a 19 hojas, son lisas y la longitud de las varía entre 10 y 40 cm con un ancho de 9 y 25 cm.	Su flor se caracteriza por ser anaranjada con puntos rojos intensos. Los días de floración van de 36 a 45 días.	Sus rizomas pueden llegar a medir de 30 a 35 cm de longitud y de 20 a 30 cm de diámetro cuando están en su punto de cosecha.
			

Fuente: Jurado, 1997, pp.37-40.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 3-1: Composición de la Achira.

Composición de la achira verde	
Almidón	8,57
Amilosa	58,38
Amilopectina	41,62

Fuente: INIAP, 2021.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 4-1: Composición nutricional del almidón de Achira.

Composición del almidón de Achira (100g)		
Valor energético	cal	101,00
Humedad	%	66,80
Proteína	g	1,40
Carbohidratos totales	g	31,30
Fibra	g	0,50
Cenizas	g	0,90

Fuente: Arcos, 2015, pp.21-24.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

1.5.2. Almidón

El almidón también conocido como fécula es un compuesto de color blanco, insípido e inodoro que se obtiene principalmente de los cereales y algunos tubérculos como la papa, se encuentra formado aproximadamente de un 25 % de amilosa y un 75 % de amilopectina. Además, es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas. La gran diversidad de sus características y propiedades funcionales le permite ser usado en una amplia gama de industrias como la alimenticia para la elaboración de pan, coladas, salsas, dulces, gomas, productos enlatados, entre otros; también se utiliza en la industria farmacéutica, cosmetológica, textil, de adhesivos, papelería y producción de alcoholes (CORPOICA & PRONATTA, 2003, pp.24-26).

1.5.2.1. Componentes del almidón

El almidón está constituido por unidades de glucosa dispuestas en dos componentes: amilosa y amilopectina; su proporción varía de un tipo a otro según sea su fuente. Estas macromoléculas se caracterizan por su grado de polimerización o ramificación lo cual afecta su comportamiento frente a los procesos de degradación. El contenido de amilosa y el grado de polimerización - número total de residuos anhidroglucosa presentes dividido por el número de terminales reducidos son importantes en la determinación de las propiedades físicas, químicas y funcionales del

almidón. Por ejemplo, el tamaño de los gránulos del almidón muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.33).

➤ *Amilosa*

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa, unidas por enlaces α (1-4); constituye entre el 15% al 20% de almidón, considerada una molécula ramificada más grande, constituida por varios anillos de glucosa unidos entre sí para formar largas moléculas sin ramificaciones. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Hernández, 2008, p.718).

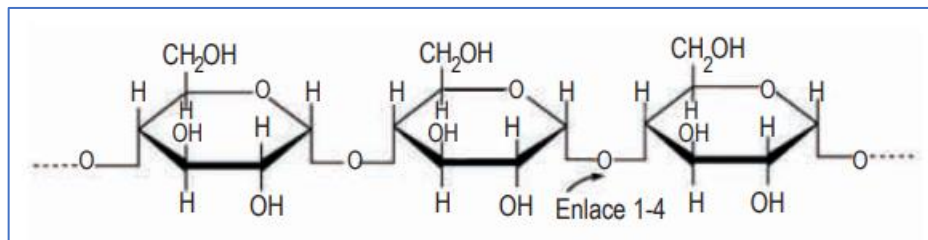


Figura 3-1. Esquema de la amilosa.

Fuente: Aristizábal & Sánchez, 2007, p.33.

➤ *Amilopectina*

Es un polímero ramificado desarrollado por cadenas lineales constituidas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 4). Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) que forman los puntos de ramificación. La amilopectina tiene 5-6 por ciento de enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) y está constituida de alrededor de 100 000 moléculas de glucosa, permite formar una estructura más compacta, menos susceptible a hidrólisis enzimática (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.34). La gran dimensión y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse muy estrechamente para permitir niveles simbólicos de enlaces de hidrógeno. Como resultado, los soles o soluciones acuosas de amilopectina se determinan por su claridad y estabilidad como medida de la resistencia a gelificarse durante el almacenamiento (Aristizábal & Sánchez, 2007, pp.34-35).

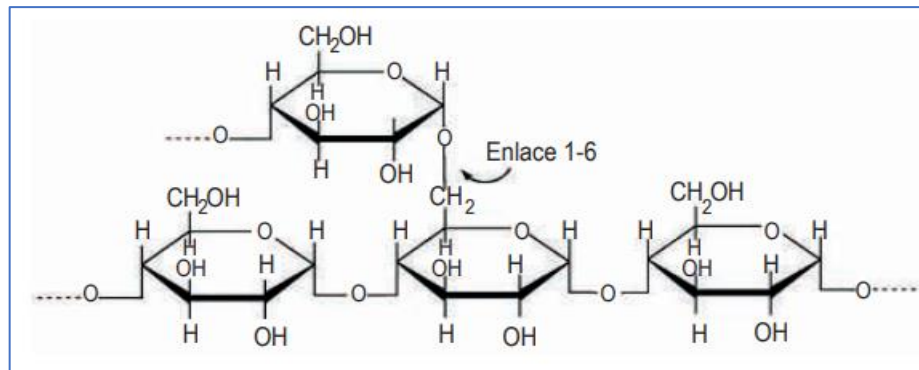


Figura 4-1. Esquema de la amilopectina.

Fuente: Aristizábal & Sánchez, 2007, p.34.

1.5.2.2. Almidón de Achira

El almidón de achira extraído de los rizomas de la planta es uno de los que mayor rendimiento tienen por hectárea, se debe considerar la edad de la planta, su estado de madurez puesto que una planta que tenga 12 meses de haber sido sembrada presenta una mayor cantidad de almidón. Es caracterizado por su rápida velocidad de sedimentación debido a su mayor tamaño de partícula, su forma es ovoide de apariencia transparente y sin color propio (Morejón, 2012, p.5).

1.5.2.3. Gelatinización del almidón

De acuerdo con Yaruro (2018, pp. 14-15), los almidones al poseer estructura semi cristalina no son solubles en agua, además no pueden hincharse, sin embargo, al someterse a ciertas temperaturas, mayores a los 60 °C, estos gránulos comienzan a hincharse hasta expandirse alcanzando su punto máximo de 66 a 77 °C. La gelatinización es a lo mejor la transición más significativa del almidón, es una transición de orden-desorden que sufren los polímeros del almidón (Acuña, 2012, p.8).

1.5.2.4. Retrogradación del almidón

Se refiere a insolubilización y precipitación voluntaria de la amilosa debido a que sus cadenas lineales están ordenadas de manera análoga por puentes de hidrogeno. La retrogradación se da por dos vías basadas en la concentración de amilosa y la temperatura aplicada, la primera que es rápida ocurre cuando se calienta la disolución condensada de amilosa, la cual se humedece velozmente a temperatura ambiente con la consiguiente formación de un gel endurecido y transformable. La segunda que es lenta ocurre cuando la disolución diluida se transforma en opaca precipitándose luego de caldearse, se enfría paulatinamente a temperatura ambiente (Guamán, 2018, p.17).

1.5.2.5. Envases a partir de almidón

Los envases a partir de almidón se caracterizan por su flexibilidad y excelente barrera física entre el entorno y el alimento, son utilizados para fabricar bolsas, para envasar frutas, verduras y hortalizas, debido a la baja permeabilidad al vapor los productos envasados se conservan por más tiempo, la mayor ventaja de este tipo de envases es que se pueden compostar junto con el producto envasado, sin necesidad de que exista un proceso de separación (Montes et al., 2017, pp.57-59).

1.5.3. Bioplástico

El bioplástico es un material biodegradable sustituto del plástico convencional, su obtención principalmente es a partir de recursos renovables, en algunos de los casos puede adquirir ciertas particularidades de plásticos obtenidos del petróleo (Rodríguez, 2012, p.70).

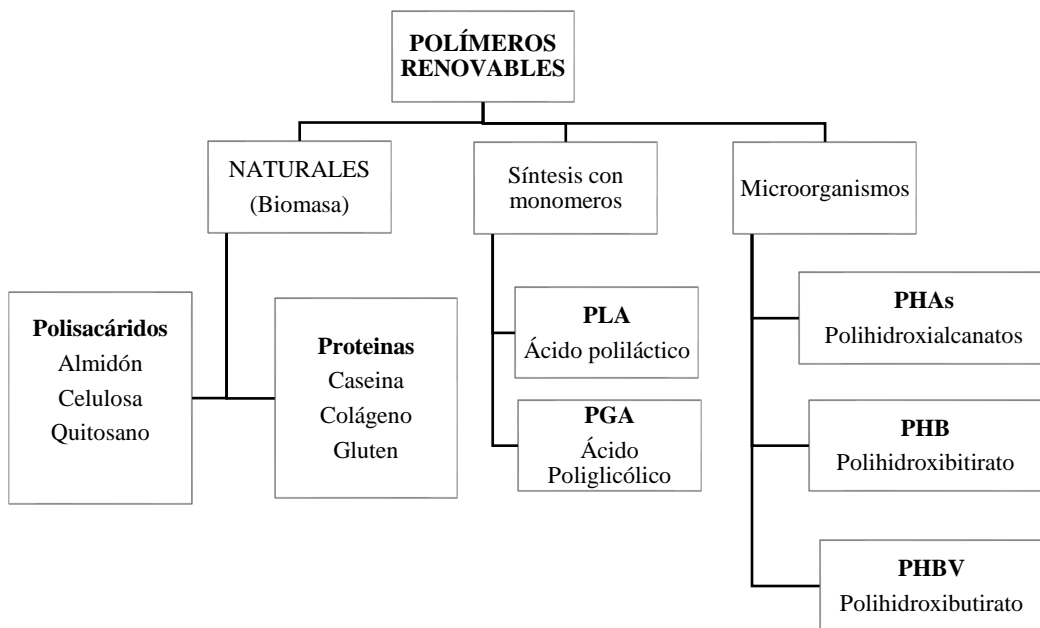


Gráfico 1-1. Polímeros procedentes de fuentes renovables.

Fuente: Guamán, 2018, p.18.

1.5.4. Plastificante

Según la normativa ASTM D883, un plastificante es un elemento que se le añade al plástico con la finalidad de mejorar su proceso y flexibilidad. Al agregar cualquier tipo de plastificante se produce una disminución de la viscosidad, elasticidad y por consiguiente su temperatura de transformación (Charro, 2015, p.17).

1.5.4.1. Tipos de plastificantes

➤ *Agua destilada*

Es aquella agua que se encuentra libre de impurezas tales como sales minerales, las cuales pueden afectar la estructura de un material como un polímero biodegradable al ser agregada a su formulación, es usada como un plastificante. Su finalidad es conseguir la desintegración estructural del almidón generada durante el proceso de mezcla hasta llegar a obtener almidones termoplásticos (Charro, 2015, p.18).

Este tipo de plastificante suele ser el más utilizado por ser altamente económico y abundante, además de que brinda mejores propiedades mecánicas al plástico. Gracias a las propiedades que proporciona el agua destilada es usada en varias industrias tales como cosmética, limpieza, química y alimenticia (Charro, 2015, p.18).

➤ *Ácido Acético (C₂H₄O₂)*

El ácido acético es caracterizado por ser un líquido incoloro de olor característico (vinagre), también es conocido como ácido etílico, ácido etanoico y ácido metil carboxílico; es miscible en el agua y en otros disolventes orgánicos. Su fórmula química es C₂H₄O₂. Es usado como intermediario químico en la fabricación de acetato de metilo o como agente antimicrobiano y conservante natural. Debido a que presenta buenas propiedades de barrera permite su uso en películas de envase de alimentos flexibles, botellas plásticas y depósitos de combustibles (DLEP, 2018, p.2).

➤ *Glicerina o glicerol*

El glicerol es un alcohol que posee tres grupos hidroxilos (OH), forma puentes de hidrógeno con el agua lo que favorece su solubilidad, su fórmula molecular es C₃H₈O₃. Se caracteriza por ser un líquido incoloro y tiene una viscosidad de 1,26 g/ml. Naturalmente es una sustancia no dañina, por lo que es utilizado como lubricante en los equipos alimenticios. De la misma manera que el agua destilada, la glicerina es conocida como plastificante, brindando suavidad e hidratación al polímero obtenido de la gelatinización del almidón (Charro, 2015, p.18).

1.5.5. Biodegradabilidad

Según la norma ASTM D5488-944 instituye a la biodegradabilidad como la labor que tiene un material de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos

mediante la ayuda de microorganismos del suelo y agua tales microorganismos como bacterias, hongos y algas. Así mismo un polímero es biodegradable siempre y cuando provenga de fuentes renovables (Menoscal & Rodríguez, 2017, p.9).

1.5.5.1. Métodos para medir biodegradación

➤ *Estadounidense*

ASTM D6400-99 “Especificación estándar para los plásticos compostables” y ASTM D5338-98 “Métodos de ensayo estándar para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje”, son normas que establecen los procedimientos de degradación de los plásticos de tipo aeróbica (Mojo, 2009, p.4).

➤ *Europeo*

Los criterios que se utilizan para evaluar los plásticos biodegradables europeos están enfocados en: ISO 14855 (Biodegradación aeróbica bajo condiciones controladas); es una prueba de compostaje aeróbica; ISO 14852 (Biodegradación aeróbica en ambientes acuosos); e ISO 14985 (Biodegradación anaeróbica en un ambiente alto de sólidos), las dos últimas son pruebas de biodegradación diseñadas específicamente para materiales poliméricos. Una parte importante de la evaluación de plásticos biodegradables consiste en determinar la desintegración en la forma de producto final (POLINTER, 2016, p.3).

EN 13432 “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación” y EN 14855 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas”, son normas que describen el procedimiento del análisis de la biodegradabilidad (Mojo, 2009, p.4).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Planteamiento de hipótesis

2.1.1. *Hipótesis General*

Al procesar el almidón procedente del rizoma de achira verde (*canna edulis*) se obtiene láminas de plástico biodegradable con adecuadas propiedades para producir envases para alimentos.

2.1.2. *Hipótesis Específicas*

- El almidón extraído del rizoma de achira verde se caracteriza de acuerdo a los métodos de la NTE INEN 1456 para elaborar bioplásticos.
- La formulación especificada permite sintetizar láminas de bioplástico a partir del almidón extraído del rizoma de achira verde.
- El bioplástico elaborado a partir del almidón del rizoma de achira verde presenta adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.
- El polímero obtenido se degrada en el tiempo estipulado por la norma EN 13432 por lo que contribuye a disminuir la contaminación ambiental.

2.2. Identificación de variables

Tabla 1-2: Identificación de variables.

Proceso	Variables independientes	Variables dependientes
Extracción de almidón	<ul style="list-style-type: none">➤ Velocidad de licuado (RPM).➤ Tiempo de licuado.	<ul style="list-style-type: none">➤ Obtención de almidón.
Producción de bioplástico	<ul style="list-style-type: none">➤ Porcentaje de almidón extraído del rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>).➤ Porcentaje de plastificante.	<ul style="list-style-type: none">➤ Obtención de una biopelícula útil para envases alimentarios.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.3. Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operación de variables.

Proceso	Tipo de variable	Variable	Definición	Indicadores	Instrumentos de medición / Técnica o Método
Extracción de almidón de los rizomas de la achira verde (<i>canna edulis</i>) mediante vía húmeda.	Independiente	Velocidad de licuado (RPM)	Medida de la rapidez con la que está trabajando la máquina según sus revoluciones por minuto.	Alta / Baja	Licuadora
	Independiente	Tiempo de licuado	Medida de la duración de triturado de una sustancia solida hasta su conversión a líquido.	Segundo (s)	Cronómetro
	Dependiente	Obtención de almidón	Polímero útil para la elaboración de películas biodegradables, constituido por amilosa y amilopectina.	% Amilosa % Amilopectina	Análisis proximal
Producción de películas filmogénicas y obtención de envases biodegradables	Independiente	Porcentaje de almidón extraído del rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>)	Relación de la cantidad de almidones y aditivos en cien partes de la mezcla.	% Peso	Balanza
	Independiente	Porcentaje de plastificante		% Peso	Balanza
	Dependiente	Obtención de una biopelícula útil para envases alimentarios	Capa delgada de polímero proveniente de materia orgánica que presenta fácil degradación.	cm	Molde

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.4. Matriz de Consistencia

Tabla 3-2: Matriz de Consistencia.

ASPECTOS GENERALES				
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		
El consumo desmedido de plástico de un solo uso empleado para empaquetar alimentos, trae consigo una permanencia en el suelo debido a su lenta degradación ocasionando daños al ecosistema.	Obtener bioplástico a partir del almidón del rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>) para producción de envases alimentarios biodegradables.	Al procesar el almidón procedente del rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>) se obtiene láminas de plástico biodegradable con adecuadas propiedades para producir envases para alimentos.		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variables	Técnicas de recolección de datos
¿Cómo se caracterizará el almidón del rizoma de achira verde?	Caracterizar el almidón extraído del rizoma de la achira en base a la Norma NTE INEN 1456 para obtención de bioplástico.	El almidón extraído del rizoma de achira verde se caracteriza de acuerdo a los métodos de la NTE INEN 1456 para elaborar bioplásticos.	Dependientes <ul style="list-style-type: none"> ➤ Obtención de almidón. ➤ Obtención de una biopelícula útil para envases alimentarios. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cálculo del rendimiento del almidón obtenido. ➤ Interpretación de resultados mediante programas; Excel y StatGraphics.
¿Será posible obtener bioplástico con el almidón de los rizomas de achira	Sintetizar bioplástico a partir del almidón del rizoma de la achira verde	La formulación especificada permite sintetizar láminas de	Independientes	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Varias fuentes bibliográficas.

verde de acuerdo a la formulación establecida?	utilizando una formulación específica.	bioplástico a partir del almidón extraído del rizoma de achira verde.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Velocidad de licuado (RPM). ➤ Tiempo de licuado.
¿Cómo determinar la calidad del bioplástico obtenido?	Determinar la calidad del bioplástico del almidón del rizoma de achira verde mediante el análisis de sus propiedades físico-químicas y mecánicas.	El bioplástico elaborado a partir del almidón del rizoma de achira verde presenta adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Porcentaje de almidón extraído del rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>). ➤ Porcentaje de plastificante.
Se desconoce el tiempo de degradación del bioplástico y, por lo tanto, la utilidad que se le pueda dar para el uso en alimentos.	Valorar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido en base a la norma EN 13432 con el fin de analizar el tiempo de descomposición y su utilidad como envases alimentarios desechables.	El polímero obtenido se degrada en el tiempo estipulado por la norma EN 13432 por lo que contribuye a disminuir la contaminación ambiental.	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.5. Tipo y Diseño de Investigación

2.5.1. Tipo de Investigación

2.5.1.1. Según el objeto a investigar

La investigación es teórica, debido a que se basa en la recopilación de datos relacionados al almidón de achira verde (*canna edulis*) y su uso en la obtención de un bioplástico para generar envases.

2.5.1.2. Según el nivel de profundización del objeto de estudio

La investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se miden los valores de rendimiento de extracción del almidón de los rizomas de achira verde, y, además, se evalúan los valores resultantes de las variables respuestas de los bioplásticos (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) de las formulaciones proyectadas.

2.5.1.3. Según la manipulación de variables

La investigación es experimental, debido a la manipulación de variables en los procesos de la extracción del almidón y de la obtención de un polímero biodegradable a partir del almidón del rizoma de achira verde.

Las variables dependientes son; obtención de almidón y obtención de una biopelícula útil para envases alimentarios, las variables independientes son; velocidad de licuado (RPM), tiempo de licuado, porcentaje de almidón y porcentaje de plastificante.

2.5.1.4. Según el tipo de inferencia.

La investigación es inductiva, debido a la recopilación de datos específicos para la formulación de un bioplástico donde se combina determinadas cantidades de almidón obtenido de rizomas de achira verde (*canna edulis*) y aditivos, dando origen a la formulación general.

2.5.2. Diseño experimental de la Investigación

2.5.2.1. Diseño factorial 2²

En la presente investigación, se aplica el diseño factorial 2². Para la primera etapa: Extracción del almidón y la segunda etapa: formulación del polímero biodegradable.

Para la primera etapa se establece 4 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, con tiempos de trituración de 30 y 60 segundos y una velocidad de licuado de 6800 y 18000 rpm, con la finalidad de determinar el tratamiento más adecuado para la extracción de almidón de los rizomas de achira verde, con mayor porcentaje de rendimiento. En la segunda etapa que consiste en la producción de bioplástico, para la elaboración de envases se lleva a cabo cuatro tratamientos variando la concentración de almidón, glicerina, ácido acético, alcohol polivinílico y agua, hasta obtener el polímero con características adecuadas.

2.6. Unidad de Análisis

La unidad de análisis para el presente proyecto de investigación es; el almidón extraído del rizoma de achira verde (*canna edulis*), el cual es analizado proximalmente y caracterizado.

2.7. Población de Estudio

En la presente investigación la población de estudio corresponde a la materia prima, rizomas de achira verde; estos se obtienen del barrio San Juan de la parroquia de San Miguelito en el cantón Píllaro de la provincia de Tungurahua. En el muestreo se seleccionan a los mejores ejemplares de achira verde, teniendo como principal característica su estado de madurez, con la finalidad de obtener un mayor porcentaje de rendimiento en cuanto a la extracción de almidón de achira verde libre de azúcares reductores, mismo que dificulta la producción de bioplástico.

2.8. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra en esta investigación es de 20 kg de rizoma de achira (*canna edulis*), obtenido de cultivos ubicados en el barrio San Juan de la parroquia de San Miguelito en el cantón Píllaro de la provincia de Tungurahua.

2.9. Selección de muestra

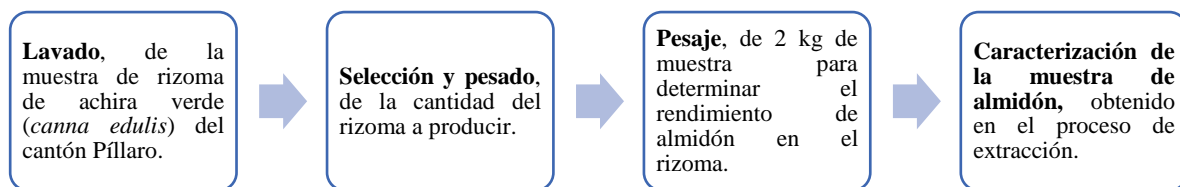


Gráfico 1-2. Selección de la muestra.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

➤ Criterios de inclusión

Rizomas en buen estado con características físicas propias, que presentan color característico además de la edad de maduración entre los 6 a 9 meses.

➤ Criterios de exclusión

Aquellos rizomas que presentan mal estado (golpeadas, aplastadas, rajadas, secas, podridas, daños mecánicos y otros.) y que no posean características físicas propias, así también los rizomas que presenten coloración verde y muy alto estado de maduración, son descartados.

2.10. Técnica de recolección de datos

La presente investigación se constituye en artículos e investigaciones preliminares con concordancia al tema de bioplásticos, se obtienen datos experimentales en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Tabla 4-2: Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

No.	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
1	Recolección de información	Fuente primaria: Observación directa al objeto de estudio. Fuente secundaria: Internet, artículos científicos, revistas, libros, entre otros.
2	Análisis de resultados	Software; Excel y Statgraphics Centurion XVI.I

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.10.1. Recolección de datos mediante métodos establecidos

2.10.1.1. Lugar de la Investigación

La investigación se desarrolla en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias.

2.10.1.2. Técnica de extracción del almidón del rizoma de achira verde

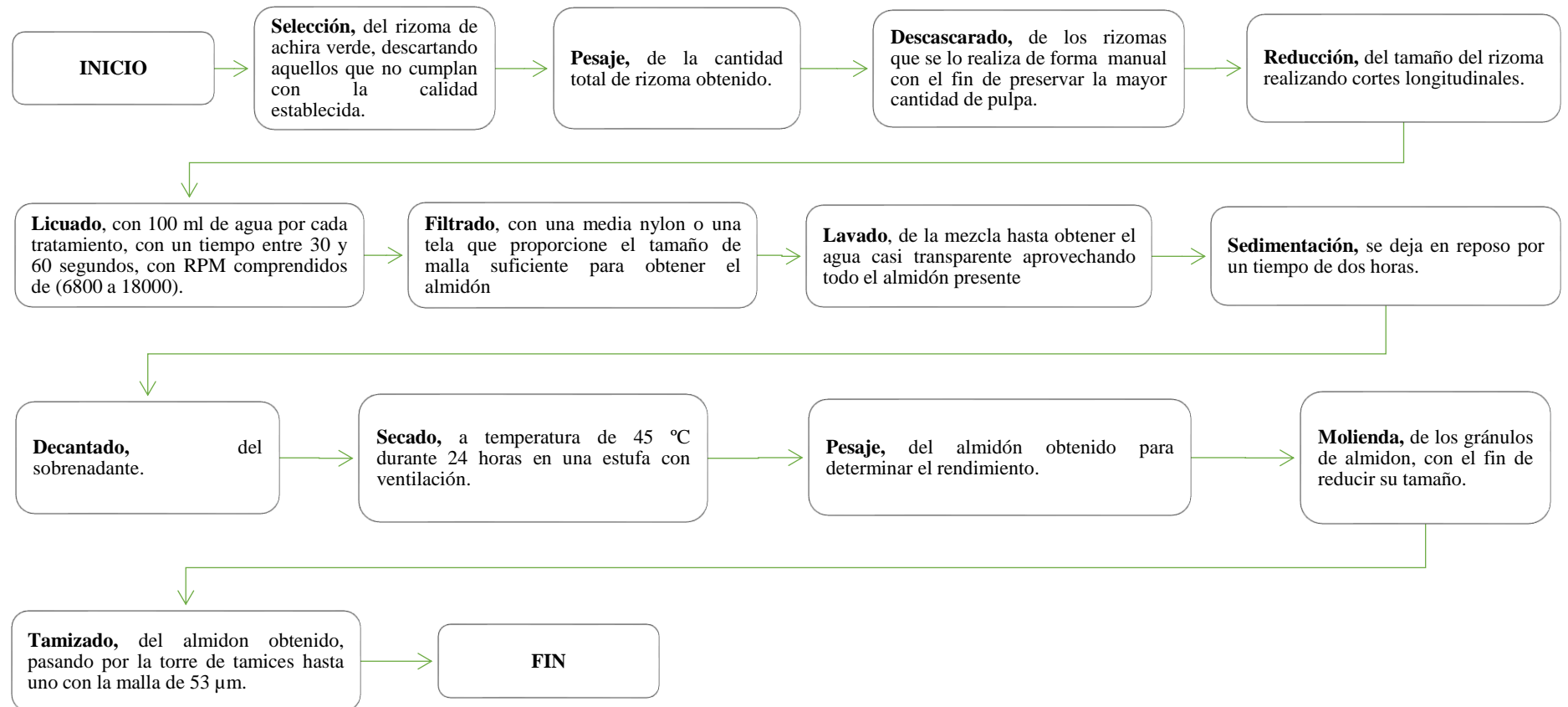


Gráfico 2-2. Diagrama de bloques para la obtención de almidón de rizomas de achira verde (*canna edulis*).

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 5-2: Técnica de extracción de almidón de achira.

Materiales y Equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Licuadora ➤ Cuchillo ➤ Balanza analítica ➤ Probetas ➤ Espátula ➤ Cronómetro ➤ Recipiente de plástico ➤ Malla nylon ➤ Estufa ➤ Mortero y pistilo ➤ Vaso de precipitación ➤ Torre de tamices ➤ Fundas ziploc 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua destilada ➤ Rizoma de achira ➤ Solución de hipoclorito de sodio al 1% ➤ Solución de ácido cítrico al 3% 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Recepción de la materia prima, rizoma de achira verde (<i>canna edulis</i>). ➤ Lavar y desinfectar el rizoma en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 15 minutos, eliminando tierra y todo tipo de impurezas. ➤ Pelar y pesar el rizoma de achira verde. ➤ Sumergir inmediatamente en una solución de ácido cítrico al 3% durante 10 minutos para evitar el pardeamiento enzimático. ➤ Alimentar la licuadora con 200 gramos de achira y 800 ml de agua purificada, licuar por un determinado tiempo y velocidad, facilitando la liberación de los gránulos de almidón y separándolo de aquellos componentes de la pulpa que son relativamente más grandes como la fibra y proteína. ➤ Filtrar con la ayuda de una malla nylon. ➤ Lavar la mezcla hasta obtener el agua casi transparente aprovechando todo el almidón presente (Brito, 2019). ➤ Sedimentar, durante 2 horas con la finalidad de separar el almidón por efecto de la gravedad (Brito, 2019). ➤ Decantar, comprende la separación del líquido sobrenadante del almidón (Brito, 2019). ➤ Secar el almidón en una estufa de vacío a 45°C durante 7 horas (Brito, 2019). ➤ Moler mediante el uso de un mortero y pistilo. ➤ Tamizar (Brito, 2019). ➤ Pesar el almidón para obtener el rendimiento del mismo. ➤ Finalmente empacar el almidón en fundas ziploc para evitar el contacto con la humedad del ambiente (Brito, 2019). 	<p>(Parra, 2019, pp.24-25)</p>

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.10.1.3. Métodos de ensayo para caracterización físico química del almidón

Tabla 6-2: Caracterización del almidón extraído según la norma ecuatoriana INEN 1456.

N°	Ensayo		
1	Prueba de Solubilidad		
	Materiales y Equipos	Procedimiento	Valores de Referencia
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Vaso de precipitación de 25 ml y 200 ml ➤ Reverbero 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En un vaso de 25 mL, pesar 2g de la muestra, añadir 5 mL de agua fría y agitar. ➤ Transferir totalmente la suspensión sobre 100 mL de agua hirviendo, contenida en un vaso de precipitación de 200 mL y continuar con la ebullición durante 2 minutos. ➤ Guardar la solución para la determinación de pH. 	El resultado es positivo, solo si se observa una ligera opalescencia que se deberá mantener sin intensificar, después de un enfriamiento de la solución.
2	Método para determinar residuo por calcinación		
	Materiales y Equipos	Procedimiento	Valores de Referencia
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mufla ➤ Reverbero ➤ Pinzas para crisol ➤ Crisoles ➤ Guantes de Carnaza ➤ Desecador 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En un crisol de porcelana o de platino, pesar 1g de muestra, calentar hasta ignición bajo la campana extractora de gases. ➤ Añadir al material carbonizado 1 mL de ácido sulfúrico R.A (reactivo analítico), el calentamiento debe ser suave, bajo el principio y continuando de tal forma que requiera 1 a 2 horas para carbonizar totalmente la materia orgánica. ➤ Calcinar a 800°C±25°C por 15 min, enfriar en el desecador y pesar, este procedimiento se deberá repetir hasta obtener una masa constante. 	<p>El contenido de residuo por calcinación se deberá obtener utilizando la siguiente ecuación:</p> $R = \frac{m1}{m} \times 100$ <p>Ecuación 1-2: Porcentaje de residuo por calcinación.</p> <p>Donde:</p> <p>R= residuo por calcinación m1= masa del residuo en gramos m= masa de la muestra en gramos</p> <p><i>Observaciones:</i> Se debe considerar que la muestra del residuo obtenido no deberá ser</p>

			mayor a 0,40g/100g.
3	Método para determinar la sensibilidad		
	Materiales y Equipos	Procedimiento	Valores de Referencia
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vaso de precipitación de 25 ml y 200 ml ➤ Reverbero ➤ Agitador 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ En un vaso de precipitación de 25 mL, pesar 1 g de muestra. ➤ Añadir 5 mL de agua fría y agitar. ➤ Transferir totalmente la suspensión en un vaso de precipitación de 200 mL de agua hirviendo. ➤ Enfriar y añadir 5 mL de esta solución a 100 mL de agua conteniendo 50 mg de yoduro de potasio. ➤ Añadir 0,05 mL de solución de Iodo 0,1N y luego 1 ml de tiosulfato de sodio 0,1N. 	La muestra cumplirá con el requisito si produce un color azul profundo que desaparecerá con la adición de 0,05 mL de solución de tiosulfato de sodio 0,1N.
4	Determinación de pH		
	Materiales y Equipos	Procedimiento	Valores de Referencia
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Medidor de pH ➤ Agitador 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Normalizar el medidor de pH a 25°C, sumergiendo los electrodos en solución tampón de pH 7,0 y ajustar el control a esta temperatura. ➤ Con el control de asimetría ajustar el instrumento al valor de pH correcto de la solución tampón. ➤ Con el control correspondiente retornar al equipo a su posición de reposo. ➤ Lavar los electrodos con agua destilada y secarlos con papel absorbente. ➤ Sumergir los electrodos en la solución que deberá estar a 25°C. ➤ Accionar el control de lectura y leer el pH. 	Es resultado es exitoso cuando la muestra se encuentra dentro de los rangos de pH 5,0 y 7,0.
5	Método para determinar sustancias reductoras		
	Materiales y Equipos	Procedimiento	Valores de Referencia

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Matraz de 500 ml ➤ Balanza analítica ➤ Crisoles ➤ Vaso de precipitación de 50 ml 	<p>➤ Solución A</p> <p>Solución de Cobre: en un matraz de 500 mL disolver 34,66 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), que no muestre trazas de eflorescencia por la humedad adherida, en agua destilada y aforar.</p> <p>➤ Solución B</p> <p>Solución de Tartrato alcalino: en un matraz de 500 mL disolver 1,73 g de tartrato de sodio y potasio cristalino ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), y 50 g de hidróxido de sodio en agua destilada y aforar.</p> <p>Guardar las soluciones en envases resistentes a álcalis. Para su uso se deberá mezclar exactamente volúmenes iguales de las soluciones A y B.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ En un vaso de precipitación pesar 5g de almidón soluble, añadir 50 mL de solución de reactivo Fehling y calentar durante 4 minutos, hasta alcanzar la ebullición, hervir por 2 minutos. ➤ Filtrar por crisol de vidrio previamente tarado, lavar el residuo con agua caliente 10 mL y 10 mL de éter. ➤ Colocar en una estufa a 105°C, durante una hora y enfriar en el desecador. <p>Repetir la operación hasta obtener una masa constante.</p>	<p>La masa del óxido cuproso (Cu_2O), obtenido no debe ser mayor de 0,05g que equivale a 0,7% de maltosa.</p>
--	---	--	--

Fuente: NTE INEN 1456, 2013.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 7-2: Temperatura de gelatinización para el almidón de achira.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Agitador magnético ➤ Vaso de precipitación de 100ml ➤ Vaso de precipitación de 200ml. ➤ Pinza de acero Inoxidable ➤ Termómetro con escala de 0°C a 100°C ➤ Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidón de achira ➤ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 5 g de muestra de almidón y aforar hasta 50 ml. ➤ Calentar agua la cual va a ser ocupada para el baño maría a una temperatura de 85°C en un vaso de precipitación de 250 ml. ➤ Introducir la solución a baño maría. ➤ Calentar la solución hasta la temperatura donde su viscosidad cambie y se mantenga estable, leer el valor de temperatura obtenido. 	(FAO et al., 2007)

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 8-2: Viscosidad para el almidón de achira.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Viscosímetro ➤ Equipo de baño maría termostática ➤ Balón volumétrico de 500 ml ➤ Vaso de precipitación de 1000ml ➤ Agitador magnético ➤ Magneto ➤ Termómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidón de achira ➤ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 25 ml de almidón en base seca y llevarle a un balón aforado a 500ml con agua destilada. ➤ Colocar la disolución en el vaso de precipitación de 1000 ml y llevarlo a ebullición. ➤ Llevar el gel a temperatura de 25 °C y tomar una muestra de 15 ml. ➤ Medir la viscosidad a 25 °C con una velocidad de 10 RPM 	(FAO et al., 2007)

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 9-2: Contenido de humedad y materia seca para el almidón de achira.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Interpretación de resultados	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Crisol cerámico ➤ Estufa con ventilación forzada. ➤ Desecador con agente libre de humedad 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidón de achira 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Secar los crisoles por un tiempo de 4 horas a una temperatura de 105 ° C. ➤ Enfriar en el desecador. ➤ Pesarse su peso en vacío. ➤ Colocar 20 gramos de muestra en el crisol. ➤ Secar la muestra a 70 °C por 24 horas. ➤ Enfriar y tomar datos del peso. 	<p>Se realizan tres repeticiones</p> $\%H = \frac{p(\text{Crisol con muestra } g) - P(\text{crisol con muestra seca } g)}{p(\text{Crisol con muestra } g) - P \text{ crisol vacío}}$ <p>Ecuación 2-2: Porcentaje de humedad.</p> $\% \text{ materia seca} = 100 - (\% \text{ humedad})$ <p>Ecuación 3-2: Porcentaje de materia seca.</p>	(FAO et al., 2007)

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 10-2: Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Interpretación de resultados	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tubos de centrifuga de plástico de 50 ml ➤ Balanza analítica ➤ Termómetro ➤ Vasos de precipitación de 50 ml ➤ Estufa con temperatura constante 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidón de achira 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesarse tubos de centrifuga secos a 60°C. ➤ Pesarse en los tubos 1,25g de almidón en base seca y agregar 30 ml de agua destilada y agitar. ➤ Colocar en baño de agua a 60°C, durante 30 minutos, agitar la suspensión cada 10 minutos después de haber iniciado el calentamiento. ➤ Centrifugar a temperatura ambiente a 4900 RPM, durante 30 minutos. 	<p>Se realizan tres repeticiones</p> $IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)bs}}$ <p>Ecuación 4-2: Índice de absorción de agua.</p> $ISA = \frac{\text{peso solubles(g)} * V * 10}{\text{peso de muestra(g)bs}}$ <p>Ecuación 5-2: Índice de solubilidad en agua.</p> $PH = \frac{\text{peso del gel(g)}}{\text{peso de la muestra (g)} - \text{peso solubles(g)}}$ <p>Ecuación 6-2: Poder de hinchamiento.</p>	(FAO et al., 2007)

<p>➤ Baño maría con calentamiento constante</p>		<p>➤ Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar y medir el volumen.</p> <p>➤ Tomar 10 ml del sobrenadante y colocar en un vaso de precipitación de 50 ml previamente pesado.</p> <p>➤ Secar el sobrenadante en un horno, durante toda la noche a 70°C.</p> <p>➤ Pesar el tubo de centrifuga con el gel.</p> <p>➤ Pesar el vaso de precipitación con los insolubles</p>		
---	--	--	--	--

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.11. Obtención de Bioplástico

2.11.1. Desarrollo experimental para la obtención de bioplástico

Principalmente se ejecutaron ensayos previos en cajas de Petri para determinar las concentraciones de las variables manipuladas (almidón, glicerina y PVA) y los parámetros considerados, mientras que la concentración de ácido acético y agua destilada se mantiene constante. Este paso se lo realiza para el almidón, posteriormente se realiza ensayos con patrones en la obtención de un envase.

2.11.2. Variables y parámetros tomados en cuenta para la experimentación

Después de las tentativas preliminares, se constituyen los parámetros para la preparación de los bioplásticos.

Tabla 11-2: Parámetros para la elaboración de bioplásticos finales.

Parámetros	Cantidad	Unidad
Volumen de agua destilada	35,00	mililitros (cm ³)
Volumen de ácido acético	2,00	mililitros (cm ³)
Temperatura de la mezcla	68,00	centígrados (°C)
Tiempo de mezclado	4,00 – 5,00	minutos (min.)
Tiempo de Secado	24,00	horas (h)
Temperatura de Secado	45,00	centígrados °C
Área de placas de vidrio	375,00	centímetros cuadrados (cm ²)
Masa de la mezcla plaqueada	42,00	gramos (g)

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Mediante el empleo del diseño factorial 2^k , donde 2 representa la variación de la cantidad de almidón de achira como plastificante, mientras que en el caso de k corresponde al número de repeticiones, el cual es 4 para este caso, la presente investigación utiliza 16 pruebas con cuatro tratamientos.

Tabla 12-2: Diseño factorial 2^k para la obtención del bioplástico a partir de almidón de achira.

Factores	Unidad	Nivel Bajo	Nivel alto
Almidón	gramos (g)	2,00	3,00
Glicerina	gramos (g)	0,85	1,00

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.11.3. Técnica para la producción de bioplástico

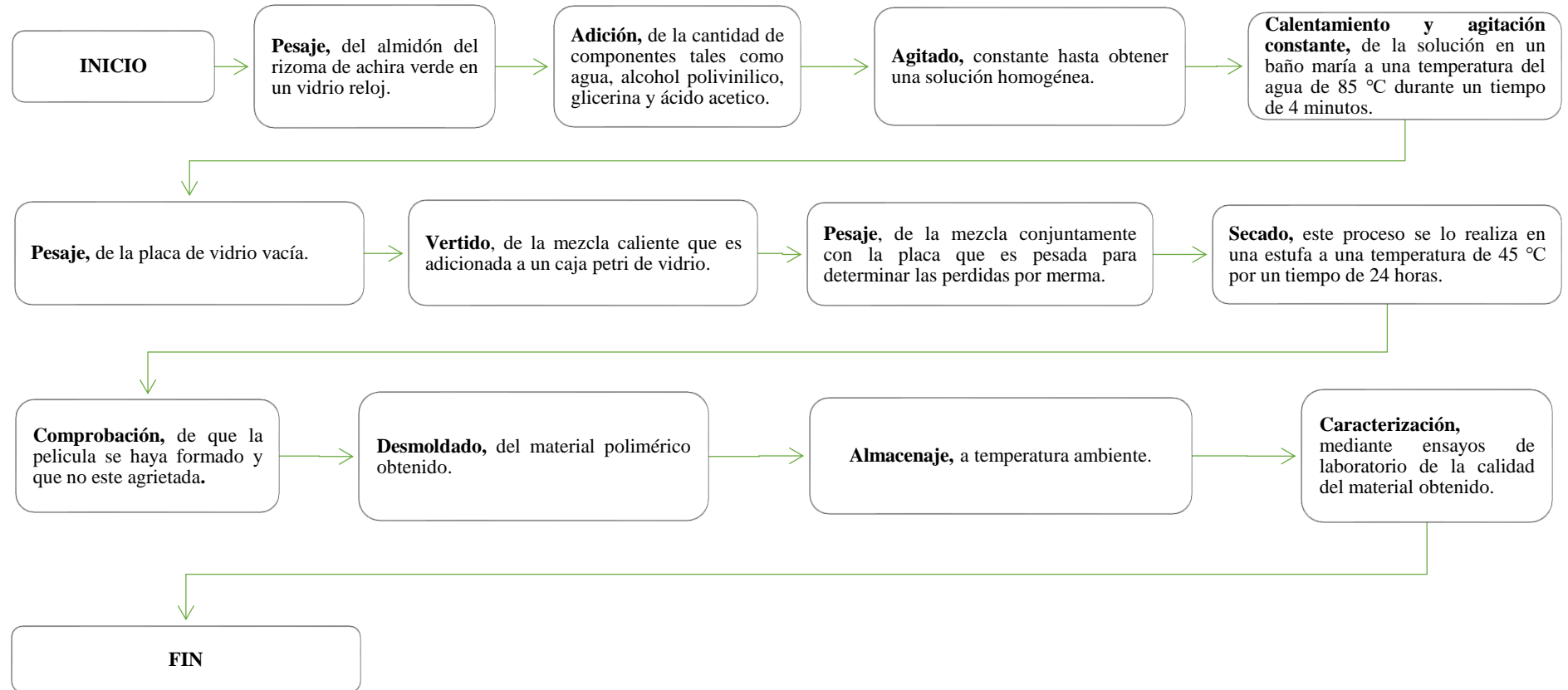


Gráfico 3-2. Diagrama de flujo para la obtención de bioplástico a partir del almidón de achira verde.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 13-2: Elaboración de bioplástico de almidón de achira verde (*Canna edulis*).

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Reverbero ➤ Malla de asbesto ➤ Varilla de agitación ➤ Probetas graduadas ➤ Termómetro ➤ Cajas Petri o Moldes de vidrio ➤ Pinza de acero inoxidable ➤ Vasos de precipitación de 250 mL ➤ Estufa de vacío ➤ Espátula ➤ Moldes (Vasos de plástico de diferentes medidas) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua destilada ➤ Ácido acético ➤ Glicerina ➤ Almidón del rizoma de achira verde ➤ Alcohol polivinílico 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 3 gramos de almidón de achira, por cada tratamiento, colocando así en diferentes vasos de precipitación de 250 mL. ➤ Medir 1 mL de glicerina, 3 mL de ácido acético y 40 mL de agua destilada. ➤ Acondicionar 140 mL de agua destilada contenido en un vaso de precipitación al baño maría y agitar la suspensión de almidón. ➤ Con agitación constante agregar los aditivos como la glicerina y vinagre cuando llegue a la temperatura de 60 °C. ➤ Agitar con calentamiento en baño maría hasta la temperatura de 58-59 °C (temperatura de gelatinización). ➤ Vaciar la mezcla viscosa en los moldes en este caso en las cajas Petri. ➤ Secar en una estufa a 40 °C por el lapso de 7 a 8 horas. ➤ Desmoldar. 	<p>(Charro, 2015, pp. 30-31)</p>

2.11.4. Técnica para la producción del envase de almidón de achira verde (*Canna edulis*)

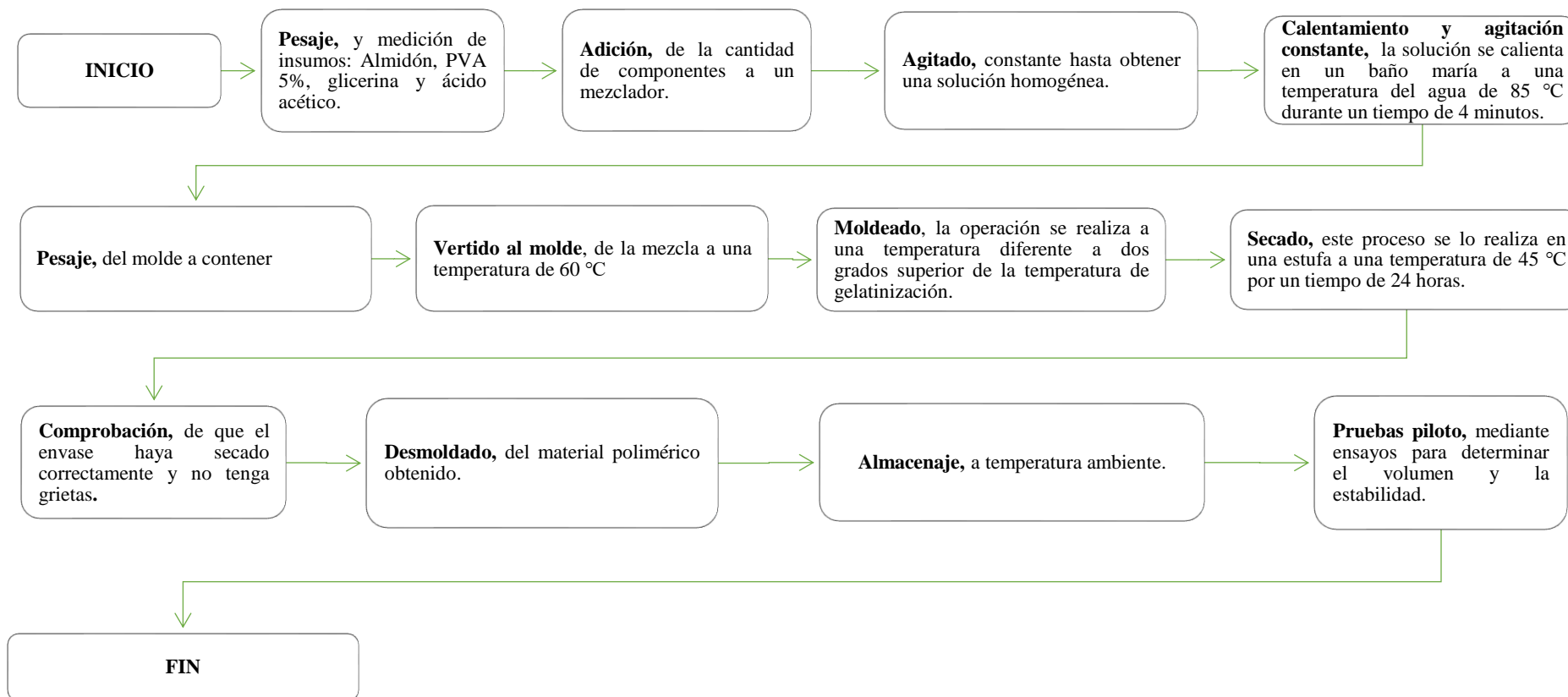


Gráfico 4-2. Diagrama de flujo para producir un envase a partir de almidón de achira verde.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 14-2: Técnica de obtención de un envase a partir de almidón de achira verde (*canna edulis*).






Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Materiales y equipos	Sustancias y reactivos	Procedimiento	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Balanza analítica ➤ Reverbero ➤ Malla de asbesto ➤ Varilla de agitación ➤ Probetas graduadas ➤ Termómetro ➤ Cajas Petri o Moldes de vidrio ➤ Pinza de acero inoxidable ➤ Vasos de precipitación de 250 mL ➤ Estufa de vacío ➤ Espátula 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agua destilada ➤ Ácido acético ➤ Glicerina ➤ Almidón del rizoma de achira 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pesar 12 gramos de almidón de achira verde (<i>canna edulis</i>), 5 ml PVA 5%, 3,6 g de glicerina y ácido acético. ➤ Acondicionar 140 mL de agua destilada contenido en un vaso de precipitación al baño maría, agitar la suspensión de almidón. ➤ Agitar con calentamiento en baño maría hasta la temperatura de 60 °C. ➤ Colocar en un molde la solución preparada. ➤ Someter a una temperatura de 67°C y presión constante en una estufa hasta que la masa se haya gelatinizado. ➤ Desmoldar la parte superior. ➤ Secar en una estufa a 40 °C por el lapso de 7 a 8 horas. ➤ Desmoldar. 	(Ramírez, 2021, p.79)

2.11.5. Técnicas para la caracterización del bioplástico

Tabla 15-2: Ensayos de caracterización de los bioplásticos.

N°	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de Ensayo
1	Espectroscopía Infrarroja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Espectrómetro Infrarrojo ➤ Computadora 	Láminas de bioplástico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar láminas de bioplástico 2,00x2,00 cm. 2. Conectar el equipo y el ordenador a un tomacorriente de 110 V. 3. Proporcionar energía al equipo presionando el switch POWER ubicado en la parte posterior derecha. 4. Encender el equipo presionando el switch POWER ubicado en la parte posterior derecha del equipo y esperar 5 minutos hasta que los parámetros de análisis estén listos. 	(Jasco, 2014, pp.5-7).

				<ol style="list-style-type: none"> 5. Para iniciar el barrido encender el ordenador e ir a: Inicio / todos los programas / JASCO / SpectraMager. 6. Iniciar el programa SpectraManger y seleccionar Quick – Start. 7. Limpiar con algodón y alcohol el área de muestra (cristal de seleniuro de zinc, soporte y capuchón de tornillo) ubicada en la parte inferior central del equipo. 8. Realizar el Background al verificar la ausencia de sustancia en el área de muestra, cerrar la tapa del equipo y presionar el botón START ubicado en la parte frontal. 9. Realizar el barrido espectral colocando la muestra sobre el cristal del área de muestra, quitar el seguro ubicado en la parte posterior, jalar hacia adelante el tornillo de ajuste, ajustarlo hasta que muestre fricción, cerrar la tapa y pulsar START. 10. Procesar el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, corregir las escalas seleccionando el icono , corregir la línea base seleccionando  (ubicar la línea azul cercana a los puntos altos de los picos y seleccionar OK) y eliminar el CO₂ seleccionando el icono  (intervalos automáticos, presionar OK). 11. Identificar los picos más relevantes seleccionando el icono . Etiquetar los picos automáticamente asignando límites de lectura y de presionar Apply o manualmente moviendo la línea vertical azul y dar click en Add. Eliminar los picos menos relevantes, seleccionando el número de onda de la parte izquierda y la opción Delete y seleccionar OK. 12. Generar las líneas auxiliares seleccionando , habilitar todas y pulsar OK. 13. Guardar el archivo seleccionando: File / Save As. Y guardar el espectro como una imagen, seleccionando Edit / Copy as / Bitmap y pegar en un procesador de texto. 14. Desajustar el tornillo de ajuste y limpiar el lente. 		
2	Vista al microscopio	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Microscopio óptico ➤ Lente 40x ➤ Portaobjetos 	Láminas de bioplástico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar láminas de bioplástico 2,00x2,00 cm. 2. Colocar en el portaobjetos. 3. Enfocar con el lente 40x y Observar. 	Directo del equipo	

3	Espesor	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Micrómetro digital ➤ Estilete 	Bioplásticos obtenidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar 3 trozos de cada lámina de bioplástico en una dimensión de 2,00x2,00 cm. 2. Medir cada trozo con el micrómetro digital y obtener el promedio de cada lámina 	Directo del equipo	NTE-INEN 2542
4	Humedad	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Termobalanza sartorius MA37 	Bioplásticos obtenidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar los trozos del ensayo de espesor y colocar cada lámina en el equipo. 2. Leer el resultado lanzado por la termobalanza. 	Directo del equipo	Método AOAC 925.09
5	Solubilidad en agua	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Shaker Orbicut IBS ➤ Papel filtro ➤ Frascos de plástico con tapa ➤ Estufa universal UF110 memmert ➤ Balanza analítica ➤ Probeta ➤ Papel aluminio 	<p>Agua destilada.</p> <p>Bioplásticos obtenidos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar los trozos ya secos y colocarlos inmediatamente en frascos de plástico con tapa. 2. Llenar con 80,00 ml de agua destilada cada frasco y tapar. 3. Agitar durante 1 hora a 100 rpm en el shaker. 4. Filtrar el agua con papel filtro. 5. Colocar en la estufa a 40 °C y, posteriormente a 105 °C hasta peso constante. 	$\% \text{Solubilidad} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$ <p>Ecuación 7-2: Solubilidad en agua.</p> <p>Donde: P_o=peso inicial de las láminas secas. P_f=peso de las láminas después el ensayo.</p>	Laboratorio Tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC - 33
6	Permeabilidad al vapor de agua (PVA)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tubos de vidrio para extracción de sangre ➤ Desecador ➤ Gradilla para tubos ➤ Guantes de látex ➤ Balanza analítica ➤ Cinta adhesiva 	<p>Sílica gel.</p> <p>Solución saturada de cloruro de sodio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Activar el desecante (sílica gel) durante 24 horas a 105 °C. 2. Cortar láminas de 2,00x2,00 cm. 3. Preparar la solución saturada de cloruro de sodio (60 g de sal común en 40 ml de agua de grifo) para proveer de un 75% de humedad relativa al desecador (HR₂) 4. Medir la altura y los diámetros, interno y externo, de los tubos. 5. Rellenar las ¾ partes de los tubos con la sílica gel. 6. Recubrir la boca de los tubos con las láminas 	$WVTR = \frac{Q}{t \cdot A}$ <p>Ecuación 8-2: Velocidad de transmisión de vapor de agua.</p> <p>Donde: Q=peso ganado del desecante en gramos. t=tiempo de la prueba en horas. A=área expuesta de la biopelícula en m²</p> $PVA = \frac{WTVR * z}{S' * (HR2 - HR1)}$	Norma ASTM-E96 /96-M05 descrita y modificada por Charro, 2015

				<p>de bioplástico.</p> <ol style="list-style-type: none"> Sellar con cinta adhesiva para dar hermetismo y proveer un 0% de humedad relativa del tubo (HR_1). Colocar todos los tubos en la gradilla, ésta se debe colocar dentro del desecador y sellar. Cada hora pesar los tubos en una balanza analítica, sin tener más de 30 segundos los tubos fuera del ambiente. Realizar el paso 9 hasta llegar a la 8^{va} hora. Calcular la PVA con la Ecuación 9-2. 	<p>Ecuación 9-2: Permeabilidad al vapor de agua.</p> <p>Donde:</p> <p>WTVR=velocidad de transmisión de vapor de agua ($gh^{-1}m^{-2}$)</p> <p>Z=espesor de la lámina (m)</p> <p>S'=presión de vapor de agua a la temperatura del ensayo (0,00231 MPa)</p> <p>HR_1=humedad relativa dentro del tubo (0%)</p> <p>HR_2=humedad relativa del desecador (75%)</p>	
7	Propiedades mecánicas	➤ Máquina Universal de Pruebas de Tracción	Bioplásticos obtenidos	Ensayo realizado en el laboratorio LenMav	Directo del equipo	NTE INEN 2635:012 Método de ensayo para las propiedades de Tracción de láminas plásticas delgadas
8	Biodegradabilidad	➤ Recipientes herméticos	Tierra. Bioplásticos obtenidos.	<ol style="list-style-type: none"> Cortar 3 trozos de 2,00 x 2,00 cm de cada bioplástico. Colocar en la tierra a una profundidad de 4 cm. Revisar cada siete días hasta completar un mes. 	Cualitativo	NTE INEN 2643: Especificaciones para plásticos compostables

		➤ Vasos de plástico	Agua normal. Bioplásticos obtenidos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar trozos de bioplásticos de 2,00 x 2,00 cm. 2. Colocar en vasos llenos de agua. 3. Revisar cada siete días hasta completar un mes 	Cualitativo	NTE INEN 2643: Especificaciones para plásticos compostables
--	--	---------------------	---	---	-------------	---

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

2.11.6. Análisis microbiológico

Tabla 16-2: Ensayos microbiológicos.

N°	Análisis	Materiales y Equipos	Reactivos	Procedimiento	Método de Ensayo
1	Hongos y levaduras	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Autoclave ➤ Mechero ➤ Balanza analítica ➤ Tubos con tapa de rosca estériles ➤ Gradillas para tubos ➤ Cajas de Petri ➤ Erlenmeyer de 250ml ➤ Pipetas de 1 y 10ml estériles ➤ Incubadora ➤ Cámara de siembra estéril 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidones extraídos ➤ Agua destilada estéril ➤ Agar Sabouraud ➤ Agua peptonada 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesa 10 g de muestra en un Erlenmeyer con 90 ml de agua peptonada, obteniendo una dilución de 10^{-1}, se agita y se deja reposar 10 minutos. 2. Se traspasa 1 ml de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9ml de agua peptonada estéril a simple concentración, de la cual se obtiene una dilución 10^{-2}. 3. Se inocula 1 ml de cada dilución en cajas Petri y se vertió 15 ml de agar Sabouraud. 4. Se mezcla por agitación circular y se deja solidificar el agar. 5. Se verte las cajas Petri y se deja incubar a temperatura ambiente durante 5 días. 6. Interpretación de resultados, se lo realiza contando el número de colonias presentes cada colonia se multiplica por el factor de dilución cual sea el caso y se detalla como UFC/g o unidades formadoras de colonias por gramo de muestra. 	ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997

2	Coliformes totales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Autoclave ➤ Incubadora ➤ Mechero ➤ Balanza analítica Explorer Ohaus ➤ Baño de agua WNB 7 memmert ➤ Tubos con tapa rosca estériles ➤ Gradilla para tubos ➤ Cajas Petri ➤ Pipetas de 1 y 10 ml ➤ Erlenmeyer 250 ml ➤ Gradillas para tubos ➤ Erlenmeyer de 250ml ➤ Pipetas de 1 y 10 ml 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Almidones extraídos ➤ Agua destilada estéril ➤ Agua peptonada a simple concentración ➤ Caldo lactosado bilis verde brillante al 2% ➤ Cajas compact Dry 	<p><u>Unidades formadoras de colonia</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesa 10,00 g de muestra un tubo con tapa rosca (estéril) con 90,00 ml de agua peptonada simple concentración, de la cual se obtiene una dilución 10^{-1}. 2. Se toma y traspasa 1,00 ml de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada estéril a simple concentración, obteniendo así una dilución 10^{-2}. 3. Se toma y traspasa 1,00 ml de la dilución 10^{-2} a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada estéril a concentración simple, obteniendo así una dilución 10^{-3}. 4. Se inocula 1,00 ml de cada dilución a tubos en medio macconkey agar a una temperatura no superior a los 45 °C o se lo realiza sembrando un ml en cajas Compact Dry para coliformes totales y <i>E. coli</i>. 5. Se agita suavemente la caja Petri hasta homogenizar. 6. Dejar gelatinizar e incubar a 37 °C por 48 h. 7. Leer los resultados e interpretar. 	<p>ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997</p>
---	--------------------	--	--	---	--

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resultados de la caracterización de la materia prima

3.1.1. *Propiedades físicas y organolépticas de los rizomas de achira verde (canna edulis)*

En la Tabla 1-3 se muestra los datos obtenidos de peso, longitud y diámetro de los rizomas de achira verde (*canna edulis*), de los cuales se extrae el almidón que se usa como materia prima del bioplástico y en la Tabla 2-3 se detallan sus características organolépticas.

Tabla 1-3: Características físicas del rizoma de achira.

Rizoma de Achira Verde (<i>canna edulis</i>)			
Nº	Peso(g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
1	850,00	20,00	30,00
2	360,00	15,00	25,00
3	410,00	13,00	22,00
3	420,00	12,50	22,50
5	650,00	15,00	22,50
Promedio	538,00 ± 207,29	15,10 ± 2,97	24,40 ± 3,34

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 2-3: Características organolépticas del rizoma de achira.

Rizoma de Achira Verde (<i>canna edulis</i>)		
Nº	Parámetro	Descripción
1	Olor	Insípido
2	Sabor	Característico
3	Color	Blanco
3	Textura externa	Rugosa
5	Textura interna	Blanca-Uniforme

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.1.2. Resultado del rendimiento de la extracción del almidón

En la Tabla 3-3 se presentan las variables utilizadas para la extracción de almidón de la achira verde: RPM (revoluciones por minuto) alta y baja de la licuadora marca Oster, en intervalos de tiempos de: 30 y 60 segundos.

Tabla 3-3: Variables utilizadas para la extracción de almidón.

Variable	Nivel Bajo	Nivel Alto
RPM (Revoluciones por minuto)	6800	18000
Tiempo (segundos)	30	60

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

El rendimiento del almidón de rizoma de achira verde se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1-3: Porcentaje de rendimiento del almidón.

$$\% R = \frac{\text{Peso del almidón obtenido}}{\text{Peso inicial del rizoma pelado}} \times 100$$

En la Tabla 4-3, se indican los resultados conseguidos del porcentaje de rendimiento del almidón de achira verde (*Canna edulis*). Los tratamientos que obtuvieron mayor resultado son: T1 y T4 con 8,43 y 8,57% respectivamente.

Estudios realizados por Ribera (2006, p.17), utilizando el mismo método de extracción consigue un rendimiento de almidón de achira de 11,00 a 15,00%. Mencionado por Ribera (2006, p.11), que el rendimiento del almidón se ve afectado por el estado de maduración de los rizomas debido que de 6 a 8 meses de edad es cuando el mismo contiene mayor cantidad de almidón.

Tabla 4-3: Resultados del rendimiento de la extracción del almidón de Achira.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Nº	Tratamiento	Variables	REPETICIÓN	VARIABLES		VOLUMEN DE AGUA (ml)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		TIEMPO DE SECADO (h)	T °C	
				TIEMPO DE TRITURADO (s)	RPM		Achira	Almidón		R	Promedio			
								Peso	Promedio					Total
1	T1	RPM1:t1	R1	30	1	800	200	16,81	16,86	67,46	8,40	8,43	24	45
			R2					18,37			9,18			
			R3					16,44			8,22			
			R4					15,84			7,92			
2	T2	RPM1:t2	R1	60	3	800	200	14,80	13,73	54,94	7,40	6,86	24	45
			R2					12,69			6,34			
			R3					13,44			6,72			
			R4					14,01			7,00			
3	T3	RPM2:t1	R1	30	1	800	200	16,10	15,96	63,86	8,50	8,10	24	45
			R2					17,20			8,60			
			R3					15,54			7,77			
			R4					15,02			7,51			
4	T4	RPM2:t2	R1	60	3	800	200	17,12	17,15	68,60	8,56	8,57	24	45
			R2					16,44			8,22			
			R3					18,62			9,31			
			R4					16,42			8,21			

3.1.3. Análisis de la varianza del rendimiento de almidón obtenido de achira

Para el siguiente análisis se tendrá una regla de decisión:

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

El valor de probabilidad en la siguiente tabla es de 0,001 mismo que es menor al nivel de significancia (0,05), por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, donde todos los promedios de las medias son distintos.

Tabla 5-3: Análisis de varianza del rendimiento obtenido del almidón de achira.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	28,73	3	9,58	9,82	0,001	3,49
Dentro de los grupos	11,70	12	0,98			
Total	40,43	15				

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.1.3.1. Prueba de Turkey para los tratamientos de extracción de almidón de achira

Es necesario indicar el grupo o grupos que están haciendo diferencias significativas y para ello es necesario hacer la prueba de Tukey.

Tabla 6-3: HSD para el almidón de achira.

HSD	2,07
Multiplicador	4,20
Mse	0,98
N	4

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Dónde:

HSD = Diferencia Honesta Significativa (Multiplicador $\times\sqrt{Mse/n}$)

Multiplicador = q alfa, encontrado en la tabla 8 para valores críticos para Tukey, mismo que es hallado considerando el número de muestra, los grados de libertad y a 0,05 de significancia.

Mse = Es el error del cuadrado medio, (Suma de cuadrados dentro de los grupos dividido para los grados de libertad dentro de los grupos).

n = es el tamaño de los grupos

Tabla 7-3: Prueba de Tukey para los rendimientos de almidón de achira.

	T1	T2	T3	T4
T1		3,13	0,9	-0,285
T2			-2,23	-3,415
T3				-1,185
T4				

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 8-3: Análisis de las medias de los rendimientos del almidón de achira.

Tratamiento	N	MEDIA	AGRUPACIÓN	
T1	4	8,43	A	
T2	4	6,86		B
T3	4	8,10	A	
T4	4	8,57	A	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Como se observa en la Tabla 8-3 los tratamientos 1,3,4 comparten una letra por lo tanto son significativamente iguales, mientras que en la Figura 1-3 los tratamientos 1-2, 3-2 y 4-2 son significativamente diferentes, lo que indica que el tratamiento de obtención donde su rendimiento es mayor, es el tratamiento 4 con una media de rendimiento de 8,57% siendo este a mayor rpm (18000) y en el tiempo de 1 minuto, por lo que se deduce que el tiempo de licuado influye mayoritariamente en el rendimiento de la obtención de almidón.

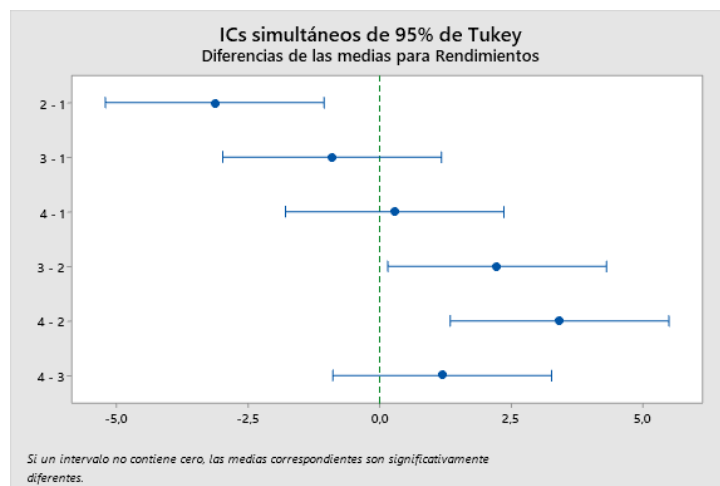


Figura 1-3. Diferencias de las medias de la variable respuesta.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.1.4. Resultados de los Ensayos Fisicoquímicos del almidón de achira

3.1.4.1. Contenido de Amilosa y Amilopectina en el almidón del rizoma de achira verde

El contenido de amilosa y amilopectina para el almidón de achira verde (*Canna edulis*) es de (58,38% y 12,62%) respectivamente. Calapi (2010, p.33), indica que el almidón de achira recolectado en la ciudad de Quito contiene 27,10% de amilosa, un valor inferior al encontrado en este estudio. Por otra parte, Yaruro (2018, p.45), determinó un total de 39,40% de amilosa para achira peruana y Cisneros et al. (2009, párr.4), hallaron valores de 33 a 39% de amilosa en almidón de achira colombiana. Estos últimos resultados son semejantes entre sí y se acercan levemente al valor calculado para achira verde ecuatoriana.

Tabla 9-3: Análisis físico químico del almidón de achira verde (*Canna edulis*).

No	Determinación	Resultado (%)	Valor de referencia *	Método de ensayo	Laboratorio
1	Amilosa	58,38		Método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983)	LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANALISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS (INIAP)
2	Amilopectina	41,62			
3	Fibra	<0,01	0,023-0,051	Método AOAC 925.09	SAQMIC, Laboratorio de servicios Analíticos, Químicos y Microbiológicos
4	Proteína	0,29	0,18 - 0,71	Método AOAC 954.01	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

En general, un elevado contenido de amilosa en el almidón resulta muy importante para la formación de películas fuertes debido a la excelente asociación intermolecular que ocurre en la gelificación de las pastas durante el proceso de enfriamiento (retrogradación) (Aristizábal & Sánchez, 2007, p.34).

3.1.4.2. Distribución del tamaño de gránulo

El almidón del rizoma de achira debe ser secado, luego triturado y llevado a la torre de tamices, donde debe pasar por cada tamiz hasta que llegue a un diámetro de partícula que pase el tamiz 106 μm según (FAO et al., 2007, p.65). Como se puede observar en la Tabla 10-3 la mayor parte de almidón se encuentra retenido en el tamiz 106 μm , sin embargo, se puede volver al proceso de molienda para reducir aún más el tamaño de partícula.

Tabla 10-3: Resultados de distribución del tamaño de gránulo del almidón del rizoma de achira verde.

Apertura (μm)	% Retenido del almidón de achira
300	8,30
150	29,36
106	48,12
63	15,21
38	10,29
Base	1,56
Total	100

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.1.4.3. Temperatura de Gelatinización

En la Tabla 11-3 se presenta la temperatura de gelatinización del almidón de achira, que según Álzate et al. (2013, p.23): como concepto la temperatura de gelatinización es la pérdida de orden molecular dentro de los gránulos de almidón. A esta temperatura descrita es donde el almidón conjuntamente con el agua tiene una consistencia gomosa aumentando su viscosidad.

Tabla 11-3: Temperatura de gelatinización del almidón del rizoma de achira verde (*Canna edulis*).

N°	Temperatura de gelatinización del almidón de Achira (°C)	Promedio
1	65	65,33±1,00
2	66	
3	65	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De acuerdo con la FAO et al. (2007, p.72), los límites permisibles de la temperatura de gelatinización está comprendida desde 57,5°C hasta 70°C. El valor aceptable de la temperatura de gelatinización para el almidón de achira es 65,3 ±1 °C, valor que se encuentra dentro del rango permisible, es muy importante determinar la temperatura de gelatinización ya que es una variable primordial en la elaboración de las biopelículas.

3.1.4.4. Índice de Absorción de Agua (IAA), Índice de Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento (PH)

Tabla 12-3: Datos para los cálculos de ISA, IAA y Poder de Hinchamiento

N°	Peso gel (g)	Volumen descartado de sobrenadante (ml)	Sobrenadante Secado (g)
1	4,74	26,00	0,076
2	5,25	26,00	0,086
3	4,75	26,5	0,083

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

A partir de la ecuación 4-2

$$\text{Índice de absorción de agua(IAA)} = \frac{\text{Peso gel(g)}}{\text{peso muestra(g)bs}}$$

$$\text{Índice de absorción de agua(IAA)}_{A1} = \frac{4,74 \text{ g}}{1,25 \text{ g}} = 3,8 \text{ g gel/g muestra}$$

A partir de la ecuación 5-2

$$\text{Índice de Solubilidad en agua(ISA)} = \frac{\text{Peso solubles(g)} \times V \times 10}{\text{Peso muestra(g)bs}}$$

$$\text{Índice de Solubilidad en agua(ISA)}_{A1} = \frac{0,076 \text{ g} \times 26,0 \text{ ml} \times 10}{1,25 \text{ g}} = 15,80\%$$

A partir de la ecuación 6-2

$$\text{Poder de Hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra(g)} - \text{Peso solubles(g)}}$$

$$\text{Poder de Hinchamiento (PH)}_{A1} = \frac{4,75 \text{ g}}{1,25 \text{ g} - 0,076 \text{ g}} = 4,04$$

Tabla 13-3: Resultados para el Índice de Absorción de Agua (IAA).

N°	IAA para almidón de Achira verde (<i>Canna edulis</i>) (g gel/ g muestra)	Promedio	Método de ensayo	Lugar de análisis
1	3,80	3,93 ± 0,23	Anderson et al., 1970	Laboratorio de investigación Facultad de ciencias de la ESPOCH
2	4,20			
3	3,80			

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

El valor del índice de absorción de agua para el almidón de achira es 3,93 ±0,23, y de acuerdo con las norma (FAO et al., 2007, pp 73), el rango para IAA, es de 0,82-15,52 gel/g muestra, lo cual indica que concuerda con los requisitos establecidos.

Tabla 14-3: Resultados para el Índice de Solubilidad en Agua (ISA).

N°	ISA para el almidón de Achira verde (<i>Canna edulis</i>) (%)	Promedio	Método de ensayo	Lugar de análisis
1	15,81	17,10 ± 1,13	Anderson et al., 1970	Laboratorio de investigación Facultad de Ciencias de la ESPOCH
2	17,89			
3	17,60			

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De acuerdo a la (NTE INEN 1456, 2013), se estima que el ensayo es correcto cuando, se logra observar una ligera opalescencia que se mantendrá sin intensificar después del enfriamiento de la solución. En la Tabla 14-3 el valor aceptado para el índice de solubilidad de agua es 17,10±1,13%, valor que al comparar con la norma (FAO et al., 2007, p 74), sobrepasa el rango para ISA ya que el rango permitido se encuentra de 0,27 hasta 12,32%, y la elevada solubilidad de agua, provocara que el almidón de achira al enfriarse produzca pastas finas y de baja permanencia.

Tabla 15-3: Resultados del Poder de Hinchamiento (PH).

N°	Poder de hinchamiento para el almidón de Achira verde (<i>Canna edulis</i>)	Promedio
1	4,04	3,87 ± 0,73
2	4,51	
3	3,07	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

En la Tabla 15-3 se observa el valor aceptado del poder de hinchamiento del almidón de achira que es $3,87 \pm 0,73$, valor que al comparar con la literatura de la norma (FAO et al., 2007, pp.73-74), cumple con el rango establecido que va desde 0,79 a 15,45.

3.1.4.5. Determinación de pH

Tabla 16-3: Resultados de pH.

No	pH
1	6,28
2	6,29
3	6,27
Valor aceptado	$6,28 \pm 0,01$

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Según la (NTE INEN 1456, 2013), los resultados se consideran válidos cuando las muestras cumplen como requisito un valor de pH entre 5,0 y 7,0, lo cual al realizar este método de ensayo el valor de pH para el almidón de achira se encuentra en $6,28 \pm 0,01$, estando dentro del rango establecido.

3.1.4.6. Substancias Reductoras

Tabla 17-3: Resultados de Substancias Reductoras.

No	Substancias Reductoras
1	0,035
2	0,032
3	0,034
Valor aceptado	$0,034 \pm 0,002$

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De acuerdo con la (NTE INEN 1456, 2013, pp.2-3), se cumple con este requisito cuando la masa del óxido cuproso obtenido no es mayor de 0,05g. En la Tabla 17-3 se refleja un resultado aceptable para sustancias reductoras para el almidón de achira de $0,034 \pm 0,002$, existiendo una ausencia de azúcares reductores.

3.1.4.7. Contenido de humedad y materia seca

Tabla 18-3: Resultados obtenidos de humedad y materia seca del almidón.

No	% Humedad	Promedio	Materia seca	Promedio
1	10,52	10,31±0,21	89,48	89,69±0,21
2	10,10		89,90	
3	10,32		89,68	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

A partir de la ecuación 2-2

$$W = \frac{(Mh - Ms)}{(Ms - Mr)} \times 100$$

Dónde:

Mh = Peso del recipiente más la muestra húmeda (gramos)

Ms = Peso del recipiente más la muestra seca (gramos)

Mr = Peso del recipiente (gramos)

$$W_1 = \left(\frac{36,25 - 35,97}{35,97 - 33,29} \right) \times 100$$

$$W_{A1} = 10,10\%$$

El contenido para el porcentaje de humedad del almidón de achira se encuentra dentro de los parámetros permisibles, ya que, al comparar con el método de ensayo de (FAO et al., 2007, p. 62), los porcentajes aceptables se hallan en un rango de 10-13%, y el porcentaje de almidón de achira es de $10,31 \pm 0,21\%$; por lo tanto, cumple el requisito de humedad, ya que: si se obtiene un porcentaje superior de humedad indicarían probabilidad de contaminación por hongos y si el nivel de humedad es menor entonces el almidón presentaría severas condiciones de secado.

3.1.4.8. Residuos por calcinación

Tabla 19-3: Resultados obtenidos del contenido de ceniza del almidón

No	% Cenizas	Promedio
1	0,34	0,35±0,01
2	0,35	
3	0,36	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

A partir de la ecuación 1-2

$$R = \frac{m1}{m} \times 100$$

Donde:

R = Residuo por calcinación

m1 = Masa del residuo en gramos

m = Masa de la muestra en gramos

$$R_{A_1} = \frac{0.017}{4,98} \times 100$$

$$R_{A_1} = 0,54\%$$

En base a la (NTE INEN 1456, 2013), el porcentaje de cenizas debe ser menor a 0,4 g/100g y de acuerdo a la (FAO et al., 2007, p.17), el contenido de cenizas en el almidón no debe superar el 0,12%. Al comparar los resultados obtenidos de almidón de achira con estos dos criterios se determina que cumple con los niveles permisibles para este parámetro. De acuerdo a (Yaruro, 2018. p.7) la variación de contenido mineral puede variar al sustrato donde se desarrolla este tipo de cultivo.

3.1.4.9. Sensibilidad

Tabla 20-3: Resultados para la Sensibilidad de almidones.

No	Sensibilidad	Presenta coloración Azul	Método de ensayo	Lugar
1	Almidón de achira verde (<i>Canna edulis</i>)	Positivo	NTE INEN 1456, 2012	Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias ESPOCH.
2		Positivo		
3		Positivo		

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De acuerdo con la (NTE INEN 1456, 2013), hay cumplimiento con el parámetro si se produce un color azul profundo, de acuerdo a lo observado en la prueba de almidón de achira se produce dicha coloración de azul profundo, el cual desaparece al añadir 0,05 ml de solución de tiosulfato de sodio a 0,1N, esta prueba de sensibilidad para almidones es necesario para determinar la presencia o la alteración de almidón u otros polisacáridos.

3.1.3.8. Viscosidad Brookfield

El presente ensayo se llevó a cabo a 100 RPM, y para determinar la viscosidad de almidón de Achira, se utilizó el número de aguja SPL 4.

Tabla 21-3: Resultados de Viscosidad Brookfield.

Tipo de almidón	N°	Viscosidad Brookfield (cP)	Promedio	Lugar
Almidón de achira verde	1	948,9	949,10 ± 0,17	Laboratorio de Investigación, Facultad de Ciencias ESPOCH.
	2	949,2		
	3	949,2		

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Según la (FAO et al., 2007, p.66), el valor permisible de viscosidad se encuentra desde 840 a 1500cP. El valor aceptable obtenido para la viscosidad del almidón de Achira es 949,10±0,17 cP, mismo que se encuentra dentro del rango permisible según la norma de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

3.1.4.10. Análisis microbiológicos del almidón de achira

De acuerdo con la norma (FAO et al., 2007, pp.94-97), los valores aceptables para Coliformes fecales es < 10 unidades formadoras de colonia sobre gramo, mientras que para mohos y levaduras el valor permisible se encuentra desde 1000 hasta 5000 unidad formadora de colonia sobre gramo, los análisis de almidón de achira presentaron ausencia para Coliformes totales, fecales, mohos y levaduras, resultando ser una materia prima adecuada para la elaboración de bioplásticos.

Tabla 22-3: Resultados microbiológicos del almidón de achira.

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	VALOR DE REFERENCIA	RESULTADO
Coliformes totales	UFC/ g	Siembra en masa	-	Ausencia
Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>)	UFC/ g	Siembra en masa	< 10	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/ g	Siembra en masa	1000-5000	Ausencia

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2. Resultados de la elaboración del bioplástico

Las formulaciones de las películas bioplásticas se presentan en la Tabla 23-3 de acuerdo con: temperatura de gelatinización (58°C), tiempo de fabricación (20min), velocidad de agitación (100 rpm); variables que se mantienen constantes. Tomando en cuenta que cada experimento es realizado 4 veces y que el almidón de achira verde posee un alto contenido de amilosa, según (Muscat et al., 2012, p.190), las proporciones almidón-plastificante deben ser 80:20, 70:30 y 60:40, en base sólida seca.

Tabla 23-3: Cantidades utilizadas en la elaboración de las láminas de bioplástico.

No.	CONDICIONES	PARÁMETRO	UNID.	CANTIDAD	
1	Variables	Almidón	g	2,00	3,00
2		Glicerina	g	0,85	1,00
3	Constantes	Ácido Acético	ml	3,00	3,00
4		Agua destilada	ml	35,00	35,00
5		Alcohol polivinilico 5%	ml	5,00	5,00

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

En la Tabla 24-3 se encuentran las concentraciones utilizadas para la elaboración de las láminas de bioplástico llevadas a cabo por el método casting, los cuales fueron moldeadas en cajas Petri.

Tabla 24-3: Ensayos de las biopelículas a partir de almidón de achira verde.

N°	Tratamiento	Variable	Repetición	COMPOSICIONES	
				Almidón (g)	Glicerina
1	F1	CA1: CP1	1	2,00	0,85
2			2		
3			3		
4			4		
5	F2	CA1: CP2	1	2,00	1,00
6			2		
7			3		
8			4		
9	F3	CA2: CP1	1	3,00	0,85
10			2		
11			3		
12			4		
13	F4	CA2: CP2	1	3,00	1,00
14			2		
15			3		
16			4		

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.1. Análisis sensorial del bioplástico

Para la caracterización físico-química y mecánica de los bioplásticos de almidón de achira verde (*Cana edulis*), se realizó un análisis sensorial, resultados que se observan en la Tabla 25-3 y en la Tabla 26-3. En éstos se indica la puntuación final para cada una de las formulaciones realizadas de los diferentes bioplásticos, se obtiene que los tratamientos **F3B3** y **F4B4** fueron los que resultaron óptimos a comparación de los otros.

Tubón (2013, pp.42-43), reporta que las características físicas que deben mostrar los biopolímeros para el uso de envolturas alimenticias son primordialmente: buena flexibilidad, firmeza, textura lisa y una adecuada presentación.


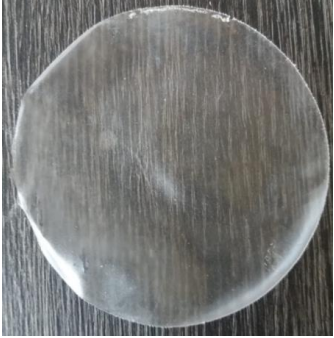


En el presente estudio, en el tratamiento **F3B3** se utilizaron concentraciones de almidón de achira **3,5 g** y **1 ml** de glicerina, mientras que, para el tratamiento **F4B4** se usó **3,5 g** de almidón y **1 ml** de glicerina, además de PVA al 5% en cada formulación siendo mínima la diferencia de concentración de almidón, permitiendo así la formación de los bioplásticos óptimos.

Tabla 25-3: Análisis Sensorial de las biopelículas a partir del almidón de achira verde.

Muestra	Formación de biopelícula	Facilidad de moldeo	Transparencia	Facilidad al desprenderse del molde	Resultado
F1	SI	Aceptable	Aceptable	Si	Bioplástico flexible
F2	SI	Aceptable	Aceptable	Si	Bioplástico flexible
F3	SI	Aceptable	Aceptable	Si	Bioplástico flexible
F4	SI	Aceptable	Aceptable	Si	Bioplástico flexible

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 26-3: Análisis sensorial de los bioplásticos obtenidos a partir del almidón del rizoma de achira verde (*Canna edulis*).

Muestra	Bioplástico	Transparencia	Factibilidad de moldeo	Forma película	Estabilidad
F1		Blanco transparente	SI	SI	SI
F2		Blanco transparente	SI	SI	SI
F3		Blanco transparente	SI	SI	SI
F4		Blanco transparente	SI	SI	SI

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.2. Análisis de validación de las biopelículas plásticas

3.2.2.1. Cálculo del porcentaje de humedad

A partir de la ecuación 2-2

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{Peso inicial de la película} - \text{peso final de la película}}{\text{peso inicial de la película}} \times 100$$

$$\% \text{ de humedad F1.1} = \frac{0,094 - 0,0748}{0,094} \times 100$$

$$\% \text{ de humedad F1.1} = 20,42\%$$

Tabla 27-3: Resultados del porcentaje de humedad.

N°	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% de humedad	Promedio (%)
F1.1	0,094	0,0748	20,42	23,05±4,21
F1.2	0,097	0,0768	20,82	
F1.3	0,091	0,0656	27,91	
F2.1	0,116	0,0872	24,82	25,36±0,63
F2.2	0,119	0,0890	25,21	
F2.3	0,122	0,0902	26,06	
F3.1	0,153	0,1190	22,22	23,09±0,83
F3.2	0,157	0,1195	23,88	
F3.3	0,154	0,1187	23,17	
F4.1	0,201	0,1514	24,67	23,33±1,16
F4.2	0,200	0,1547	22,65	
F4.3	0,202	0,1562	22,67	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

En la Tabla 27-3 se puede observar que el primer tratamiento posee menor porcentaje de humedad con un valor aceptable de 23,05±4,21%, esto se debe a que es el tratamiento donde se utiliza menor cantidad de glicerina, ya que, de acuerdo con (Muscat et al., 2012, pp.190-191), la glicerina tiende a absorber la humedad presente en el ambiente debido a la presencia de grupos hidroxilos en su composición, además es responsable de brindar flexibilidad a las biopelículas obtenidas de acuerdo a la formulación que se obtenga. Así mismo, (Zeng, 2019, pp.81-82), menciona que la dureza

del bioplástico que se obtenga va a depender de la cantidad de glicerina, porque afecta el grado de unión de las moléculas del plástico.

3.2.2.2. Cálculo del porcentaje de solubilidad

A partir de la ecuación 7-2

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(\frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso inicial seco}} \right) \times 100$$

$$PF1_{.1} = \left(\frac{0,0748 - 0,059}{0,0748} \right) \times 100$$

$$P1_A = 27,02\%$$

Tabla 28-3: Resultados para Solubilidad.

N°	Pi	P1	P2	P3	P4	Pf	Solubilidad (%)	Promedio (%)
F1.1	0,0748	0,060	0,060	0,059	0,059	0,059	21,12	20,81±0,28
F1.2	0,0768	0,062	0,062	0,061	0,061	0,061	20,57	
F1.3	0,0656	0,054	0,054	0,052	0,052	0,052	20,73	
F2.1	0,0872	0,061	0,060	0,059	0,059	0,059	32,34	30,94±1,60
F2.2	0,089	0,065	0,064	0,063	0,063	0,063	29,21	
F2.3	0,0902	0,064	0,063	0,062	0,062	0,062	31,26	
F3.1	0,119	0,088	0,088	0,087	0,087	0,087	26,89	26,09±0,71
F3.2	0,1195	0,091	0,091	0,089	0,089	0,089	25,52	
F3.3	0,1187	0,089	0,089	0,088	0,088	0,088	25,86	
F4.1	0,151	0,114	0,114	0,112	0,112	0,112	26,02	27,31±1,49
F4.2	0,154	0,114	0,114	0,113	0,113	0,113	26,96	
F4.3	0,156	0,113	0,112	0,111	0,111	0,111	28,94	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De acuerdo a (Marichelvam et al., 2019, p.10), los resultados presentados en la Tabla 28-3 no se diferencian tanto unos de otros, debido a que todas las formulaciones para la obtención de los bioplásticos corresponden a que fueron elaborados únicamente con un solo tipo de almidón, para este caso el almidón de achira.

3.2.2.3. Cálculo de la velocidad de transmisión de vapor (WVTR)

A partir de la ecuación 8-2

$$WVTR = \frac{Q}{A} \text{ Expresado en } \left(\frac{g}{h \times m^2}\right)$$

$$WVTR_{F1,1} = \frac{(31,119 - 31,100)g / 7h}{0,00031 m^2}$$

$$WVTR_{F1,1} = 8,76 \frac{g}{h \cdot m^2}$$

Tabla 29-3: Resultados de la velocidad de transmisión de vapor.

Tratamientos	Repeticiones	Velocidad de transmisión de vapor $\frac{g}{h \cdot m^2}$	Promedio $\frac{g}{h \cdot m^2}$
F1	1	8,76	7,83±0,93
	2	6,91	
	3	7,83	
F2	1	7,43	7,24±0,88
	2	6,28	
	3	8,00	
F3	1	5,30	5,82±0,58
	2	5,71	
	3	6,45	
F4	1	5,07	5,23±0,43
	2	5,71	
	3	4,90	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.2.4. Cálculo de la permeabilidad al vapor de agua (PVA)

A partir de la ecuación 9-2

$$PVA = \frac{WVTR \times z}{S'(HR_2 - HR_1)}$$

$S' = 0,002392 \text{MPa} \rightarrow a 20^\circ\text{C}$ Tabla A-4 del Apéndice 1 (Cengel & Boles, 2012, p.1145)

$$WVPF_{1,1} = \frac{8,76 \frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \times (0,00008 \text{ m})}{0,002392 \text{ MPa} (75 - 0)}$$

$$WVP_{1,1} = 0,00391 \frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}}$$

Tabla 30-3: Resultados de la permeabilidad al vapor de agua

Tratamientos	Repeticiones	Permeabilidad al vapor de agua $\frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}}$	Promedio $\frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m}}$
F1	1	0,00391	0,0038±0,0003
	2	0,00348	
	3	0,00393	
F2	1	0,00414	0,0042±0,0007
	2	0,00349	
	3	0,00491	
F3	1	0,00414	0,0048±0,0006
	2	0,00477	
	3	0,00539	
F4	1	0,00537	0,0056±0,0004
	2	0,00605	
	3	0,00546	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Los valores de permeabilidad al vapor de agua presentados en la Tabla 30-3, muestran que el primer tratamiento es el que posee menor permeabilidad al vapor de agua con 0,038±0,0003 g/h.MPa.m, de acuerdo a la revisión de la literatura del artículo científico de (Muscat et al., 2012, pp.191-192), la permeabilidad al vapor de agua está directamente relacionada con la estabilidad del producto envasado, siendo un factor muy importante para ser considerada apta para biopelículas del sector de envolturas.

3.2.2.5. Resultados del ensayo de Espesor

Tabla 31-3: Resultados del espesor de las bioplástico.

Tratamiento	N°	Peso (g)	Espesor (mm)	Promedio
F1	1	1,81	0,08	0,09±0,005
	2	1,84	0,09	
	3	1,74	0,09	
	4	1,68	0,09	
F2	1	1,51	0,10	0,10±0,005
	2	1,87	0,11	
	3	1,75	0,10	
	4	1,80	0,10	
F3	1	1,91	0,14	0,15±0,005
	2	1,89	0,15	
	3	1,88	0,15	
	4	1,88	0,15	
F4	1	1,21	0,19	0,20±0,006
	2	2,31	0,19	
	3	1,52	0,20	
	4	1,21	0,20	

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

(Marichelvam et al., 2019, p.6), exponen que los bioplásticos no deben poseer espesores menores a 0,05 mm, los resultados presentados en la Tabla 31-3 van desde 0,09±0,005 hasta 0,20±0,006 mm valores que se encuentran aceptables según lo mencionado por Marichelvam et al., ya que según su artículo el grosor aceptable de los bioplásticos se encuentra de 0,1 a 0,2 mm, siendo una excelente alternativa para formular envases biodegradables.

3.2.2.6. Resultados del ensayo de Permeabilidad

Tabla 32-3: Datos para calcular la permeabilidad de las bioplástico.

N°	R Mm	Área πr^2 (m^2)	Pi	P1	P2	P3	P4	P5	P6
F1.1	10	0,00031	31,100	31,104	31,109	31,111	31,114	31,118	31,119
F1.2	10	0,00031	31,156	31,156	31,159	31,163	31,166	31,169	31,171
F1.3	10	0,00031	30,788	30,789	30,793	30,797	30,800	30,803	30,805
F2.1	9	0,00025	31,970	31,971	31,973	31,975	31,978	31,980	31,983
F2.2	9	0,00025	31,464	31,465	31,466	31,468	31,472	31,474	31,475
F2.3	9	0,00025	31,562	31,563	31,565	31,567	31,571	31,574	31,576
F3.1	10,5	0,00035	31,463	31,465	31,467	31,470	31,473	31,474	31,676
F3.2	10,5	0,00035	31,549	31,550	31,553	31,555	31,558	31,561	31,563
F3.3	10	0,00031	31,360	31,362	31,365	31,367	31,370	31,372	31,374
F4.1	10	0,00031	31,749	31,749	31,752	31,755	31,757	31,759	31,760
F4.2	10,5	0,00035	31,543	31,544	31,546	31,549	31,552	31,555	31,557
F4.3	10,5	0,00035	30,745	30,746	30,749	30,752	30,753	30,755	30,757

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.2.7. Resultados del Ensayo de tracción

Tabla 33-3: Resultados de los ensayos de tracción.

Muestra	Probeta	Módulo de Elasticidad (MPa)	Carga de Fluencia (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	% de elongación
F1	1	13,70	1,85	2,12	2,11	2,38	2,52
F2	1	36,82	3,36	3,30	3,78	3,71	0,44
F3	1	32,93	3,54	4,32	3,87	4,73	29,68
F4	1	9,018	2,91	2,02	3,36	2,33	11,84

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

La probeta F3 es aquella que presenta mayor porcentaje de elongación con 29,68, esto según las investigaciones de (Muscat et al., 2012, p.13), los almidones que poseen alta amilosa de la achira verde es 58,38 mientras que para la amilopectina con un valor de 41,62, y para este tipo de almidones la relación almidón-plastificante puede variar desde 70:30, 80:20 y 60:40, y como en el caso del almidón de achira verde la amilosa y la amilopectina no poseen gran diferencia la formulación F3 está en un porcentaje 60:40, debido a que se trata de un almidón de alta amilosa. Tomando en

cuenta las concentraciones de plastificante por encima del 15% en base sólida seca, independientemente del tipo de almidón, además F3 al tener un buen porcentaje de elongación con respecto a las demás probetas es idóneo para la elaboración de envases.

3.2.2.8. Resultados del análisis de espectroscopia infrarroja (IR)

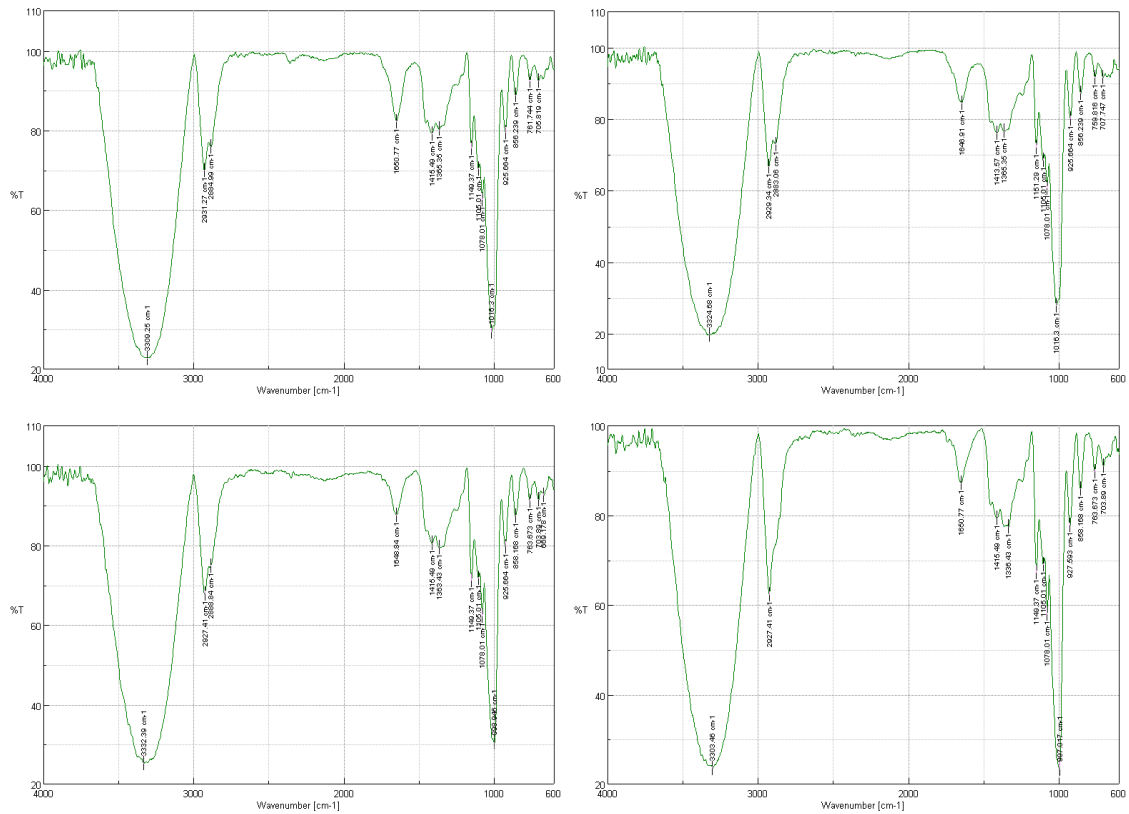


Figura 2-3. IR de las láminas de bioplástico de las cuatro formulaciones.

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 34-3: Lectura del análisis de espectroscopia infrarroja de la lámina.

Wavenumber [cm ⁻¹]	%T	Grupo funcional
3303.46	23,5385	O-H (alcohol)
2931.27	69,8804	C-H (alcano)
2884.99	75,8551	C-H (alcano)
1650.77	82,2147	O-H (flexión)
1415.49	79,1722	O-H (ácido carboxílico)

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Al observar las imágenes de espectroscopia infrarroja (IR) de cada uno de los tratamientos, se describieron los mismos grupos funcionales en cada uno de ellos, debido a que se usaron los mismos componentes en todos los tratamientos.

Se presentó una banda de absorción ancha y bien pronunciada entre 3000 y 3600 cm^{-1} correspondiente a los estiramientos de los grupos O-H y su amplitud indica uniones de puentes de hidrógeno (Ruiz, 2006, p.24). En la absorbancia 1652,7 cm^{-1} se corresponde a una banda de flexión O-H dada por la presencia de agua, dotando de higroscopia al biopolímero (Conley citado en Ruiz, 2006, p.24).

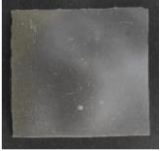




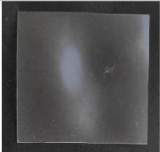





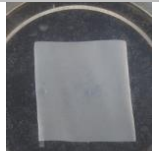

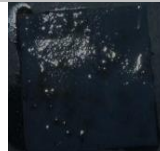






Los espectros obtenidos son similares al espectro de almidón y con lecturas similares a las obtenidas por Ruiz (2006, p.24), lo cual se concluye que la mezcla del almidón con los otros componentes fue solamente de tipo físico, más no químico.

3.2.3. Biodegradabilidad del bioplástico

3.2.3.1. Biodegradabilidad en el agua

Los ensayos realizados de biodegradabilidad en agua del bioplástico obtenido en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo donde la temperatura promedio del ambiente es de 15 °C, bajo condiciones establecidas manteniendo controlado el nivel del agua se realizaron los ensayos con las siguientes características físicas del agua: pH 6,98; conductividad 145 $\mu\text{s}/\text{cm}$; temperatura 18 °C; siendo factores necesarios a considerar para el ensayo presente en la **Tabla 35-3**

Tabla 35-3: Resultados de biodegradabilidad en el agua.

D	0	7	14	21	28
T					
F1					
F2					
F3					
F4					

*D=día, T=tratamiento

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 36-3: Resultados biodegradabilidad en agua por pérdida de área.

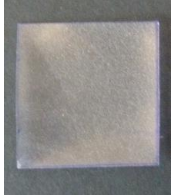
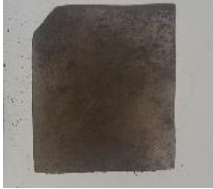













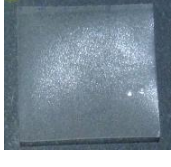

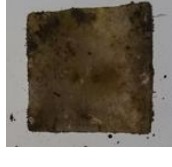


F	UNIDADES	DÍA				
		0	7	14	21	28
1	cm2	6,25	5,98	5,02	3,89	2,32
	%	0,00	4,32	19,68	37,76	62,88
2	cm2	6,25	6,23	4,87	3,20	3,09
	%	0,00	0,32	22,08	48,80	50,56
3	cm2	6,25	6,14	5,81	4,65	4,23
	%	0,00	1,76	7,04	25,60	32,32
4	cm2	6,25	5,97	5,18	4,74	4,02
	%	0,00	4,48	17,12	24,16	35,68

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.3.2. Biodegradabilidad anaerobia

Los ensayos se realizaron en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo donde la temperatura promedio del ambiente es de 15 °C, bajo condiciones establecidas manteniendo humedad en el suelo, fue posible determinar la biodegradabilidad anaerobia según lo recomendado por González et al. (2011, p.332) en su investigación de láminas biodegradables. Por tanto, se estimó el valor de pH el cual fue 7,43.

Tabla 37-3: Resultados de la biodegradación del biomaterial en el suelo.

D \ F	0	7	14	21	28
F 1					
F 2					
F 3					
F 4					

*D=día, T=tratamiento

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 38-3: Resultados de biodegradabilidad en tierra.

F	UNIDADES	DÍA				
		0	7	14	21	28
1	cm2	6,25	5,88	4,72	2,61	2,34
	%	0,00	5,92	24,48	58,24	62,56
2	cm2	6,25	6,00	2,96	2,75	2,27
	%	0,00	4,00	52,64	56,00	63,68
3	cm2	6,25	6,07	5,98	5,23	3,02
	%	0,00	2,88	4,32	16,32	51,68
4	cm2	6,25	5,88	5,18	4,00	3,08
	%	0,00	5,92	17,12	36,00	50,72

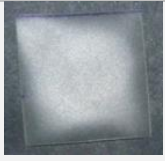
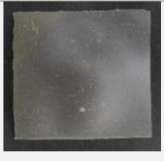
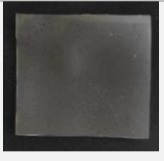

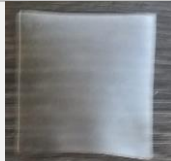
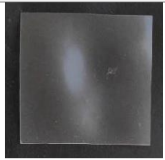
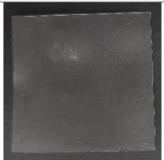
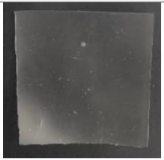
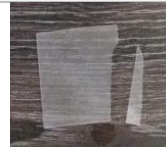

*D=día, T=tratamiento

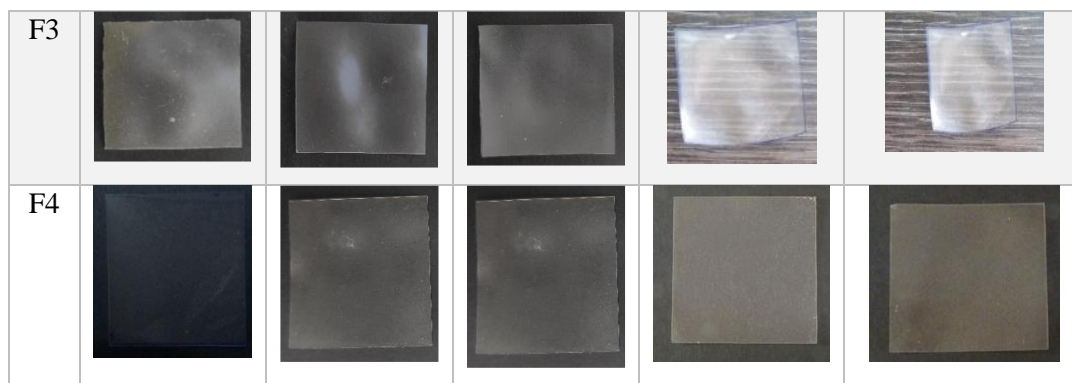
Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.2.3.3. Biodegradabilidad en el aire

Los ensayos realizados de biodegradabilidad en ambiente del bioplástico obtenido en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo donde la temperatura promedio del ambiente es de 15 -19 °C los días que se realizaron ciertos ensayos, bajo condiciones establecidas manteniendo controlado la humedad del ambiente el cual fue de 28 %.

Tabla 39-3: Resultados de la biodegradación del biomaterial en medio aerobio.

D	0	7	14	21	28
T					
F1					
F2					



*D=día, T=tratamiento

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Tabla 40-3: Resultados de biodegradabilidad en el aire.

F	UNIDADES	DÍA				
		0	7	14	21	28
1	cm2	6,25	6.20	6.09	5.98	5.93
	%	0	0.80	2.56	37,76	4.32
2	cm2	6,25	6,23	6,12	5,88	5,75
	%	0	0,32	2.08	5,92	8,00
3	cm2	6,25	6,14	5,81	5,65	5,23
	%	0	1,76	7,04	9,60	16.32
4	cm2	6,25	6,22	6.18	5,74	5.52
	%	0	0,48	1,12	8.16	11,68

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

De forma general se pudo observar lo siguiente, el polímero biodegradable obtenido del almidón de achira verde (*canna edulis*), perdió por biodegradación en el suelo el **63.68 %** por lo que su descomposición es mayor en comparación de la degradación en agua y finalmente en un medio aerobio. A esto se le atribuye que; al emplear formulaciones con aditivos degradables y almidón del rizoma de achira verde las aguas conjuntamente con las bacterias propias de la tierra reaccionaron de forma positiva al formar puentes con el –OH observado en espectroscopia IR, por lo tanto, se propone dar uso compostable después de haber cumplido su vida útil, para esto es necesario considerar factores del suelo como; la respiración microbiana, temperatura, oxigenación de la tierra, humedad y pH.

3.2.4. Análisis Microbiológicos del Bioplástico

El almidón de achira es un polímero de glucosa natural, compuesto principalmente por una fracción molecular lineal (amilosa) y una ramificada (amilopectina), para determinar las

características propias de este elemento se realizaron los análisis en donde refleja que cumple con los rangos establecidos en cuanto a humedad 10-13%, color blanco grisáceo, olor y sabor neutro, a lo cual nos permite contar con la materia prima de calidad para así obtener el biopolímero para la producción de envases alimentarios, teniendo en cuenta que es de fundamental importancia que no exista contaminación por hongos en el producto que se desea elaborar, ya que el mismo será utilizado en la envoltura de alimentos, de este modo se prevé la contención en los mismos.

Tabla 41-3: Resultados de los análisis microbiológicos del Bioplástico.

Tratamiento	Parámetros	Método de ensayo	Resultado
F1	Coliformes Totales UFC/g	Siembra en masa	<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia
F2	Coliformes Totales UFC/g		<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia
F3	Coliformes Totales UFC/g		Ausencia
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
F4	Coliformes Totales UFC/g		<10
	Mohos y Levaduras UFC/g		Ausencia
	<i>Escherichia coli</i> UFC/g		Ausencia

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

En la tabla de análisis microbiológico realizado en el Laboratorio de servicios Analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos de la ciudad de Riobamba, en el cual se observa que; la muestra de polímero biodegradable obtenido del almidón de rizoma de achira verde (*canna edulis*) es apta para alimentos debido a que no se encuentran microorganismo que puedan afectar la calidad del propio elemento, así como la calidad de alimentos que contenga.




3.3. Resultados de formulaciones preliminares a la obtención del envase a partir de rizoma de achira verde (*canna edulis*)

Tabla 42-3: Resultados de formulaciones preliminares a la obtención de envases.

No.	FORMULACIONES	ALMIDÓN (g)	GLICERINA (ml)	Ácido acético (ml)	PVA(5%)(ml)	AGUA(ml)	TRANSPARECIA	ESTABILIDAD	FLEXIBILIDAD
1	F1E1	6	2,55	9,00	5	10	Ligeramente trasparente	Poco estable	Si
2	F1E2	6	2,55	9,00	5	15	Ligeramente trasparente	Poco estable	Si
3	F2E1	6	3.00	9,00	5	10	Ligeramente Transparente	Poco estable	Si
4	F2E2	6	3.00	9,00	5	15	Ligeramente Transparente	Poco estable	Si
5	F3E1	9	2,55	9,00	5	10	Opaco	Estable	Si
6	F3E2	9	2,55	9,00	5	15	Opaco	Estable	Si
7	F3E3	9	2,55	9,00	5	20	Opaco	Estable	Si
8	F4E1	9	3	9,00	5	10	Opaco	Estable	Flexible
9	F4E2	9	3	9,00	5	15	Opaco	Estable	Flexible
10	F4E3	9	3	9,00	5	20	Opaco	Estable	Flexible

Realizado por: Haro, Germán.2022.

Tabla 43-3: Resultados de formulaciones de envases.

FORMULACIÓN	ENVASE OBTENIDO	TRANSPARENCIA	FLEXIBILIDAD	CAPACIDAD (mL)	Peso (g)	Espesor
F3E1		NO	SI	25	12,66	1,3
F3E2		NO	SI	37	12,34	1,1
F3E3		NO	SI	45	12,47	1,00
F3E4		NO	SI	52	12,33	0,9

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.3.1. Análisis sensorial de los envases biodegradables

Para la caracterización físico-química y mecánica del bioplástico de achira, se realizó un análisis sensorial, resultados que se presentan en la Tabla 43-3. En éstos se indica la puntuación final para cada uno de los tratamientos realizados a los diferentes bioplásticos, observando que el tratamiento 3 sobresale ante los demás, en vista de que, una investigación realizada por Tubón (2013, pp.42-43), reporta que las características físicas que deben mostrar los biopolímeros para el uso de envolturas alimenticias son primordialmente: buena flexibilidad, firmeza, textura lisa y una adecuada presentación.

3.3.2. Aplicación de los envases biodegradables

Hoy por hoy los envases bioplásticos producidos a partir de fuentes renovables tales como el almidón o fibras naturales, son utilizados por varias industrias manufactureras de alimentos, fármacos, textiles, cosméticos, entre otras. Debido a que estos polímeros son degradables a corto tiempo, se están desarrollando y produciendo a mayor escala, pudiendo llegar a ser más económicos en comparación a los plásticos de uso cotidiano. Así que, grandes y pequeñas empresas están optando por suplantar a los empaques sintéticos por materiales completamente degradables (Gómez & Yori, 2018, p.72).

El incremento de la conciencia ambiental por parte de consumidores ha dado auge a nuevos productos degradables a corto tiempo, por tal razón, las industrias alimenticias se ven en la necesidad de utilizar envolturas y envases totalmente amigables con el medio ambiente con la finalidad de disminuir la huella ecológica (Rivera et al., 2019, p.1).

De acuerdo con Rivera et al. (2019, p.2), la empresa *Coca Cola* invirtió más de 10 millones de dólares en una campaña enfocada al bienestar sostenible, es decir, en la producción de un nuevo envase verde 100% reciclable, constituida con un 30 % de componentes naturales. Por otro lado, ciertas empresas han cambiado envases tradicionales por empaques que sean amigables con el medio ambiente tanto para la distribución como venta de sus productos alimenticios.

Gracias a lo mencionado y a las óptimas propiedades físico-químicas y mecánicas que presentaron los bioplásticos de almidón de rizoma de achira verde (*Canna edulis*), se realizaron pruebas piloto con el propósito de comprobar si las láminas obtenidas, así como el envase cumplen con la aplicación de contener un alimento o un medicamento. Para esto, se procedió a colocar en los envases: agua al ambiente, agua caliente, jugo, coca cola, miel, helado, salsa de tomate, mayonesa y vitaminas; luego se cubrió totalmente a los envases con el fin de protegerlos de factores externos y alargar la vida útil de los mismos.

Esta prueba fue evaluada durante 3 días consecutivos durante las cuales, se tomaron a consideración las siguientes características: estado de los alimentos y apariencia que tomaron las

envolturas biodegradables durante el tiempo de prueba debido a que fueron expuestos a temperatura ambiente.

Los resultados generados de las pruebas piloto ejecutadas tanto a las láminas de almidón de achira que fue previo a la obtención del envase, así también, como al mismo contenedor, demostró que cumplen con las mismas funciones que el de un envase sintético es decir de alargar y proteger la vida útil de los alimentos principalmente de microorganismos externos presentes en el ambiente, garantizando la calidad de los productos y el bienestar de los consumidores. Por tal razón, se convierten en una interesante alternativa de sustitución de los plásticos convencionales.

A continuación, en la Figura 3-3, se observa la prueba piloto realizada al polímero biodegradable de achira verde (*Canna edulis*), donde se pudo verificar que el envase obtenido cumple con el mismo objetivo que uno tradicional, es decir, contener alimentos y medicinas que se consumen en ese instante. Cabe mencionar que este tipo de bioplástico no tolera líquidos o sólidos calientes, aquellos que estén por arriba de los 65°C como se muestra en la tabla 44-3.



Figura 3-3. Prueba piloto del bioplástico de achira verde (*Canna edulis*).

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

3.3.2.1. Tiempo de vida útil del envase obtenido con mejores propiedades

Tabla 44-3: Estabilidad del envase con diferentes muestras.

No.	Tratamiento/Muestra	Tiempo de vida Útil	Tiempo (horas)
		Estabilidad envases	
1	Agua	Estable	2
2	Agua a 60 C	Pierde estabilidad	0,5
3	Jugo Natural	Estable	2
4	Coca-Cola	Estable	2
5	Helado	Estable	3,5
6	Miel de abejas Humedad del 15%	Estable	48

Realizado por: Haro, Germán, 2022.

Al analizar los resultados obtenidos, se procede a seleccionar el tratamiento F3E3 con el fin de realizar el ensayo de estabilidad del envase, se seleccionaron varias sustancias a diferentes temperaturas la cual visualmente permite determinar la vida útil.

Los resultados fueron los siguientes; los envases cumplen con especificaciones suficientes para contener elementos de consumo masivo, así también, como elementos naturales que contengan bajo contenido de humedad.

3.4. Prueba de Hipótesis

Hipótesis 1

El almidón extraído del rizoma de achira verde se caracteriza de acuerdo a los métodos de la NTE INEN 1456 para elaborar bioplásticos.

La Norma INEN 1456 la cual regula los reactivos a utilizarse para el análisis de almidón soluble, y especifica en sus objetivos los métodos de análisis para determinar: solubilidad, pH, sustancias reductoras, residuo por calcinación y sensibilidad en el almidón soluble que se emplea como reactivo analítico, dentro de la investigación planteada se estima que el ensayo es correcto cuando, se logra observar una ligera opalescencia que se mantendrá sin intensificar después del enfriamiento de la solución. En la Tabla 14-3 el valor aceptado para el índice de solubilidad de agua es $17,10 \pm 1,13\%$, valor que al comparar con la norma (FAO et al., 2007, p 74), sobrepasa el rango para ISA ya que el rango permitido se encuentra de 0,27 hasta 12,32%, y la elevada solubilidad

de agua, provocara que el almidón de achira al enfriarse produzca pastas finas y de baja permanencia.

Hipótesis Nula (H₀): No existe la caracterización en el almidón extraído del rizoma de achira verde de acuerdo a los métodos de la NTE INEN 1456 para elaborar bioplásticos.

Hipótesis Alternativa (H_i): Existe la caracterización en el almidón extraído del rizoma de achira verde de acuerdo a los métodos de la NTE INEN 1456 para elaborar bioplásticos.

El contenido para el porcentaje de humedad del almidón de achira se encuentra dentro de los parámetros permisibles, ya que, al comparar con el método de ensayo de (FAO et al., 2007, p. 62), los porcentajes aceptables se hallan en un rango de 10-13%, y el porcentaje de almidón de achira es de 10,31±0,21%; por lo tanto, cumple el requisito de humedad, ya que: si se obtiene un porcentaje superior de humedad indicarían probabilidad de contaminación por hongos y si el nivel de humedad es menor entonces el almidón presentaría severas condiciones de secado.

De acuerdo con los estudios realizados en los cuales el almidón de achira se encuentra dentro de los parámetros permisibles se procede a aceptar la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis 2

La formulación especificada permite sintetizar láminas de bioplástico a partir del almidón extraído del rizoma de achira verde.

Dentro de la investigación se procede a plantear la formulación esperada para obtener láminas de bioplástico las mismas que se presentan en la Tabla 23-3 de acuerdo a: temperatura de gelatinización (68°C), tiempo de fabricación (20min), velocidad de agitación (100 rpm); variables que se mantienen constantes. Tomando en cuenta que cada experimento es realizado 4 veces y que el almidón de achira verde posee un alto contenido de amilosa, según (Muscat et al., 2012, p.190), las proporciones almidón-plastificante deben ser 80:20, 70:30 y 60:40, en base sólida seca.

Hipótesis Nula (H₀): No se puede sintetizar láminas de bioplástico a partir del almidón extraído del rizoma de achira verde con la formulación especificada.

Hipótesis Alternativa (H_i): Se puede sintetizar láminas de bioplástico a partir del almidón extraído del rizoma de achira verde con la formulación especificada.

En la Tabla 24-3 se encuentran las concentraciones utilizadas para la elaboración de las láminas de bioplástico llevadas a cabo por el método casting, los cuales fueron moldeadas en cajas Petri. Los almidones que poseen alta amilosa de la achira verde es 58,38 mientras que, para la amilopectina con un valor de 41,62, y para este tipo de almidones la relación almidón-plastificante puede variar desde 70:30, 80:20 y 60:40, y como en el caso del almidón de achira verde la amilosa y la amilopectina no poseen gran diferencia la formulación F3 está en una proporción de 3g de almidón y 085 g de glicerina, debido a que se trata de un almidón de alta amilosa. Tomando en

cuenta las concentraciones de plastificante por encima del 15% en base sólida seca, independientemente del tipo de almidón, además F3 al tener un buen porcentaje de elongación con respecto a las demás probetas es idóneo para la elaboración de envases

De acuerdo con los resultados se puede sintetizar láminas de bioplástico a partir del almidón extraído de la achira verde, por lo cual se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

Hipótesis 3

El bioplástico elaborado a partir del almidón del rizoma de achira verde presenta adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas.

Los factores que influyen para determinar las propiedades físico-químicas y mecánicas se determina por su composición química y su estructura interna como el tamaño, textura, color, entre otros; que a través de reactivos reaccionan y se puede determinar su composición, en la Tabla 26-3: (Análisis sensorial de los bioplásticos obtenidos a partir del almidón del rizoma de achira verde *Canna edulis*) se obtiene como resultado que el bioplástico se caracteriza por un color blanco transparente, en la Tabla 27-3: (Resultados del porcentaje de humedad) se determina que el porcentaje de humedad es $23,05 \pm 4,21$ es un valor aceptable, ya que sí, el bioplástico tuviese un rango menor de húmedas este pierde características de flexibilidad; en la Tabla 28-3 (Resultados para Solubilidad) se obtiene un resultado porcentual de $20,81 \pm 0,28$ lo cual es un rango de solubilidad apropiado y dentro del rango de otros bioplásticos obtenidos del almidón, según datos referidos a la tesis de investigación, (Ledezma, 2021, p.67); en la Tabla 34-3 (Lectura del análisis de espectroscopia infrarroja de la lámina) se puede evidencia que el compuesto polimérico biodegradable está formado con agregados de carbono y oxígeno, alcoholes, las cuales son características de fácil degradación en el ambiente, en la tabla 33-3 (Resultados de los ensayos de tracción), se obtuvo en la formulación 3 un módulo de fluencia de 3,54 lo que resalta sobre las demás formulaciones, dando como resultado que el material resistirá a una carga menor a 3.54 kg/cm^2 .

Hipótesis Nula (H₀): No presenta adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas el bioplástico que se obtiene a partir del almidón de rizoma.

Hipótesis Alternativa (H_i): Si presenta adecuadas propiedades físico-químicas y mecánicas el bioplástico que se obtiene a partir del almidón de rizoma.

Con los resultados obtenidos procedemos a aceptar la hipótesis alterna y a rechazar la hipótesis nula.

Sintetizar bioplástico a partir del almidón del rizoma de la achira verde utilizando una formulación específica.

Hipótesis 4

El polímero obtenido se degrada en el tiempo estipulado por la norma EN 13432 por lo que contribuye a disminuir la contaminación ambiental.

El estudio de biodegradabilidad de los polímeros degradables a corto plazo elaborados a partir de almidón de achira verde (*Canna edulis*) se llevó a cabo en circunstancias anaerobias, aerobias y en medio acuoso. Con el propósito de evidenciar su lapso de desintegración, los polímeros ensayados fueron expuestas a un periodo de prueba de 30 días.

Las deducciones de biodegradabilidad de los biopolímeros de almidón de los rizomas de la achira verde (*Canna edulis*) fueron suficientemente evidenciables en la **Tabla 35-3** para determinar la biodegradabilidad en el agua, para el medio anaerobio por lo que fue necesario considerar el pH el cual fue el valor de 7,43 se indican en la **Tabla 37-3**. Mientras que, en la **Tabla 39-3** se puede observar los resultados del análisis en el ambiente el cual cumplía con una humedad relativa del 28%.

Del mismo modo en la **Tabla 36-3**, **Tabla 38-3** y **Tabla 40-3** se indican los resultados de biodegradabilidad del bioplástico del almidón de rizoma de achira verde tanto en medio anaerobio con una desintegración mayor al resto de medios desarrollados con 63,68%, aerobio con un porcentaje menor siendo este 16,32% como acuoso con 62,82% en un tiempo de prueba de 28 días.

La norma europea EN 13432 de envases y embalajes biodegradables funda que un polímero debe degradarse a manera mínima el 90 % de su estructura física durante 6 meses. Al contrastar los resultados derivados de biodegradabilidad en medio anaerobio, aerobio y acuoso de los polímeros se observa que sus datos fluctúan de hasta un 63,68 % durante un tiempo de 28 días, es decir sus valores se hallan dentro de los rangos determinados por la norma. Por otro lado, dado que el almidón se ha convertido en uno de los polímero para elaboración de materiales biodegradables como fundas y envases, actualmente, las industrias alimenticias son beneficiadas de dichas investigaciones acoplándose a políticas dentro el ámbito ambiental de esta manera encontrando dentro del mercado productos innovadores y degradables a corto plazo que tienen como objetivo disminuir el relación de contaminación ambiental producido por el alto consumo de plásticos derivados del petróleo que pueden demorar en desintegrarse en el medio ambiente (Acosta et al.,2018, pp. 1-3).

CONCLUSIONES

- La obtención del bioplástico se llevó a cabo mediante un diseño factorial 2k, a través de cuatro tratamientos con variaciones de almidón y plastificante. El mayor rendimiento en cuanto a la extracción del almidón se presentó en el tratamiento número 4 (8,57%) T4, con una concentración de la fécula de 17,15%, operando a 3RPM durante un lapso de 24h.
- El almidón extraído de los rizomas de la achira verde (*canna edulis*), de acuerdo con la NTE INEN 1456, presentó excelentes características organolépticas, microbiológicas (en ausencia) y alto contenido de amilosa y amilopectina (58,38% y 41,62%), resultando apto para producir bioplásticos. De igual manera, su índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento (3,93g gel/g muestra; 17,10% y 3,87 respectivamente), se encuentran dentro del rango establecido por la FAO para favorecer la formulación de polímeros.
- La síntesis de bioplástico que empleó la formulación número 3 (F3), presentó los mejores resultados en cuanto a resistencia mecánica, por lo que, fue seleccionada como la mejor para elaborar los envases alimenticios. Estaba conformada por: 3g de almidón, 0,85g de glicerina, 3ml de alcohol poli vinílico al 5% y 35ml de agua.
- El bioplástico obtenido presentó buena transparencia, gran facilidad de moldeo, sensibilidad y suficiente espesor. Un porcentaje de humedad de $23,05 \pm 4,21$ que le otorga flexibilidad, solubilidad de $20,81 \pm 0,28$ % que asegura su firmeza y estabilidad. En cuanto a las características microbiológicas, hubo ausencia de hongos y bacterias, lo que asegura su empleo en alimentos.
- El análisis de biodegradabilidad de acuerdo con la norma EN 13432 determinó que, el bioplástico a base de rizoma de achira verde (*canna edulis*) se descompone en un 63,68% a los 28 días de ser expuesto en el suelo, y que, en este medio ocurre el más alto porcentaje con relación al medio acuático y aéreo (62,88% y 16,11%). Esto se debe a la presencia de los microorganismos descomponedores del suelo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda buscar nuevas formulaciones que sirvan de base para producir envases de uso alimenticio, de ser posible, empleando toda la planta de achira para optimizar su aplicabilidad.
- Se recomienda profundizar más sobre la calidad del almidón, guiándose en normativas o investigaciones de la región, para poder tener una perspectiva global.
- Se sugiere analizar la calidad del bioplástico del almidón del rizoma de achira verde mediante su aplicación en distintos usos que los envases alimenticios.
- Se sugiere diseñar un proceso productivo del bioplástico de achira para su implementación en el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ACUÑA PINTO, Harold Mauricio. Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados (Trabajo de titulación) (Posgrado). [En línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogotá-Colombia, 2012. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://silo.tips/download/harold-mauricio-acua-pinto>

ÁLZATE CARVAJAL, Erika N.; et al. “Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto (*erytina edulis triana ex micheli*)”. Temas Agrarios [en línea], 2013, (Colombia) 18(2), pp. 21–35. [Consulta: 02 febrero 2022]. ISSN 2389-9182. Disponible en: <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/714/830>

ARCOS JÁCOME, Roberto Xavier. Investigación del almidón de achira y propuesta gastronómica para el Cantón Pillaro (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Turismo, hotelería y Gastronomía, Carrera de Gastronomía, Quito-Ecuador, 2015. [Consulta: 22 noviembre 2021]. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/16047/60646_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ARISTIZÁBAL, Johanna; & SÁNCHEZ, Teresa. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca [en línea]. FAO, 2007. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

BOL DE CEREALES. *Achira o Caña de Indias* [blog]. 2022. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://bolcereales.com.ar/alimentacion/achira/>

BOLL STIFTUNG, Heinrich. *Atlas del Plástico. Datos y cifras sobre el mundo de los polímeros sintéticos* [en línea]. 2ª ed. El Salvador: Fundación Heinrich Boll, 2019. [Consulta: 16 diciembre 2021]. Disponible en: <https://sv.boell.org/sites/default/files/2020-04/ATLASDELPLASTICOESPANOL2020.pdf>

CALAPI CALAPI, Martha Cecilia. Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora y comercializadora de harina de achira para la ciudad de Quito (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ciencias

Administrativas y Económicas. Quito-Ecuador, 2010. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4632/1/UPS-QT02003.pdf>

CARTAY, Rafael. *Achira (Canna indica) sagú, bijao o capacho: alimento y medicina, Del Amazonas* [blog]. 2020. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://delamazonas.com/plantas-medicinales/achira/>

CHARRO ESPINOSA, Mónica Margarita. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Quito-Ecuador, 2015. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

CISNEROS, Fausto H.; et al. “Characterization of Starch from two Ecotypes of Andean Achira Roots (*Canna edulis*)”. *Agricultural and Food Chemistry* [en línea], 2009, (Suiza) 57(16), pp.7363–7368. [Consulta: 18 enero 2022]. ISSN 7363-4384. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf9004687>

CORPOICA; & PRONATTA. Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina y almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame [en línea]. Informe Técnico Final, 2003. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/3743/2/Agroindustria%20para%20la%20elaboracion%20de%20harina%20de%20achira.pdf>

DLEP. *Ácido Acético* [en línea]. Documentación Límites Exposición Profesional, 2018. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+119+%C3%81cido+ac%C3%A9tico++A%C3%B1o+2018.pdf/1d5b5a9a-4438-4105-8b77-3e68196f2701?version=1.0&t=1551310408920>

EL TELÉGRAFO. Miles de millones de toneladas de basura plástica se acumulan en la Tierra [en línea]. Agencia AFP, 2017. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://www.elselegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/miles-de-millones-de-toneladas-de-basura-plastica-se-acumulan-en-la-tierra>

EL TIEMPO. *La importancia de reducir (o prohibir) el plástico de un solo uso* [en línea]. Redacción Vida, 2019. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/que-es-el-plastico-de-un-solo-uso-y-que-consecuencias-tiene-en-la-naturaleza-342540#:~:text=Los%20contaminantes%20pl%C3%A1sticos%20de%20un%20solo%20uso%20son,ley%20que%20busca%20prohibir%20la%20fabricaci%C3%B3n%2C%20importaci%C3%B3n%2C%20>

ENCALADA FLORES, Katherine Stephanie. Obtención y caracterización de un material termoplástico a partir de polivinil alcohol y almidón de achira (*Canna edulis*) (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Carrera de Ingeniería Química. Quito-Ecuador, 2016. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15226/1/CD-7001.pdf>

ESPINA, Miguel; et al. “Propiedades mecánicas de bandejas elaboradas con almidón de especies vegetales nativas y fibras de residuos agroindustriales”. *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2016, (Perú) 7(2), pp. 133-143. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 2077-9917 Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v7n2/a06v7n2.pdf>

FAO. "Análisis fisicoquímico del almidón". *Guía técnica para la producción y análisis de almidón de Yuca.*, 2007, vol. 140, pp. 61-134.

GOMEZ AYALA, Sandra Liliana; & YORY SANABRIA, Fabian Leonardo. “Aprovechamiento de recursos renovables en la obtención de nuevos materiales”. *Ingenierías USBMed* [en línea], 2018, (Socorro) 9(1), pp. 69–74. [Consulta: 02 marzo 2022]. ISSN 2027-5846. Disponible en: <http://revistas.usbbog.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/3008/2781>

GONZÁLEZ, Agustín; et al. “Cross-linked soy protein as material for biodegradable films: Synthesis, characterization and biodegradation. *Journal of Food Engineering* [en línea], 2011, (Argentina), vol. 106, pp.332-3340. [Consulta: 02 febrero 2022]. ISSN 0260-8774. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026087741100286X>.

GUAMÁN BRAVO, Jenny Marcela. Obtención de plásticos biodegradables a partir de almidón de cascara de papa para su aplicación industrial (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería

Química. Riobamba-Ecuador, 2018. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11069/1/96T00540.pdf>

HERNÁNDEZ MEDINA, Marilyn; et al. “Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México”. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2008, (Yucatán-México) 28(3), pp. 718-726. [Consulta: 22 diciembre 2021]. ISSN 0101-2061. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNJk9Yf/?format=pdf>

HU, Bin. “Biopolymer-Based Lightweight Materials for Packaging Applications”. *American Chemical Society Symposium Series* [en línea], 2014, (United States) 1175(1), pp. 239-255. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 0002-7863. Disponible en: <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/sites.dartmouth.edu/dist/f/516/files/2015/06/biopolymer-for-packaging.pdf>

IDROVO VALLEJO, Wilson Andrés. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de harina de achira (*canna edulis*) en el cantón Loja (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ciencias Administrativas, Carrera de Ingeniería Empresarial, Quito-Ecuador, 2010. [Consulta: 17 diciembre 2021]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35440/54339-3-5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

INEC, I. N. *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Desentrales Municipales, Gestión de residuos sólidos 2018.*

JURADO ZAPATA, Oscar. “Descripción morfológica de 18 introducciones de achira (*Canna edulis*)”. Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA [en línea], 1197, (Colombia) 18(2), pp. 35–40. [Consulta: 02 febrero 2022]. ISSN 2122-7882. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/35440?locale-attribute=en>

LEDESMA UGSIÑA, Alexandra Abigail. Obtención de bioplástico a partir del maíz (*zea mays l*) y quinua (*chenopodium quinoa*) para envolturas alimenticias biodegradables (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, Riobamba-Ecuador. 2021. pp.65-68.

LINARES FALLA, Johanna; & REY NOVOA, Hector Yohan. Almidón de sagú (*canna edulis ker*), producto colombiano con potencial de comercialización internacional (Trabajo de titulación) (Posgrado). [En línea] Universidad Católica de Colombia, Programa de Economía. Bogotá-Colombia, 2019. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22363/1/Almid%C3%B3n%20de%20sag%C3%BA%20%28canna%20edulis%20ker%29%2C%20producto%20colombiano%20con%20potencial%20de%20comercializaci%C3%B3n%20internacional.pdf>

LÓPEZ POZAS LANUZA, Luis Enrique. *Perdigones 100% biodegradables y aparato para su elaboración* [en línea]. Oficina Española de Patentes y Marcas, 2012. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://patentados.com/2012/perdigones-100-biodegradables-y-aparato>

MANCHENO, Myriam; et al. “Aprovechamiento energético de residuos plásticos obteniendo combustibles líquidos, por medio de pirólisis”. *La Granja: Revista de Ciencias de Vida* [en línea], 2016, (Ecuador) 23(1), pp. 53-59. [Consulta: 22 junio 2022]. ISSN 1390-8596 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476051461008>

MARICHELVAM, Mariappan; et al. “Corn and rice starchbased bioplastics as alternative packaging materials”. *Fibers* [en línea], 2019, (Malasya), vol. 9, pp. 192-194. [Consulta: 21 agosto 2021]. ISSN 2079-6438. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/332318543_Corn_and_Rice_Starch-Based_BioPlastics_as_Alternative_Packaging_Materials

MEDINA, Andrea. *Quito desecha 277 toneladas de plástico al día* [en línea]. *El Comercio*, 2018. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/desecho-diario-plastico-basura-quito.html>

MENOSCAL CHICHANDA, Richard Esteven & RODRÍGUEZ MENDOZA, Elvin Daniel. *Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (Manihot esculenta)* (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, Carrera de Medio Ambiente. Calceta-Ecuador, 2017. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/623/TMA141.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MOJO, Steven. “Plásticos Biodegradables, ¿Qué son? y su relación con los RSU”. *Revista El Empaque* [en línea], 2009. no. 25, pp. 1-8. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <http://ecoplas.org.ar/pdf/25.pdf>.

MONTES HERNANDEZ, Adriana Isabel; et al. “Películas biodegradables con propiedades bioactivas”. *Ciencia y Tecnología de Alimentos* [en línea], 2017, (Venezuela) 8(1), pp.57–89.

[Consulta: 18 enero 2022]. ISSN 2218-4384. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318404904_Peliculas_biodegradables_con_propiedades_bioactivas

MOREJÓN TERÁN, Karina Eugenia. Utilización del almidón de achira en la elaboración de repostería ecuatoriana 2011 (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Salud Pública, Escuela de Gastronomía. Riobamba-Ecuador, 2012. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9470/1/84T00117.pdf>

MUSCAT, D.; et al. “Comparative study of film forming behaviour of low and high amylose starches using glycerol and xylitol as plasticizers”. *Journal of Food Engineering* [en línea], 2012, 109(2) pp. 189-201. [Consulta: 01 octubre 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877411005589>

NARVÁEZ GUERRERO, María Alejandra. Optimización de las propiedades mecánicas de bioplásticos sintetizados a partir de almidón (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Carrera de Ingeniería Química, Quito-Ecuador, 2016. [Consulta: 22 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6299/1/129278.pdf>

NATUREPLAST. *Aplicaciones industriales de los bioplásticos* [en línea]. NaturePlast L’expert en Bioplastiques, 2018. [Consulta: 16 diciembre 2020]. Disponible en: <http://natureplast.eu/es/aplicaciones-de-los-bioplasticos/>

NTE INEN 1456: 2013. *Norma Técnica Ecuatoriana Reactivos para Análisis de Almidón Soluble (para iodometría).*

NTE INEN 2542: 2010. *Láminas plásticas. Requisitos.*

PARKER, Laura. *El 91 por ciento del plástico que fabricamos no se recicla* [en línea]. National Geographic, 2017. [Consulta: 17 febrero 2022]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2017/07/el-91-por-ciento-del-plastico-que-fabricamos-no-se-recicla>

PEPLOW, Mark. “The plastics revolution: how chemists are pushing polymers to new limits”. Nature [en línea], 2016, (Escocia) 536(7616), pp. 266–268. [Consulta: 22 junio 2021]. ISSN 0028-0836 Disponible en: <https://sci-hub.st/10.1038/536266a>

POLINTER. *Métodos para medir la biodegradación* [en línea]. 2016. [Consulta: 02 agosto 2021]. Disponible en: https://polinter.com.ve/wp-content/uploads/2016/12/AMB-6-Me%CC%81todos_para_medir_la_biodegradacio%CC%81n.pdf

RAMÍREZ ORTEGA, César Alejandro. Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*) (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, Carrera de Agroindustrial, Guayaquil-Ecuador, 2021. [Consulta: 02 agosto 2021]. Disponible en: <http://201.159.223.180/bitstream/3317/16139/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-77.pdf>

RIBERA PILATASIG, Julio Hernan. Extracción de almidón de achira (*Canna Edulis.*) y modificación por acetilación y doble derivatización (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato-Ecuador, 2006. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3350/1/P86%20ref.2975.pdf>

RIVERA, Cecilia; et al. “Los empaques biodegradables, una respuesta a la consciencia ambiental de los consumidores”. Realidad Empresarial [en línea], 2019, 7(1), pp. 75-79. [Consulta: 12 marzo 2022]. ISSN 2388-1771. Disponible en: [doi:10.5377/reuca.v0i7.7830](https://doi.org/10.5377/reuca.v0i7.7830)

RODRÍGUEZ, Ariel. “Biodegradabilidad de materiales bioplásticos”. Ciencia y Tecnología de Alimentos [en línea], 2012, (Cuba) 22(3), pp. 69–72. [Consulta: 02 febrero 2022]. ISSN 0864-4497. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplásticos

SÁNCHEZ, Yoani. *América Latina y la “maldita circunstancia” del plástico por todas partes* [en línea]. DW.COM, 2019. [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/am%C3%A9rica-latina-y-la-maldita-circunstancia-del-pl%C3%A1stico-por-todas-partes/a-49368140>

STATISTA. *Producción de plástico a nivel mundial de 1950 a 2019, Statista* [página web]. 2022. [Consulta: 17 febrero 2022]. Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico/>

TUBON USCA, Irvin Ricardo. Formulación, elaboración y evaluación de bioenvase para caramelos a base de almidón de yuca, sacarosa y gelatina (Trabajo de titulación) (Pregrado). [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia, Riobamba-Ecuador, 2013. [Consulta: 17 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2572>





VON, Carl. *Achira, Enciclopedia EcuRed* [en línea]. 2014. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Achira>

YARURO CÁCERES, Nelly Camila. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas, térmicas y microestructurales del almidón de achira (*Canna edulis*) (Trabajo de titulación) (Posgrado). [En línea] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Bogotá-Colombia, 2018. [Consulta: 02 agosto 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69533/1143232250.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ZENG, X. “Bioplástico”. *Ingenia Materiales* [en línea], 2019, (España), no. 1, pp.1-2. [Consulta: 03 enero 2022]. Disponible en: http://polired.upm.es/index.php/ingenia_materiales/article/view/3951/4048

ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCION DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*) POR EL MÉTODO VÍA HÚMEDA.

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 						
<p>Notas:</p> <p>a) Materia prima, rizoma de achira (<i>canna edulis</i>)</p> <p>b) Pelado, lavado y desinfectado.</p> <p>c) Rendimiento del almidón</p> <p>d) Filtración</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por:</p> <p>Germán David Haro Carrillo</p>	<p>OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lámina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>06 DE MARZO DEL 2022</td> </tr> </tbody> </table>	Lámina	Escala	Fecha	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022
Lámina	Escala	Fecha							
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022							

Continuación ANEXO A

e)



f)



g)



h)

**Notas:**

- e) Decantado del almidón de achira verde (*canna edulis*)
- f) Secado del almidón extraído.
- g) Molienda del almidón extraído.
- h) Tamizado

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- Aprobado**
- Certificado**
- Información**
- Preliminar**
- Por aprobar**
- Por calificar**

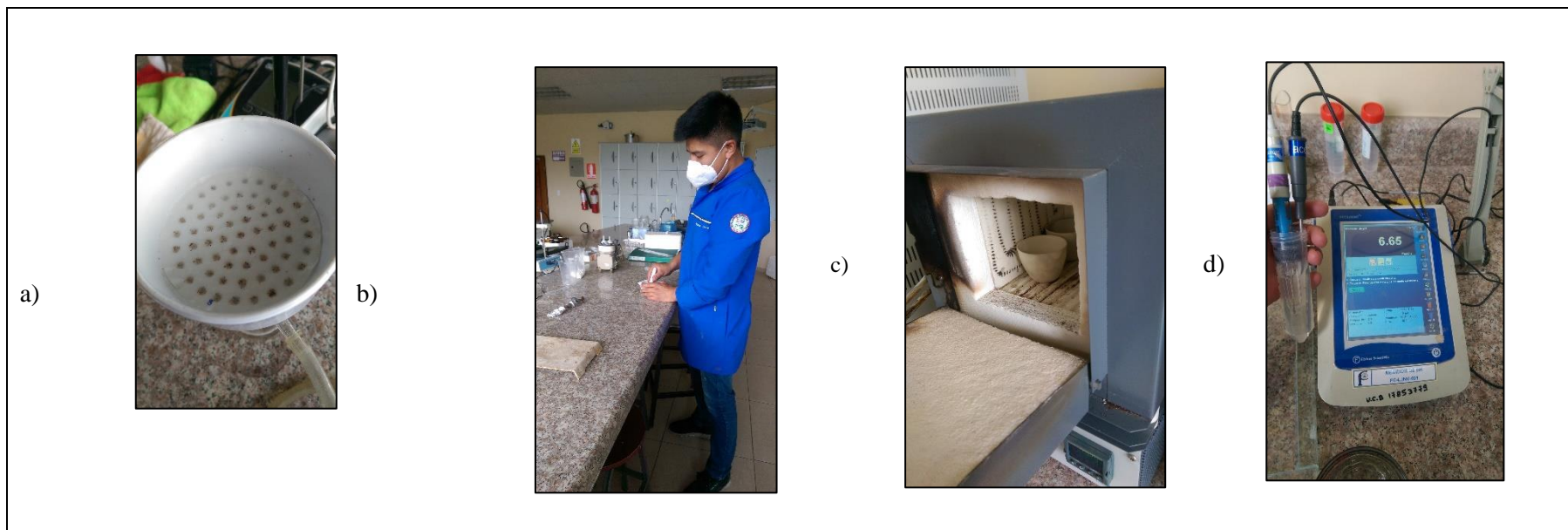
**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA**

Elaborado por:
Germán David Haro Carrillo

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA

Lámina	Escala	Fecha
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022

ANEXO B: ANALISIS PROXIMAL DEL ALMIDON DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).



Notas:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA	OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA		
			Lámina	Escala	Fecha
a) Determinación de fibra b) Determinación de azúcares reductores. c) Cenizas del almidón d) Determinación de pH	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	Elaborado por: Germán David Haro Carrillo	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022

e)



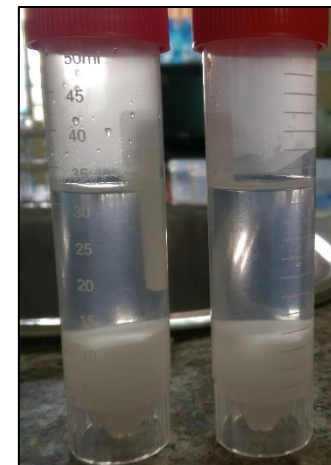
f)



g)



h)

**Notas:**

- i) Medición de viscosidad de almidón de achira verde
- j) Temperatura de gelatinización.
- k) IAA Índice de absorción de agua
- l) ISA Índice de solubilidad de agua y PH poder de

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

- Aprobado**
- Certificado**
- Información**
- Preliminar**
- Por aprobar**
- Por calificar**

**ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA
QUÍMICA**

Elaborado por:

Germán David Haro Carrillo



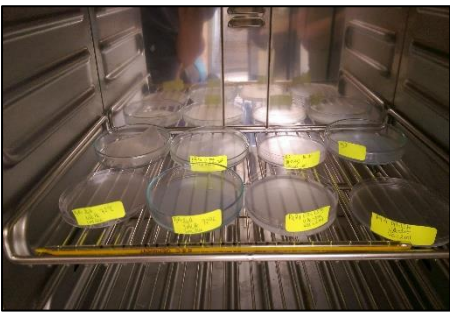

OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA

Lámina	Escala	Fecha
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022


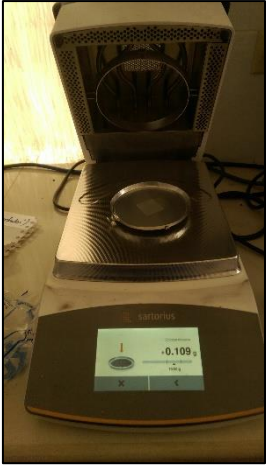


hinchamiento					
--------------	--	--	--	--	--

ANEXO C: ANALISIS PREVIOS A LA OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*).




ANEXO D: OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 						
<p>Notas:</p> <p>a) Preparación del PVA al 5%</p> <p>b) Formulaciones del bioplástico de almidón de achira verde</p> <p>c) Secado de bioplásticos</p> <p>d) Bioplásticos obtenidos del almidón de achira verde (<i>Canna edulis</i>)</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar 	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Germán David Haro Carrillo</p>	<p>OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lámina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>06 DE MARZO DEL 2022</td> </tr> </tbody> </table>	Lámina	Escala	Fecha	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022
Lámina	Escala	Fecha							
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022							

ANEXO E: PRUEBAS REALIZADAS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)

<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 	<p>d)</p> 						
<p>Notas:</p> <p>a) Prueba de solubilidad del biplástico obtenido del almidón de achira verde (<i>Canna edulis</i>)</p> <p>b) Determinación de humedad</p> <p>c) Espesor del material obtenido</p> <p>d) Desecador con tubos de ensayo</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por:</p> <p>Germán David Haro Carrillo</p>	<p>OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lámina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>06 DE MARZO DEL 2022</td> </tr> </tbody> </table>	Lámina	Escala	Fecha	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022
Lámina	Escala	Fecha							
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022							

ANEXO F: ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)



<p>a)</p> 	<p>b)</p> 	<p>c)</p> 							
<p>Notas:</p> <p>a) <i>Aerobios mesófilos</i></p> <p>b) <i>Escherichia Coli</i></p> <p>c) <i>Mohos y levaduras</i></p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Información</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado por: Germán David Haro Carrillo</p>	<p>OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lámina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>06 DE MARZO DEL 2022</td> </tr> </tbody> </table>	Lámina	Escala	Fecha	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022
Lámina	Escala	Fecha							
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022							

ANEXO G: PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ENVASE DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE

a)	b)	c)	d)							
Notas: a) Formulación para envase b) Moldeado del envase de almidón de achira verde c) Envase obtenido		CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA Elaborado por: Germán David Haro Carrillo	OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lámina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1:1</td> <td>06 DE MARZO DEL 2022</td> </tr> </tbody> </table>	Lámina	Escala	Fecha	1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022
Lámina	Escala	Fecha								
1	1:1	06 DE MARZO DEL 2022								

ANEXO H: ENSAYOS DE AMILOSA REALIZADOS SOBRE EL BIOPLÁSTICO DE ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE (*canna edulis*)

MC-LSAIA-2201-06

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTfts. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 21-0136

****NOMBRE PETICIONARIO:** German Haro
****DIRECCIÓN:** Riobamba
FECHA DE EMISIÓN: 26/07/2021
FECHA DE ANÁLISIS: Del 9 al 21 de julio del 2021

****INSTITUCIÓN:** Particular
****ATENCIÓN:** German Haro
FECHA DE RECEPCIÓN.: 09/05/2021
HORA DE RECEPCIÓN: 11h00
ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa


ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^Ω	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-04	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	Morrison y Laignelet 1983	
UNIDAD	%	%	
21-0845	6,32	58,38	Almidón de Achira

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.
 OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente


Responsable técnicamente por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA
Dr. Ivan Samaniego
RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME





Responsable técnicamente por:
BLADIMIR EFRAIN ORTIZ RAMOS
Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con ** son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

ANEXO I: ENSAYOS MECANICOS DEL BIOPLÁSTICO

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 02	
SOLICITADO POR:	Germán David Haro Carrillo
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (<i>Canna edulis</i>) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635.012
FECHA DE ENSAYO:	8-sep-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F2
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.14
ANCHURA [mm]	7.28
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.02
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3.682.E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3.36
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	3.30
CARGA MAXIMA [N]	3.78
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	3.71
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	0.44
OBSERVACIONES:	



Roberto - Eductor


[Firma]

Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción.


Continuación ANEXO I

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 03	
SOLICITADO POR:	Germán David Haro Carriño
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLASTICO A PARTIR DEL ALMIDON DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (<i>Canna edulis</i>) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADABLES"
DIRECCIÓN:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLASTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635:012
FECHA DE ENSAYO:	8-sep-21
EQUIPO UTILIZADO:	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B
MARCA:	JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD
SERIE:	7136
CERTIFICADO:	LNM-F-201650006
CÓD IDENT:	M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F3
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPESOR [mm]	0.11
ANCHURA [mm]	7.44
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	0.82
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	3.923 E+01
CARGA DE FLUENCIA [N]	3.54
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	4.32
CARGA MAXIMA [N]	3.87
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	4.73
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	29.68
OBSERVACIONES:	



LenMaV
LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES
Instituto Tecnológico de Santo Domingo

Aprobado por:




Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Continuación ANEXO I

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	
Denominación: RG 18 - 1	
N° 04	
SOLICITADO POR:	Germán David Haro Carrillo
PROYECTO DE TESIS:	"OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL ALMIDÓN DEL RIZOMA DE ACHIRA VERDE (<i>canna edulis</i>) PARA PRODUCCIÓN DE ENVASES ALIMENTARIOS BIODEGRADABLES"
DIRECCION:	ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TIPO DE MATERIAL:	BIOPLASTICO
MATERIAL:	LÁMINA DE PLÁSTICO
FECHA DE FABRICACIÓN:	2021 - 09
NORMA UTILIZADA:	NTE INEN 2635.012
FECHA DE ENSAYO:	8-sep-21
EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B	
MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD	
SERIE: 7136	CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2
DESIGNACIÓN DEL MATERIAL	F4
CARACTERÍSTICA	TRANSPARENTE
ESPEJOR [mm]	0.21
ANCHURA [mm]	6.85
LONGITUD INICIAL [mm]	25.00
SECCION TRANSVERSAL [mm ²]	1.44
MODULO DE ELASTICIDAD [MPa]	9.018.E+00
CARGA DE FLUENCIA [N]	2.91
ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa]	2.02
CARGA MAXIMA [N]	3.36
ESFUERZO MAXIMO [MPa]	2.33
PORCENTAJE DE ELONGACION [%]	11.84
OBSERVACIONES:	



Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO J: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE.



INFORME DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS SOLICITADO POR: *Sr. Germán Haro*
FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: *03 de septiembre del 2021*
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: *17 de septiembre del 2021*
LOCALIDAD: *Riobamba*

Tipo de Muestra: Almidón de Rizoma de Achira.

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
<i>Aerobios mesófilos</i>	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Coliformes Totales	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>)	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	Siembra en masa	Ausencia

RESPONSABLE:

Dra. Gina Alvarez R.

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 📠032 942 322
Saqmic Laboratorio 📍
Riobamba - Ecuador

saqmic

ANEXO K: ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA VERDE.



LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOS EN AGUA Y ALIMENTOS

RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

NOMBRE: Sr. Germán Haro

TIPO DE MUESTRA

Muestra 1 Rizoma de Achira (*canna edulis*)

Muestra 2 Almidón de rizoma de achira

FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 03 de septiembre del 2021

FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 17 de septiembre del 2021

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

Muestra 1: Rizoma de Achira (*canna edulis*)

Muestra 2: Almidón rizoma de Achira

Determinaciones	Unidades	Métodos de Análisis	Muestra 1	Muestra 2
Fibra cruda	%	Método gravimétrico Digestión ácida y básica	0,83	0,15
Proteína	%	Método Kjeldahl	2,71	0,29
Grasa	%	NTE INEN 523	1,5	<0,1

RESPONSABLE:

Dra. Gina Álvarez R.



El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador

saqmic