



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**SÍNTESIS DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN
ACETILADO PROCEDENTE DE CÁSCARAS DE ACHIRA (*Canna
indica*) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: LEYTOM FERNANDO VILLARREAL MINGA

DIRECTOR: Ing. MARCO RAÚL CHUIZA ROJAS, MSc.

Riobamba - Ecuador

2023

©2023, Leytom Fernando Villarreal Minga

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

Yo, Leytom Fernando Villarreal Minga, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de abril de 2023



Leytom Fernando Villarreal Minga

C.I. 172314727-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **SÍNTESIS DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN ACETILADO PROCEDENTE DE CÁSCARAS DE ACHIRA (Canna indica) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS**, realizado por el señor: **LEYTOM FERNANDO VILLARREAL MINGA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristina Alejandra Muñoz Shuguli, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-04-24
Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-24
Ing. Linda Mariuxi Flores Fiallos, MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-24

DEDICATORIA

Este trabajo de tesis en primer lugar está dedicado a Dios, quien ha sido mi guía, ayuda y apoyo durante todo mi tiempo en la universidad. Está dedicado a mi madre, Elsa Minga, que es y siempre será mi motivación principal, ya que me apoyó tanto moral como económicamente y me enseñó que, si se tiene fe y se persiguen los sueños con determinación, Dios los cumplirá en su momento. A mis hermanas Patricia Villarreal y Angie Villarreal que son un ejemplo de superación para mí.

Leytom

AGRADECIMIENTO

Con gran gratitud y alegría, agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de este camino y por haberme llevado hasta aquí. Agradezco a mi madre y hermanas por su constante apoyo en lo económico y moral, y por sus enseñanzas sobre perseverancia y fe, que son necesarias para alcanzar los más grandes sueños. Agradezco por formar parte de mi vida en esta recta final y si Dios me lo permite el resto de mi vida a mi novia Jennifer Valdiviezo por darme su amor y apoyo incondicional. También agradezco a mi tía Virginia, y mi prima Mishell por el apoyo que me han brindado. Agradezco a mi madrina Estela y mi nana Lisenia por cuidarme desde niño. Agradezco a mis panas Kevín Guevara, Diego Ormaza y Edwin Villamagua por ser unas maravillosas personas que conocí en la ciudad de Riobamba, que me han dejado gratos recuerdos.

Agradezco a mi director de tesis, el Ing. Marco chuiza, y a mi asesora, la Ing. Linda Flores, por dedicarme parte de su tiempo en sus asesorías y guías, que me permitieron llevar a cabo mi trabajo de investigación de la mejor manera. También agradezco al B.Q.F. Benjamin Roman y a los técnicos de laboratorio que fueron de gran ayuda con sus conocimientos y experiencias en la investigación. Agradezco al Ing. Hannibal Brito coordinador del Grupo de Investigación Ambiental y Desarrollo de la Epoch (GIADe) por la oportunidad de formar parte de él y desarrollar mi Trabajo de Integración Curricular. Finalmente, agradezco a la Escuela de Ingeniería Química, que forma parte de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme brindado hace cinco años la oportunidad de formarme profesionalmente en esta prestigiosa institución.

Leytom

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	xviii
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.	Planteamiento del problema	3
1.2.	Limitaciones y delimitaciones	3
1.2.1.	<i>Limitaciones</i>	3
1.2.2.	<i>Delimitaciones</i>	3
1.3.	Problema general de investigación	4
1.4.	Problemas específicos de investigación	4
1.5.	Objetivos	4
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.6.	Justificación	4
1.6.1.	<i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2.	<i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3.	<i>Justificación práctica</i>	5
1.7.	Hipótesis general	5
1.8.	Hipótesis específicas	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Antecedentes de investigación.....	7
2.2.	Referencias teóricas	8

2.2.1.	<i>Achira</i>	8
2.2.2.	<i>Descripción morfológica</i>	8
2.2.3.	<i>Estructura</i>	8
2.2.4.	<i>Almidón</i>	8
2.2.5.	<i>Amilosa</i>	8
2.2.6.	<i>Amilopectina</i>	9
2.2.7.	<i>Propiedades del almidón</i>	9
2.2.8.	<i>Modificación del almidón nativo</i>	10
2.2.9.	<i>Almidón acetilado</i>	11
2.2.9.1.	<i>Ventajas de la acetilación</i>	11
2.2.10.	<i>Películas biodegradables</i>	11
2.2.11.	<i>Bioplástico</i>	12
2.2.12.	<i>Propiedades mecánicas</i>	12
2.2.13.	<i>Matriz de consistencia</i>	13

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1.	Enfoque de investigación	16
3.2.	Nivel de investigación	16
3.3.	Diseño de investigación	16
3.3.1.	<i>Diseño experimental de la investigación</i>	16
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	17
3.4.	Tipo de estudio	18
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	18
3.5.1.	<i>Unidad de análisis</i>	18
3.5.2.	<i>Población de estudio</i>	19
3.5.3.	<i>Tamaño y selección de la muestra</i>	19
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	21
3.6.1.	<i>Lugar de realización</i>	21
3.6.2.	<i>Técnica de extracción del almidón</i>	22
3.6.3.	<i>Técnica para la caracterización del almidón de la cáscara de Achira (Canna Indica)</i>	25
3.6.4.	<i>Técnica para la acetilación del almidón</i>	34
3.6.5.	<i>Proceso de obtención de la biopelícula</i>	36
3.6.6.	<i>Técnica para la caracterización de la biopelícula</i>	38

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1.	Datos obtenidos	41
4.1.1.	<i>Almidón</i>	41
4.1.1.1.	<i>Análisis físico químico de la materia prima</i>	41
4.1.1.2.	<i>Rendimiento promedio del almidón de las cáscaras de Achira</i>	43
4.1.2.	<i>Acetilación</i>	44
4.1.2.1.	<i>Tratamiento por acetilación</i>	44
4.1.2.2.	<i>Rendimiento del almidón por acetilación</i>	45
4.1.3.	<i>Bioplástico</i>	46
4.1.3.1.	<i>Elaboración del blanco</i>	46
4.1.3.2.	<i>Elaboración con el almidón acetilado</i>	46
4.1.3.3.	<i>Ensayo de humedad</i>	49
4.1.3.4.	<i>Ensayo de solubilidad</i>	49
4.1.3.5.	<i>Espesor</i>	50
4.1.3.6.	<i>Ensayo de permeabilidad</i>	51
4.1.3.7.	<i>Prueba degradabilidad</i>	51
4.2.	Cálculos	53
4.2.1.	<i>Almidón</i>	53
4.2.1.1.	<i>Rendimiento de la extracción por vía húmeda</i>	53
4.2.1.2.	<i>Contenido de cenizas</i>	53
4.2.1.3.	<i>Índice de solubilidad de agua</i>	53
4.2.2.	<i>Acetilación</i>	54
4.2.2.1.	<i>Rendimiento de la producción de almidón acetilado</i>	54
4.2.3.	<i>Bioplástico</i>	54
4.2.3.1.	<i>Porcentaje de solubilidad</i>	54
4.2.3.2.	<i>Porcentaje de permeabilidad</i>	54
4.2.3.3.	<i>Porcentaje de degradabilidad</i>	55
4.2.3.4.	<i>Porcentaje de humedad</i>	55
4.3.	Resultados	56
4.3.1.	<i>Almidón</i>	56
4.3.1.1.	<i>Características sensoriales de la materia prima</i>	56
4.3.1.2.	<i>Rendimiento de la extracción por vía humedad</i>	56
4.3.1.3.	<i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos</i>	57

4.3.1.4.	<i>Espectro infrarrojo del almidón de achira</i>	59
4.3.1.5.	<i>Tamaño del gránulo</i>	59
4.3.2.	<i>Acetilación</i>	60
4.3.2.1.	<i>Rendimiento del proceso de acetilación</i>	60
4.3.3.	<i>Bioplástico</i>	60
4.3.3.1.	<i>Análisis preliminar</i>	60
4.3.3.2.	<i>Pruebas físicas del bioplástico</i>	62
4.3.3.3.	<i>Prueba degradabilidad</i>	62
4.3.3.4.	<i>Tiempo estimado de biodegradabilidad</i>	63
4.3.3.5.	<i>Resultado de la aplicación de la biopelícula en el producto</i>	63
4.3.3.6.	<i>Ensayos de tracción</i>	63
4.3.4.	<i>Valoración económica</i>	73
4.3.5.	<i>Prueba de hipótesis</i>	74
4.3.5.1.	<i>Hipótesis general</i>	74
4.3.5.2.	<i>Hipótesis específica</i>	74

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	76
----	--------------------------------	----

	CONCLUSIONES	77
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES	78
--	------------------------------	----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Matriz de consistencia.....	13
Tabla 1-3:	Diseño experimental para la acetilación del almidón	17
Tabla 2-3:	Identificación de variables	18
Tabla 3-3:	Boceto para el cálculo promedio del rendimiento del almidón de la Achira	20
Tabla 4-3:	Boceto totalmente al azar para la elaboración de la biopelícula mediante la acetilación del almidón de Achira.....	21
Tabla 5-3:	Técnica de extracción del almidón de la cáscara de Achira.....	22
Tabla 6-3:	Técnica para realizar la caracterización del almidón de la cáscara de Achira	25
Tabla 7-3:	Técnica para la acetilación del almidón	34
Tabla 8-3:	Proceso de obtención de la biopelícula.....	36
Tabla 9-3:	Técnica para la caracterización de la biopelícula.....	38
Tabla 1-4:	Análisis físico químico de la materia prima.....	41
Tabla 2-4:	Rendimiento de almidón de las cáscaras de Achira	43
Tabla 3-4:	Tratamiento por acetilación.....	44
Tabla 4-4:	Rendimiento del almidón por acetilación	45
Tabla 5-4:	Formulación del blanco.....	46
Tabla 6-4:	Elaboración de la biopelícula con el almidón acetilado.....	47
Tabla 7-4:	Ensayo de humedad.....	49
Tabla 8-4:	Ensayo de solubilidad	50
Tabla 9-4:	Ensayo de espesor	50
Tabla 10-4:	Ensayo de permeabilidad	51
Tabla 11-4:	Prueba degradabilidad en suelo.....	52
Tabla 12-4:	Prueba degradabilidad en aire	52
Tabla 13-4:	Prueba degradabilidad en agua.....	52
Tabla 14-4:	Caracterización sensoriales de la materia prima	56
Tabla 15-4:	Rendimiento de almidón	57
Tabla 16-4:	Hipotesis del rendimiento del almidón	57
Tabla 17-4:	ANOVA del rendimiento del almidón	57
Tabla 18-4:	Análisis Tukey del rendimiento del almidón	57
Tabla 19-4:	Parámetros físicoquímicos y microbiológicos de las cáscaras.....	57
Tabla 20-4:	Parámetros físicoquímicos y microbiológicos del almidón	58
Tabla 21-4:	Espectro infrarrojo del almidón de achira.....	59
Tabla 22-4:	Rendimiento del almidón acetilado.....	60

Tabla 23-4:	Evaluación previa del blanco	61
Tabla 24-4:	Evaluación previa del bioplástico con almidón Acetilado.....	61
Tabla 25-4:	Ensayos físicos del bioplástico	62
Tabla 26-4:	Ensayo de degradabilidad	62
Tabla 27-4:	Tiempo estimado de biodegradabilidad en diferentes ambientes	63
Tabla 28-4:	Aplicación de la biopelícula en el producto.....	63
Tabla 29-4:	Pruebas mecánicas del blanco.....	64
Tabla 30-4:	Módulo elástico.....	64
Tabla 31-4:	ANOVA módulo elástico.....	64
Tabla 32-4:	Análisis Tukey para el módulo elástico	64
Tabla 33-3:	Máxima carga.....	65
Tabla 34-4:	ANOVA máxima carga.....	65
Tabla 35-4:	Análisis Tukey para máxima carga.....	65
Tabla 36-4:	Máximo desplazamiento	65
Tabla 37-4:	ANOVA máximo desplazamiento	66
Tabla 38-4:	Análisis Tukey para máximo desplazamiento.....	66
Tabla 39-4:	Máximo esfuerzo.....	66
Tabla 40-4:	ANOVA máximo esfuerzo.....	66
Tabla 41-4:	Análisis Tukey para máximo esfuerzo.....	67
Tabla 42-4:	Máxima deformación	67
Tabla 43-4:	Anova máxima deformación.....	67
Tabla 44-4:	Análisis Tukey para máxima deformación	67
Tabla 45-4:	Rotura de carga	68
Tabla 46-4:	ANOVA rotura de carga	68
Tabla 47-4:	Análisis Tukey para rotura de carga.....	68
Tabla 48-4:	Rotura desplazamiento.....	68
Tabla 49-4:	ANOVA rotura desplazamiento.....	69
Tabla 50-4:	Análisis Tukey para rotura desplazamiento	69
Tabla 51-4:	Rotura esfuerzo	69
Tabla 52-4:	ANOVA rotura esfuerzo	69
Tabla 53-4:	Análisis Tukey para rotura de esfuerzo.....	70
Tabla 54-4:	Rotura deformación.....	70
Tabla 55-4:	ANOVA rotura deformación.....	70
Tabla 56-4:	Análisis Tukey para rotura deformación.....	70
Tabla 57-4:	Pruebas mecánicas con Almidón acetilado.....	72
Tabla 58-4:	Espectroscopia infrarroja del mejor tratamiento	73

Tabla 59-4:	Insumo de la producción de almidón	73
Tabla 60-4:	Insumos de la acetilación del almidón	74
Tabla 61-4:	Insumos de producción de las láminas biodegradables.....	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Molécula lineal de Amilosa	9
Ilustración 2-2:	Molécula de amilopectina	9
Ilustración 3-2:	Reacción de acetilación del almidón	11
Ilustración 1-3:	Diseño factorial $2K$ para la extracción de almidón de Achira	17
Ilustración 2-3:	Diagrama de flujo de la obtención del almidón de la Achira (canna indica)	24
Ilustración 3-3:	Diagrama de flujo para la acetilación del almidón.....	35
Ilustración 4-3:	Diagrama de flujo para la obtención de la biopelícula.....	37
Ilustración 1-4:	Espectro infrarrojo del almidón de achira	59
Ilustración 2-4:	Tamaño del gránulo.....	60
Ilustración 3-4:	Espectroscopia infrarroja del mejor tratamiento	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3: Densidad aparente del almidón compactado	26
Ecuación 2-3: Índice de solubilidad en agua (ISA)	29
Ecuación 3-3: Porcentaje de humedad (%)	31
Ecuación 4-3: Porcentaje de solubilidad	38
Ecuación 5-3: Porcentaje de permeabilidad	39
Ecuación 6-3: Porcentaje de degradabilidad	40

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

RPM	Revoluciones por minuto
LA	Límite alto
LB	Límite bajo
S	Segundo
V	Volumen
AN	Almidón nativo
cP	Centipoise
ISA	Índice de solubilidad en agua
C₄H₆O₃	Anhídrido acético
CH₃COOH	Ácido acético
NaOH	Hidróxido de sodio
CH₃COOH	Ácido acético
WPV	Permeabilidad al vapor de agua
%	Porcentaje

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** SELECCIÓN, MEDICIÓN, PESO, PELADO Y LAVADO DE LA MATERIA PRIMA
- ANEXO B:** EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA
- ANEXO C:** PRUEBAS DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA
- ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN
- ANEXO E:** INTERPRETACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN
- ANEXO F:** ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN
- ANEXO G:** SECADO DEL ALMIDÓN
- ANEXO H:** ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO DEACHRA
- ANEXO O:** PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO
- ANEXO P:** DEGRADABILIDAD EN LOS TRES AMBIENTES Y ANÁLISIS DE ÁREA
- ANEXO Q:** PRUEBAS EN ALIMENTO
- ANEXO R:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA
- ANEXO S:** ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA MATERIA PRIMA DE ACHIRA
- ANEXO T:** INFORME CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA
- ANEXO U:** INFORME ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA BIOPELÍCULA
- ANEXO V:** INFORME DE CARCATERIZACIÓN DE LA BIOPELÍCULA
- ANEXO W:** ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo sintetizar una biopelícula a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira (*canna indica*) para la conservación de alimentos, con sus respectivos ensayos para conocer si hubo mejoras en los tratamientos. En primer lugar, se extrajo el almidón de Achira por vía húmeda, bajo un análisis factorial 2k, variando la velocidad de trituración (Baja y Alta) y el tiempo de trituración (30 y 45) s, con el fin de examinar los rendimientos, donde se eligió al tratamiento T4 con un valor de 4,350 %, trabajando con una velocidad alta de (20000) RPM y un tiempo de 45 s. Con ello se procedió a caracterizar el almidón bajo las normas Fao, AOAC y INEN, Obteniendo resultados dentro de los límites permitidos. Después se realizaron los procesos de acetilación del almidón variando el volumen de anhídrido acético en tres niveles (5, 10, 15) mL. Seguidamente se trabajó en la formulación de la biopelícula empleando un diseño totalmente al azar , así mismo se realizó la caracterización evaluando propiedades de humedad, espesor, solubilidad y permeabilidad, incluyendo la degradabilidad en tres medios; obteniendo una degradabilidad en agua de hasta el 100% en ciertos tratamientos, 61,34% en suelo y 28,469 en ambiente, esto evaluado en un tiempo de 30 días, además de las pruebas mecánicas mediante el uso de la maquina universal de tracción, mostrando al tratamiento AA2G1 como el más apto con buenas características físicas y mecánicas, relacionándolo con la formulación (2 g almidón de nivel II, 30 mL agua destilada, 1 ml de glicerina, 5 mL ácido acético), finalmente se ejecutó pruebas de conservación de alimentos. Se concluyó que el almidón acetilado de achira es apto para la manufactura de biopelículas ya que es biodegradable y con buenas características físicas-mecánicas y ayuda a conservar los alimentos.

Palabras clave: <ACETILACIÓN>, <ACHIRA (Canna edulis)>, <ANHÍDRIDO ACÉTICO>, <BIODEGRADABLE>, <CARACTERIZACIÓN>, <BIOPELÍCULAS>.

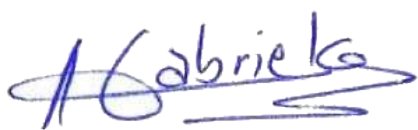


0769-DBRA-UTP-2023

ABSTRACT

The objective of this research was to synthesize a biofilm from acetylated starch from Achira (*canna indica*) husks for food preservation, with their respective tests in order to determine if there were improvements in the treatments. First, Achira starch was extracted by wet process, under a 2k factorial analysis, varying the crushing speed (Low and High) and the crushing time (30 and 45) s, to examine the yields, where the T4 treatment was chosen with a value of 4,350 %, working with a high speed of (20000) RPM and a time of 45 s. With this, we proceeded to characterize the starch under the Fao, AOAC and INEN standards, obtaining results within the permitted limits. Afterwards, the starch acetylation processes were carried out by varying the volume of acetic anhydride in three levels (5, 10, 15)mL. Next, the biofilm formulation was worked on using a totally randomized design, and the characterization was carried out by evaluating the properties of moisture, thickness, solubility and permeability, including degradability in three media, obtaining a degradability in water of up to 100% in certain treatments, 61.34% in soil and 28.469 in environment, this was evaluated in a time of 30 days, in addition to mechanical tests using the universal traction machine, showing the AA2G1 treatment as the most suitable with good physical and mechanical characteristics, relating it to the formulation (2 g level II starch, 30 mL distilled water, 1 ml of glycerin, 5 mL acetic acid). Finally food preservation tests were performed. It was concluded that acetylated achira starch is suitable for the manufacture of biofilms as it is biodegradable and with good physical-mechanical characteristics helping to preserve food.

Key words: <ACETYLATION>, <ACHIRA (*Canna edulis*)>, <ACETIC ANHYDRIDE>, <BIODEGRADABLE>, <CHARACTERIZATION>, <BIOFILMS>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso Espinosa, Mgs

C.I: 110369613-2

INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo, el ser humano ha satisfecho sus necesidades utilizando los recursos naturales disponibles, lo que ha generado una dependencia que le ha permitido un desarrollo económico a lo largo de su historia (Menoscal Chichanda y Rodríguez Mendoza, 2017). La producción masiva de plásticos, fabricados a partir de derivados del petróleo, se ha convertido en la principal fuente de contaminación a nivel mundial según investigaciones. La mayoría de los productos y materiales plásticos, como botellas e insumos, son producidos a partir del petróleo, contribuyendo a la generación de alrededor de 4 millones de toneladas de plástico en todo el mundo, siendo el 80% de los residuos generados plásticos. En nuestro país, el consumo de este material produce alrededor de 117,000 toneladas de daño al año, lo que pone de manifiesto la necesidad de buscar alternativas sostenibles y amigables con el medio ambiente, como el uso de bioplásticos producidos a partir de materiales renovables como el almidón de la achira.(Estrada, 2020, p.10). A pesar de que el ser humano ha obtenido beneficios del entorno natural, existe una falta de equilibrio entre el desarrollo económico y el cuidado del medio ambiente, ya que la mayoría de los recursos naturales son utilizados para satisfacer las necesidades humanas, lo cual conduce a la degradación del ecosistema. Afortunadamente, se han desarrollado alternativas para fomentar el crecimiento económico en la industria sin afectar el medio ambiente, como por ejemplo reducir la emisión de dióxido de carbono generado por la producción masiva de plásticos a partir de derivados del petróleo, que dañan el planeta (García Pérez, 2013).

La implementación de procesos de acetilación del almidón es una técnica clave en la producción de bioplásticos a partir de materiales orgánicos. Esta técnica permite obtener un material más resistente y flexible que el almidón sin procesar, lo que lo hace más adecuado para su uso en aplicaciones industriales, como el embalaje de alimentos (Chimbo Encalada 2021). La utilización de bioplásticos en lugar de plásticos derivados del petróleo reduce significativamente el impacto ambiental negativo, ya que los bioplásticos son biodegradables y no generan residuos tóxicos que dañen el medio ambiente. Por lo tanto, la implementación de procesos de acetilación del almidón es una estrategia importante para promover la producción y el uso de bioplásticos como una alternativa sostenible al plástico tradicional (Estrada, 2020, p.10).

La propuesta del Trabajo de Integración Curricular busca hallar una opción para disminuir la contaminación ocasionada por el uso desmedido de plásticos. Con este fin, se está produciendo un plástico biodegradable utilizando el almidón de la achira, el cual es sometido a un proceso de

acetilación para mejorar sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas, y se está evaluando su rigidez y compactibilidad.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En busca de alternativas para combatir la contaminación ambiental provocada por los desechos plásticos derivados del petróleo, surge como opción el estudio del uso de almidón como fuente de materia prima renovable, para la elaboración de nuevos componentes biodegradables que sustituyan total o parcialmente al plástico tradicional.

El consumo de la achira se da de forma natural, generando residuos orgánicos que no son valorizados, estos a su vez pueden convertirse en fuente de materia prima para otros procesos.

En nuestro país se consume la Achira netamente como un producto directo, desechando sus cáscaras a la basura sin ser aprovechadas, es así que la presente investigación estudia la extracción y formulación de almidón modificado por acetilación para la elaboración de biopelículas como alternativa para la sustitución de polímeros sintéticos reforzando la conservación del medio ambiente y un estilo de vida más saludable.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

La elaboración de láminas de bioplástico a partir de almidón acetilado de la achira requiere la realización de análisis microbiológicos que necesitan de otros mecanismos para asegurar el cumplimiento de las normas establecidas. Estos análisis también contribuyen a mejorar las características físicas y químicas del bioplástico obtenido.

1.2.2. Delimitaciones

La investigación se centrará exclusivamente en el uso del almidón de la achira y la acetilación en la fabricación del bioplástico, y se investigará en profundidad la influencia de estos dos componentes clave en el proyecto. Tanto la acetilación como el almidón mencionado serán objeto de evaluación exhaustiva durante la investigación.

1.3. Problema general de investigación

¿Es factible el uso de biopelículas sintetizadas a partir de almidón acetilado procedentes de cáscaras de Achira para la conservación de alimentos?

1.4. Problemas específicos de investigación

- ¿Es factible la extracción de almidón a partir de las cáscaras de Achira por vía húmeda?
- ¿Es factible modificar el almidón a través de procesos de acetilación?
- ¿Es factible la determinación de una formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes?
- ¿Es factible la validación de la biopelícula mediante pruebas físicas, mecánicas?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Sintetizar una biopelícula a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira (canna indica) para la conservación de alimentos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Extraer almidón a partir de cáscaras de Achira (canna indica) por vía húmeda.
- Modificar el almidón a través de procesos de acetilación.
- Determinar la formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes.
- Validar la biopelícula obtenida mediante pruebas físicas, mecánicas y biodegradables.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La Achira es una planta nativa de los andes, ampliamente cultivada en Sudamérica y Asia, se caracteriza por gránulos muy grandes, pasta transparente, alta viscosidad, alta retrogradación y alta resistencia al hidrolisis por α -amilasa (Andrade-Mahecha, et al., 2012).

El producto además de ser utilizado para el consumo, el subproducto generado se le puede dar un

valor agregado, mediante una investigación donde se pueda extraer almidón, modificarlo químicamente, para así obtener una biopelícula biodegradable adecuada para la conserva de alimentos.

A falta de investigación de las propiedades y ventajas que provee el almidón de achira, el presente estudio permitirá evaluar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del almidón y sus propiedades bajo acetilación en la producción de películas biodegradables a nivel de laboratorio, ya que posee notables propiedades funcionales como la claridad de su pasta (13.03 % T) a diferencia del maíz (7.87%T) y arroz (2.67%T) (Algar 2019). De ser implementado ayudaría a mejorar zonas andinas con pocas oportunidades de desarrollo, teniendo así un impacto social, Cabe señalar que mundialmente la industria del almidón está acaparada por cultivos tradicionales como maíz, papa, trigo y arroz. Pese a esto se ha venido estudiando la inclusión de materias primas no convencionales, ocasionando que se investiguen fuentes alternas para la extracción y mejoramiento de este polímero para satisfacer la necesidad del sector industrial.

1.6.2. Justificación metodológica

Para lograr los objetivos propuestos, se recurrirá a la implementación del diseño experimental 2k, normas estandarizadas, referencias bibliográficas, como también al uso de equipos digitales para los análisis físicos y mecánicas de la biopelícula, con ello se busca implementar los escenarios más idóneos para llevar a cabo la parte experimental y su posterior análisis.

1.6.3. Justificación práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de efectuar estudios que indaguen en nuevas alternativas para la producción de plásticos con características aptas para el uso cotidiano, a base de materiales biodegradables y amigables con el ambiente.

1.7. Hipótesis general

Es fiable usar biopelículas obtenidas a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira (*Canna Indica*) para la conservación de alimentos como sustituto de plásticos tradicionales derivados del petróleo.

1.8. Hipótesis específicas

- Es fiable el proceso extracción de almidón a partir de cáscaras de Achira (Canna Indica) por vía húmeda, para la obtención de un rendimiento adecuado de almidón, suficiente para el desarrollo de la biopelícula.
- Es fiable modificar el almidón a través de procesos de acetilación.
- Es fiable la determinación de una formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes.
- Es fiable la validación de la biopelícula obtenida mediante pruebas físicas y mecánica e indican si su formulación tiene un efecto significativo en la resistencia y maleabilidad de la biopelícula.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La investigación realizada por Ariza León, et al (2013, p.5) “Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua” evalúa la efectividad del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. Resaltando las características físicas que posee como: olor blanco grisáceo, olor y sabor neutro, textura polvosa; y su composición en porcentaje en peso debe ser: contenido de almidón de 71,1-81,3%, humedad 13,6-23,4%, proteína 0,18-0,71%, grasa 0,048-0,09%, cenizas 0,17-0,4%, fibra 0,0023-0,0053%, tiempo de sedimentación 6,2-16,5min, tamaño de partícula 100 a 300µm, densidad 0,63 - 0,71g/cm³, pH 5,5 - 6,2.

Borray, et al (2003, p.8) “El Almidón de Achira o Sagú (*Canna edulis*, Ker)” es un manual técnico que detalla recomendaciones tecnológicas para la elaboración del almidón de Achira, el cual recoge los resultados de la investigación desarrollada por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. El proceso que plasman tiene como objetivo la separación o extracción del almidón presente en el tejido celular de los rizomas de la achira; para esto se realizan una serie de operaciones unitarias que empieza por la recolección de los rizomas, para posteriormente pasar por un lavado, rallado de los rizomas, separación del almidón, lavado sucesivo, almidón blanco, secado y finalmente un empaquetado.

En el estudio investigativo realizado por Ribera (2006, p.76) “Extracción de almidón de achira (*Canna Edulis*.) y modificación por acetilación y doble derivatización”, enfocándose en la determinación de las propiedades fisico-químicas del almidón, como también conocer las característica y propiedades específicas que presenta el almidón acetilado. Para ello el almidón nativo de achira se pesa, se agrega agua destilada. La lechada se coloca bajo condiciones moderadas de agitación mecánica. Luego se ajusta el pH de la suspensión de NaOH al 3%, mientras se incorpora el 3% de anhídrido con respecto al peso del almidón. Se ajusta el pH y se centrifuga la mezcla. Decantar el agua sobrante y extraer la parte sólida (sedimentación), secar y pasar por un tamiz.

El proyecto de investigación de Chimbo Encalada (2021, p.21) “Producción de plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (*manihot esculenta*), detalla el procedimiento para la elaboración de láminas de plástico biodegradable, llevando a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo para determinar la textura, aspecto, flexibilidad y resistencia, con la finalidad de verificar si el producto es eficiente, económico y con

buenas propiedades mecánicas.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Achira

Es una planta herbácea, perenne de origen andino que se cultiva principalmente para la extracción de almidón de sus rizomas (García et al., 1998, p.54). Se estima que en el siglo XI los Incas la utilizaban como alimento por su alto contenido de almidón y azúcar, sin embargo últimamente su producción se ha reducido paulatinamente, debido a las dificultades para su procesamiento (Novoa, 2006, p.4).

2.2.2. Descripción morfológica

La planta presenta raíces generalmente pequeñas, adventicias, de color blanco cremoso o pardo amarillento, sus rizomas son esféricos pueden medir hasta 12 centímetros de largo y de ancho de 3 a 10 centímetros, su altura oscila entre 2.5 y 3 metros según el cultivar, en su extremos superior se encuentra su racimo floral (Estrada, 2020, p.6).

2.2.3. Estructura

Está formado por dos polisacáridos; amilosa y amilopectina, ambas tienen la misma estructura en común, pero se diferencian por el tipo de enlace, el primero lineal y el segundo ramificado, ocasionando un arreglo espacial en forma helicoidal y doble hélice respectivamente (García Pérez, 2013). Al ser un polímero de α -glucosa sus monómeros se encuentran en enlaces 1-4 y suelen en ocasiones ramificarse formando un enlace adicional en posición 1-6 (Parker y Ring, 2001, p.9).

2.2.4. Almidón

Es un carbohidrato almacenado por las plantas en los tejidos de los gránulos, tubérculos o raíces, La forma de su granulo es semicristal no insoluble, el 98-99% del peso seco del gránulo está representado por la amilosa y la amilopectina (Montenegro, 2013, p.65).

2.2.5. Amilosa

Posee pocas ramificaciones, compuesta por la unión de unidades α -glucosa (OH del carbono

anomérico en posición axial). Solo aparecen enlaces 1-4 desarrollando una estructura lineal formando una hélice y tiene una gran tendencia a retrogradar siendo la causante de deterioro a corto plazo (Hizukuri et al., 1981, p.21).

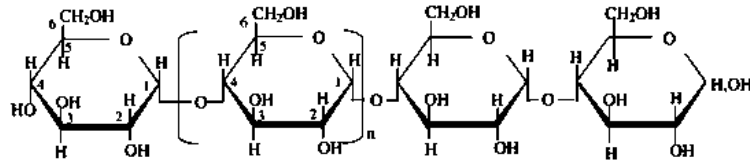


Ilustración 1-2: Molécula lineal de Amilosa

Fuente: (Tester et al., 2004).

2.2.6. Amilopectina

Es una molécula ramificada semejándola a la de un árbol compuesta por unión de unidades de α -glucosa mediante enlaces 1-4, pero modificado con uniones 1-6 cada 25 a 30 restos de glucosa (Menoscal Chichanda y Rodríguez Mendoza, 2017). En ella se forma puentes de hidrogeno entre las ramificaciones, creando estructuras cristalinas estable. Se puede decir que la amilopectina es la parte insoluble y la amilosa es la parte soluble (Montenegro, 2013, p.5).

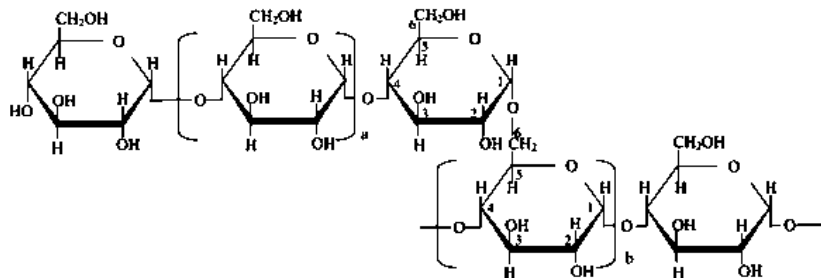


Ilustración 2-2: Molécula de amilopectina

Fuente:(Tester et al., 2004, p.32).

2.2.7. Propiedades del almidón

En base a la investigación realizada por García et al (2020, p.21) detalla las principales propiedades del almidón como: la desestructuración, gelatinización, retrogradación y biodegradación. Por otra parte García Pérez (2013) expone otras las propiedades funcionales del almidón como: retención de agua, porcentaje de solubilidad, factor de hinchamiento, claridad de la suspensión.

- *Gelatinización*

Durante este proceso el orden molecular en la parte interna de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, debido a esto la temperatura de gelatinización cambia para cada tipo de almidón (Martínez et al., 2015). Al encontrarse la amilosa y amilopectina empaquetadas dentro de los gránulos y al ser estos sometidos a temperatura en presencia de agua, se hinchan provocando que su estructura laminar y el ordenamiento molecular se pierdan aumentando así su viscosidad, a esto se lo conoce como gelatinización, es decir un cambio de fase donde pierde propiedades, obteniendo una estructura semicristalina (León, 2018, p.6).

- *Desestructuración*

Es la transformación de los granos de almidón semicristal no en una matriz homogénea de polímero amorfo, por un lado, se da el rompimiento de los puentes de hidrógeno entre las moléculas y por el otro la despolimerización parcial de las moléculas (Avilés, 2006, p.7).

- *Biodegradación*

Hace referencia a la degradación de los compuestos contaminantes en compuestos con menor amenaza de contaminación, debido al metabolismo que tiene los microorganismos al encontrarse en ciclos biogeoquímicos naturales (García et al, 2020, p.6).

- *Retrogradación*

Hace referencia a la reorganización y reorientación de los puentes de hidrogeno y sus cadenas moleculares (Meneses et al, 2007, p.6). En el estudio realizado por Sandoval, et al (2007, p.7) señala que es un fenómeno complejo y depende de factores como es el caso de la fuente y concentración de almidón, la temperatura de cocción y enfriamiento, el pH como también la presencia de solutos.

2.2.8.Modificación del almidón nativo

En el estudio realizado por Holguin Cardona (2019, p.6) mencionan tres métodos para la modificación del almidón nativo, estos son:

- Modificación física: Tiene como objetivo modificar la estructura del granular para incrementar la solubilidad del almidón en agua a temperaturas bajas.
- Modificación enzimática: En este proceso se usan enzimas y microorganismos para forzar una hidrólisis del almidón
- Modificación química: ES un proceso donde se interactúa directamente con grupos hidroxilo de polímero, dividiéndose en tres grupos: reducción, sustitución y entrecruzamiento.

2.2.9. Almidón acetilado

Es una modificación química a través de la esterificación, en donde sus grupos hidroxilos son sustituidos por grupos acetilos, para otorgar mayor estabilidad, alterando las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los almidones (Prieto-Méndez, 2010).

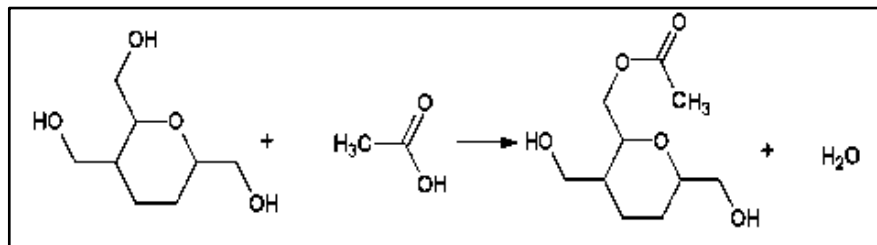


Ilustración 3-2: Reacción de acetilación del almidón

Fuente: (Holguin Cardona 2019).

2.2.9.1. Ventajas de la acetilación

Según Prieto-Méndez (2010, p.5) presentan en la temperatura de gelatinización 6-10 °c menos y su pico de viscosidad es mayor que el nativo, indicando que se dispersan con mayor facilidad, a su vez incrementan la claridad y estabilidad de los geles y reduce la retrogradación.

2.2.10. Películas biodegradables

Son materiales que se obtienen a partir de fuentes renovables, esta puede ser a través de polisacáridos debido a su alto potencial para la formación de la biopelícula, como ejemplo tenemos la papa, celulosa, quitasano (Rimac, 2019, p.22).

Sin embargo el mayor problema de las películas biodegradables elaboradas a base de almidón es su poca resistencia al agua, propiedades mecánicas y actividad antimicrobiana, para ello se modifica el almidón nativo por medio de plastificantes u otros adictivos con el fin de mejorar su flexibilidad y disminuir su fragilidad (Oropeza et al, 2016, p.43).

2.2.11. Bioplástico

Es un material obtenido a partir de materia orgánica, que se desarrolla a través de la descomposición aeróbica o anaeróbica a causa de los microorganismos que son degradados mediante acción enzimática a condiciones ambientales (Rimac, 2019, p.98).

Para su producción, primero se de realizar modificaciones al almidón nativo, actualmente se tiene rutas químicas como: la sustitución, reducción, y entrecruzamiento, también existen las rutas físicas como: la pre gelatinización y etiqueta limpia (Holguin, 2019, p.121).

2.2.12. Propiedades mecánicas

Estas propiedades desempeñan un papel fundamental para describir el comportamiento del material al aplicarle tres tipos de fuerza: tracción (alargar un objeto), compresión (acortar un objeto), Torsión (Girara un objeto alrededor de un eje), Son importantes para definir la calidad de la biopelícula y solo se llevan a cabo a través de ensayos (Rimac, 2019, p.5).

Según Ensinger (2018, p.9) entre las propiedades mecánicas fundamentales de los materiales tenemos:

- Resistencia: Mide la resistencia de un material a esfuerzos externos.
- Rigidez: Mide la resistencia a la deformación.
- Dureza: Mide la resistencia a la deformación bajo una carga compresiva concentrada.
- Tenacidad: Mide la capacidad de absorber energía de un material durante los impactos.

2.2.13. Matriz de consistencia

Tabla 1-2: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA	Variables	
¿Es factible el uso de biopelículas sintetizadas a partir de almidón acetilado procedentes de cascaras de Achira para la conservación de alimentos?	Sintetizar una biopelícula a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira (<i>canna indica</i>) para la conservación de alimentos.	Es fiable usar biopelículas obtenidas a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira para la conservación de alimentos como sustituto de plásticos tradicionales derivados del petróleo.	Tipo El tipo de investigación utilizada es multimodal, ya que se basa en procesos cualitativos y cuantitativos para dar respuesta al problema planteado, a través del uso de información obtenida de estudios previos y datos acerca de la aplicación de las cascaras de achira. Método El método que utilizaremos es el descriptivo y explicativo	Dependientes	Independientes
Problemas específicos	Objetivo específico	Hipótesis específicas	Diseño de la investigación	Obtención del almidón de cáscaras de Achira	Revoluciones por minuto Tiempo de trituración
¿Es factible la extracción de almidón a partir de las cáscaras de Achira por vía húmeda?	Extraer almidón a partir de cáscaras de Achira (<i>canna indica</i>) por vía húmeda.	Es fiable el proceso extracción de almidón a partir de cáscaras de Achira (<i>canna indica</i>) por vía húmeda, para la obtención de un rendimiento adecuado de almidón, suficiente para el desarrollo de la biopelícula.	Para la presente investigación se utilizó un diseño factorial 2^k , con K factores que tienen 2 niveles cada uno	Acetilación del almidón	Volumen
				Formulación de la biopelícula	Combinación de aditivos

<p>¿Es factible modificar el almidón a través de procesos de acetilación?</p> <p>¿Es factible la determinación de una formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes?</p>	<p>Modificar el almidón a través de procesos de acetilación.</p> <p>Determinar la formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes.</p> <p>Validar la biopelícula obtenida mediante pruebas físicas y mecánicas</p>	<p>Es fiable modificar el almidón a través de procesos de acetilación.</p> <p>Es fiable la determinación de una formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondientes.</p> <p>Es fiable la validación de la biopelícula obtenida mediante pruebas físicas y mecánica e indican si su formulación tiene un efecto significativo en la resistencia y maleabilidad de la biopelícula</p>		
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

¿Es factible la validación de la bioplécula mediante pruebas físicas, mecánicas?				
----------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

El modelo de enfoque de este proyecto de investigación consta de dos parámetros cuantitativo y cualitativo. Por un lado, el enfoque cualitativo se presenta debido a que este proyecto se utilizará para responder preguntas de investigación referente a las características que posee el almidón de Achira y el bioplástico formulado a partir de este, junto a otros agregados. Por otro lado, también constará de un enfoque cuantitativo ya que se evidenciará datos correspondientes como el rendimiento del almidón que ofrece las cascarras de Achira, sus propiedades mecánicas después de pasar por un proceso de acetilación para la formulación de la biopelícula, aplicación del método factorial 2^k , con el fin de generar un escenario controlado e idóneo para el desarrollo del proyecto de investigación.

3.2. Nivel de investigación

La presente investigación está orientado al estudio del almidón de achira, métodos de extracción, modificación y síntesis de la biopelícula. Enfocando la investigación directamente a los análisis físicos mecánicos de la biopelícula posterior a un tratamiento de acetilación, para ello se deberá tomar en cuenta las variables a controlar y factores que facilitan e interfieran en el desarrollo de la investigación, por lo cual debe ser descrito y explicado.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. *Diseño experimental de la investigación*

Para la presente investigación se utilizará un diseño factorial 2^k , es un diseño con K factores que tienen 2 niveles cada uno, esto permitirá que la investigación se desarrolle totalmente bajo parámetros experimentales al azar, evaluando de esta forma los resultados positivos o negativos obtenidos al implementar el anhídrido acético en la modificación del almidón de achira.

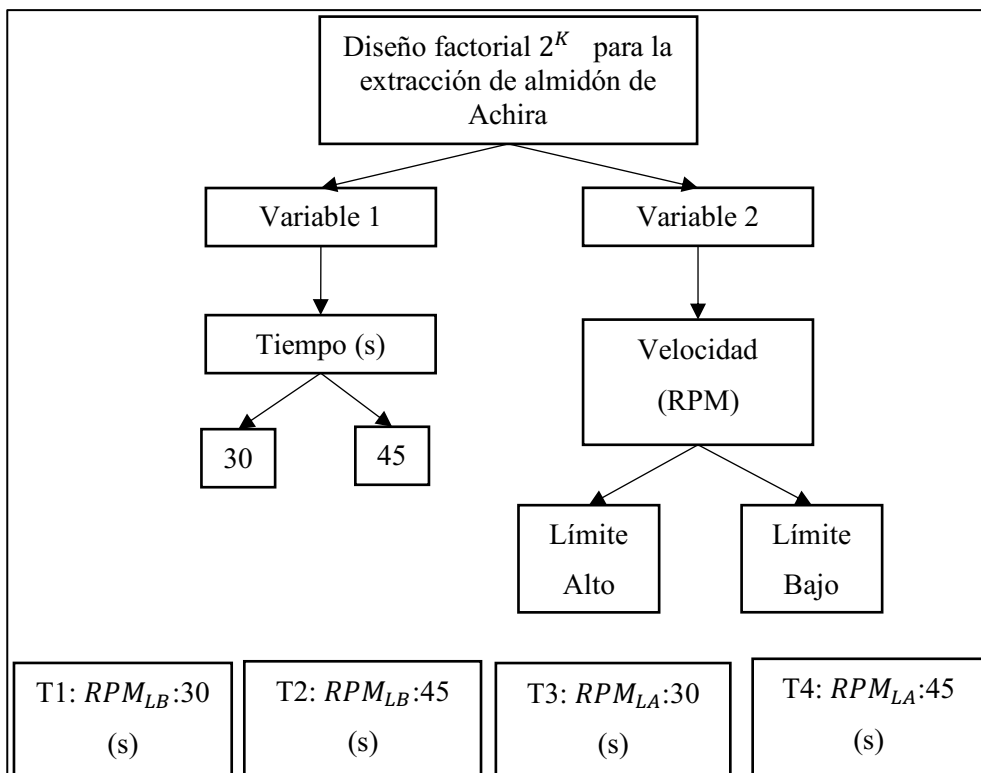


Ilustración 1-3: Diseño factorial 2^K para la extracción de almidón de Achira

*LA: Límite alto; *LB: Límite bajo

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

En el proceso de acetilación con el fin de identificar el mejor grado de sustitución, se utilizará un diseño completamente al azar (DCA), manteniendo el soluto constante (almidón nativo) y variando el volumen del anhídrido acético.

Tabla 1-3: Diseño experimental para la acetilación del almidón

Nivel	Almidón nativo (g)	anhídrido acético (ml)	Tratamiento
I	40	AA1	T1
II		AA2	T2
III		AA3	T3

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

En el desarrollo de este proyecto de investigación se llevará a cabo un estudio longitudinal, debido a que se manejarán variables en diferentes etapas de tiempo, para la recolección de datos y evidenciar los cambios que sucederán en el proceso de sintetizar la biopelícula tanto en la extracción y modificación del almidón como también en la formulación del producto final.

Tabla 2-3: Identificación de variables

Nº	Etapas del proceso	Variables Dependiente	Variables Independientes
1	Extracción del almidón	<ul style="list-style-type: none">• Obtención de almidón de achira	<ul style="list-style-type: none">• Revoluciones por minuto• Tiempo de trituración
2	Acetilación del almidón	<ul style="list-style-type: none">• acetilación	<ul style="list-style-type: none">• Volumen
3	Formulación de las biopelículas	<ul style="list-style-type: none">• Biopelícula obtenida	<ul style="list-style-type: none">• Combinación de aditivos

Realizado por: Viallarreal, Leytom, 2023.

3.4. Tipo de estudio

Para el presente proyecto de investigación se llevará a cabo un estudio documental, ya que se basa en un proceso cualitativo y cuantitativo a nivel de laboratorio, para dar respuesta al problema planteado, a través del uso de información obtenida de estudios previos y datos acerca de la aplicación de las cascaras de achira, exponiendo al investigador las diferentes situaciones que se presentan en el desarrollo practico, mediante los resultados de los análisis de laboratorio tanto para el rendimiento del almidón y sus características físicas, mecánicas de la biopelícula.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis para la presente investigación es la obtención de almidón de cáscaras de Achira (*canna indica*), el cual será sometido a análisis físicos, químicos, en base a la norma NTE INENE 1456, necesario para la formulación de la biopelícula, al mismo que se le realizaran ensayos para determinar las propiedades de tracción físico-mecánicas en base a la norma NTEE INEN 2635.

3.5.2. Población de estudio

La población de estudio corresponde a muestreo al zar de cáscaras de Achira (*Canna Indica*), provenientes del mercado mayorista de la ciudad de Riobamba; con la finalidad de seleccionar materia prima de calidad y en buen estado evitando factores que puedan alterar los resultados de la investigación.

3.5.3. Tamaño y selección de la muestra

Para la determinación del tamaño de la muestra, se tomó un valor de 4,143 kg de cáscaras de Achira (*Canna Indica*) para extraer almidón por vía humedad necesario en la formulación de la biopelícula, se obtendrá 12 muestras, es decir, que se llevará acabo 4 tratamientos, y cada uno con 3 repeticiones variando el tiempo y la velocidad, de la cual se escogerán los mejores ejemplares que sean similares en tamaño, diámetro y aspecto físico.

Tabla 3-3: Boceto para el cálculo promedio del rendimiento del almidón de la Achira

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN (mL)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		
					PRODUCTO	ALMIDÓN		R	PROMEDIO	
						TOTAL	R			PROMEDIO
1	T1	RPM (LB) : 30s	R1	500	300	1	PR	PRT	1	%
2			R2			2			2	
3			R3			3			3	
4	T2	RPM (LB) : 45s	R1			1	PR	PRT	1	%
5			R2			2			2	
6			R3			3			3	
7	T3	RPM (LA) : 30 s	R1			1	PR	PRT	1	%
8			R2			2			2	
9			R3			3			3	
10	T4	RPM (LA) : 45 s	R1			1	PR	PRT	1	%
11			R2			2			2	
12			R3			3			3	

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 4-3: Boceto totalmente al azar para la elaboración de la biopelícula mediante la acetilación del almidón de Achira

N°	Almidón Nativo	Acetilación	Formulación	Repeticiones
1	AN	AA1	G1	1
2				2
3				3
4			G2	1
5				2
6				3
7		AA2	G1	1
8				2
9				3
10			G2	1
11				2
12				3
13		AA3	G1	1
14				2
15				3
16			G2	1
17				2
18				3

AA= Almidón acetilado

AN= Almidón nativo

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Lugar de realización

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio de investigación de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (ESPOCH). La ESPOCH se encuentra ubicada en la ciudad de Riobamba, región interandina de la Sierra Ecuatoriana, panamericana Sur km 1 ½; con coordenadas geográficas 1°39'20" S 78°40'42" W y a una altura de 2817 m.s.n.m.

3.6.2. Técnica de extracción del almidón

Tabla 5-3: Técnica de extracción del almidón de la cáscara de Achira

<p>Vía Húmeda</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza • Recipiente de plástico • Cuchillo • Licuadora • Cronómetro • Tela nylon filtrante y aluminio • guantes quirúrgicos • Bandejas de aluminio y • Fundas ziploc • Mortero y pistilo • Torre de tamiz para granulometría • Recipientes plásticos con tapa hermética • Agua destilada (H₂O), • Ácido Ascórbico 25% (C₆H₈O₆) 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de la materia prima: Se recolectó ejemplares de Achira del mercado mayorista de la ciudad de Riobamba, que contengan características similares y libres de daños. • Lavado y pelado: Se lava la Achira para retirar la tierra o cualquier patógeno que con estas conllevan y se prosigue a pelar las Achiras retirando las cáscaras y de ellas la epidermis. • Remojo en una solución antipardeamiento: Se colocan las muestras ralladas en una tina con ácido ascórbico y agua destilada al 25% durante 15 minutos para evitar la oxidación enzimática del almidón • Pesado y Triturado: Se escurre la muestra para eliminar el exceso de agua y se pesa 300 gramos de la cáscara de Achira con 500 ml de agua potable para evitar la contaminación de la muestra en cada triturada, en estas se utiliza una licuadora casera a dos velocidades (alta y baja) y con 2 tiempos (30 y 45 segundos) dependiendo cada tratamiento. Este proceso es fundamental para determinar el mejor rendimiento de almidón. • Filtrado y decantado: Se utiliza una tela nylon de filtración para separar la solución agua almidón del residuo sobrante del proceso de triturado y se traspasa la solución a contenedores de plástico durante 8-12 horas para que sedimente el almidón y se suspenda el agua con otros residuos que pudieron escaparse del filtrado, posterior a esto se filtra la suspensión, se lava de 2 a 4 veces con agua destilada y se recolecta el almidón en bandejas de aluminio. • Secado: Se deja secar las muestras de almidón en una estufa a 40 ° c durante 12 horas. 	<p>(García Bernal et al. 1998) (Ribera 2006) (Chimbo Encalada 2021)</p>
--------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

		<ul style="list-style-type: none">• Molienda, pesado y tamizado: Una vez seco el almidón se disminuye el tamaño de la partícula con la ayuda de un mortero y pistilo, luego se lo hace pasar por una torre de tamiz hasta la malla 150 μm para obtener una granulometría homogénea y finalmente se pesa la Harina recolectada por cada tamiz.• Empacado y almacenamiento: Se almacena y empaca el almidón extraído y se lo conserva en un lugar fresco para su posterior utilización y que esta no se contamine.	
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

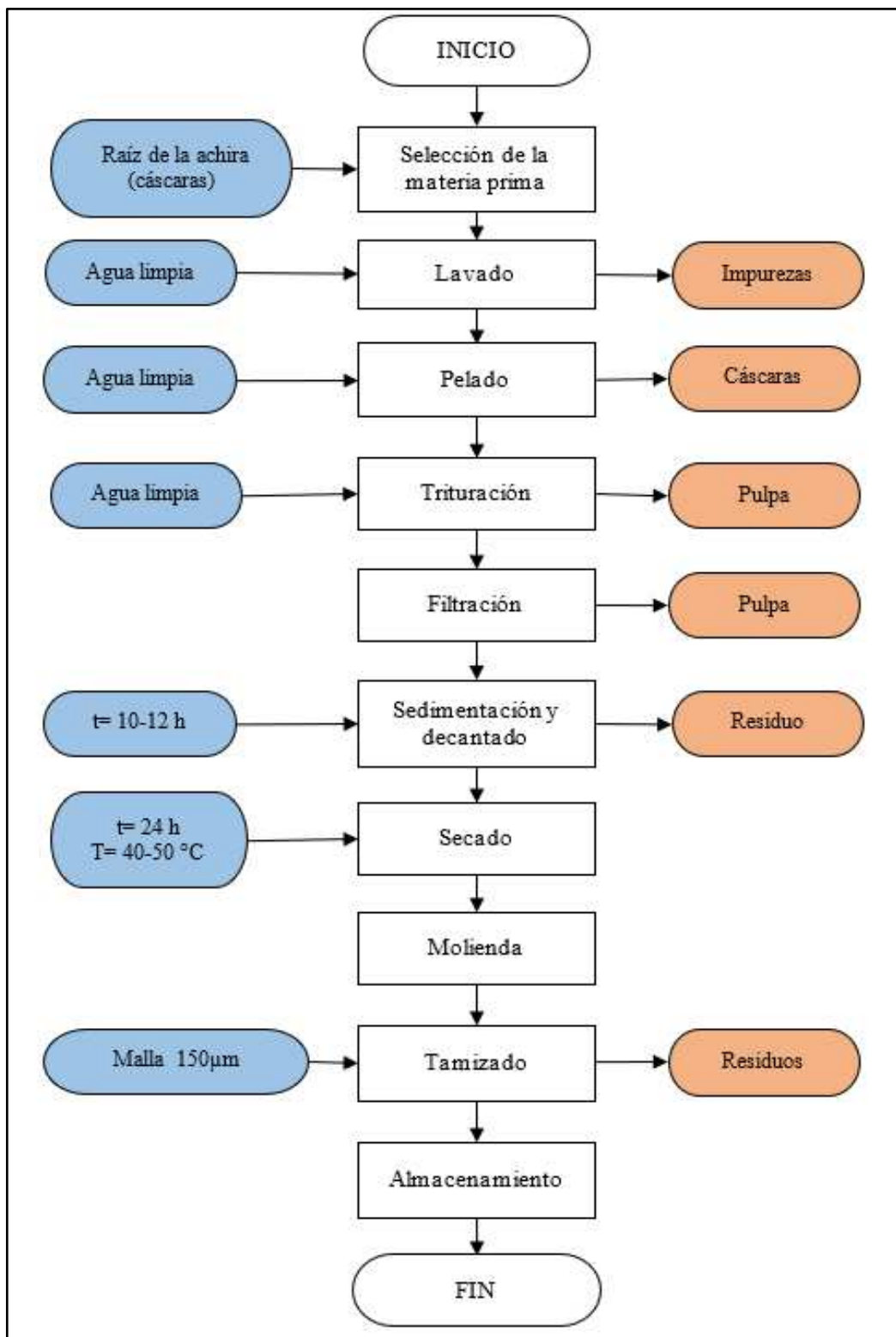


Ilustración 2-3: Diagrama de flujo de la obtención del almidón de la Achira (canna indica)

Fuente: (Charro, 2015, pp. 7-65).

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.6.3. Técnica para la caracterización del almidón de la cáscara de Achira (*Canna Indica*)

Tabla 6-3: Técnica para realizar la caracterización del almidón de la cáscara de Achira

No	Método de evaluación	Materiales, equipos y reactivos	Procedimiento	Cálculos	Norma
1	Prueba de pH	Balanza analítica Espátula Medidor de pH Agitador magnético o shaker RPM (60-1600) Vaso de precipitación Vasos de plástico de muestra de orina Papel filtro Agua destilada Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar esta técnica por triplicado. • Pesar 5 g del almidón extraído y mezclar con 25 mL de agua destilada. • Poner la solución en un vaso de plástico de muestra de orina y llevarlo al agitador magnético o shaker 30 minutos, a 200 RPM y 30°C. • Dejar sedimentar por 20 minutos. • Calibrar el medidor de pH. 	Reportar el valor arrojado por el medidor de pH. pH= 6,42	Técnica usada ISI (1990), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO) (Sanchez, Aristizábal 2007)

			<ul style="list-style-type: none"> • Tomar una alícuota del sobrenadante después del tiempo de sedimentación. • Medir pH. 		
2	Densidad Aparente	Balanza analítica Probeta de 25 mL Espátula Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar esta técnica por triplicado. • Pesarse la probeta vacía. • Añadir con la espátula el almidón sin compactar hasta llegar al volumen total de la probeta. • Pesarse la probeta con el almidón sin compactar. • Compactar el almidón dentro de la probeta. 	<p>Ecuación 1-3: Densidad aparente del almidón compactado (g/ml)</p> $= \frac{(\text{peso probeta} + \text{almidón suelto})(g) - \text{peso probeta vacía (g)}}{\text{Volumen de muestra empacada (mL)}}$ $= \frac{(159,183)(g) - 140.561}{20}$ $= 0,9311$	Técnica usada Smith (1967), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO). (Sanchez, Aristizábal 2007)

			<ul style="list-style-type: none"> • Medir la diferencia de volumen de la muestra compactada. 		
3	Viscosidad de Brookfield	<p>Vaso de precipitación</p> <p>Balanza analítica</p> <p>Espátula</p> <p>Reverbero y malla</p> <p>Viscosímetro de Brookfield</p> <p>Varilla de agitación</p> <p>Termómetro</p> <p>Almidón</p> <p>Agua destilada</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 25 g de almidón y disolver con 500 ml de agua destilada en un vaso de precipitación. • Poner a hervir hasta ebullición mientras se va agitando con la varilla. 	<p>Reportar el valor arrojado por el viscosímetro en centipoises (cP).</p> <p style="text-align: center;">= 10520 cP</p>	<p>Técnica usada ISI (2002), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO). (Sanchez, Aristizábal 2007)</p>

4	T° de gelatinización	Balanza analítica Vasos de precipitación de 150 y 250 mL Pinzas Reverbero Varilla de Agitación Termómetro Agua destilada Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar esta técnica por triplicado. • Pesar 5 g de almidón y disolver en 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitación de 150 mL. • Calentar a baño maría en un vaso de 250 mL hasta que llegue a la temperatura de 80-85°C y agregar la disolución de almidón mientras se va agitando. • Se apaga cuando llegue a ebullición y se forme una pasta o gel con una temperatura constante. • Se reporta la temperatura de gelatinización 	Leer la temperatura de gelatinización con el termómetro cuando se forme el gel = 64 °c	Técnica usada Grace (1977), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO). (Sanchez, Aristizábal 2007)
---	-----------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5	Índice de solubilidad	Balanza analítica Vasos de precipitados Tubos de centrífuga Centrífuga Reverbero Varilla de Agitación Termómetro Probeta Estufa Tubos falcom Agua destilada Almidón	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar esta técnica por triplicado. • Poner 3 tubos de centrífuga secos a 60°C en la estufa por 15 minutos. • Pasar los tubos en el desecador por 20 minutos. • Pesar tubos en la balanza analítica. • Poner 1,25 g de almidón y agregar exactamente 30 ml de agua destilada y agitar. • Prender el baño maría a 60°C durante 30 minutos y luego de esto colocar los tubos, pasado 10 minutos agitar los tubos despacio un rato y se vuelve a dejar 20 minutos más a baño maría. 	Ecuación 2-3: Índice de solubilidad en agua (ISA) $ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$ $= \frac{0,015 \times 28 \times 10}{1,25}$ $= 3,36$	Técnica usada Anderson et al (1969), Valores de Referencia tomados de Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (FAO). (Sanchez, Aristizábal 2007)
---	------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

			<ul style="list-style-type: none"> • Sacar y colocar los tubos en la centrifuga por 45 minutos a 3000 RPM. • Sacar de la centrifuga y tomar el volumen del sobrenadante en una probeta inmediatamente. • Tomar 10 ml del sobrenadante y poner en un vaso de precipitados anteriormente pesado. • Colocar en la estufa por 24 horas a 70°C. • Poner en el desecador por 20 minutos. • Pesar el tubo de centrifuga con el gel y pesar el vaso de precipitados 		
--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

6	Humedad y cenizas	<p>Crisoles Estufa Balanza analítica Mufla Desecador Espátula Almidón</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar esta técnica por triplicado. • Lavar los crisoles y dejar secar a 70°C en la estufa. • Una vez secos pasar los crisoles al desecador durante 15-20 minutos. • Pesar los crisoles vacíos. • Tarar los crisoles y colocar 5 g de almidón. • Colocar en la estufa a 70°C. • Sacar y pesar hasta que tenga un peso constante. • Pasar los crisoles utilizados en humedad a la mufla durante 24 horas e incinerar a 550°C. • Cuando la muestra este en color blanco o gris poner 	<p>Ecuación 3-3: Porcentaje de humedad (%)</p> $\%Humedad = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$ $\%Humedad = \frac{15,9187 - 14,15}{15,9187} * 100$ $\%Humedad = 11,11\%$ <p>Porcentaje de cenizas (%)</p> $\%Cenizas = \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{Peso de muestra}} * 100$ $\%Cenizas = \frac{0,0341}{5} * 100$ $\%Cenizas = 0,68\%$	<p>NTE INEN-ISO 1666 Técnica usada (AOAC, 2000), FAO. (Sanchez, Aristizábal 2007)</p>
---	--------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------

			<p>en el desecador durante 60 minutos aproximadamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pesar los crisoles. 		
7	Prueba de sensibilidad	<p>Balanza analítica Vasos de precipitación de 25 y 250 mL Reverbero Agua destilada Almidón Solución de yoduro de potasio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 1 g de almidón en un vaso de 25 ml y disolver con 5 mL de agua destilada. • Pongo a hervir 200 mL de agua destilada en un vaso de 250 ml. • Una vez que hierve el agua le agrego la solución de almidón. 	<p>La coloración azul o morado de la muestra, indica la presencia de almidón dando como resultado positivo a la prueba</p>	<p>Adaptado de Fuente: NTC 926, 1986. NTE INEN 1456</p>

			<ul style="list-style-type: none">• Dejo enfriar y cuando está completamente homogenizada la mezcla, se le añade cuatro gotas del indicador Lugol o solución de yoduro previamente preparado.• Para la solución de yoduro peso 0.05 de yoduro disuelta en 100 mL de agua destilada.		
--	--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.6.4. Técnica para la acetilación del almidón

Tabla 7-3: Técnica para la acetilación del almidón

Materiales, equipos y reactivos	Procedimiento	Métodos de ensayos
<ul style="list-style-type: none"> • Almidón de Achira • Balanza analítica • pH-metro • Centrifugadora • Plancha de agitación • Estufa • anhídrido acético (C₄H₆O₃) • Hidróxido de sodio (NaOH) • Etanol (C₂H₅OH) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar 40 g de almidón nativo • Mezclar el almidón con 100 ml de agua destilada, ajustando el pH a 8,5 con una solución de NaOH 3,0%, con agitación constante • Adicionar gota a gota el volumen de anhídrido acético definido, ajustando el pH entre 8,0-8,5 con el mismo hidróxido de sodio, dejando estabilizar el sistema por 10 minutos • Ajustar el pH del sistema a 5, con una solución de HCL 0,5 N • Centrifugar a 2500 rpm durante 10 minutos • Lavar el residuo tres veces con agua destilada y finalmente con alcohol USP, con centrifugaciones sucesivas • Secar el almidón modificado en un horno de bandejas a 40°C, por 12 h • Moler y tamizar el almidón modificado a través de una malla de 210 µm, para obtener un tamaño de partícula homogéneo 	<p style="text-align: center;">(Sulbarán et al. 2018) (Guerra-DellaValle et al. 2008)</p>

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

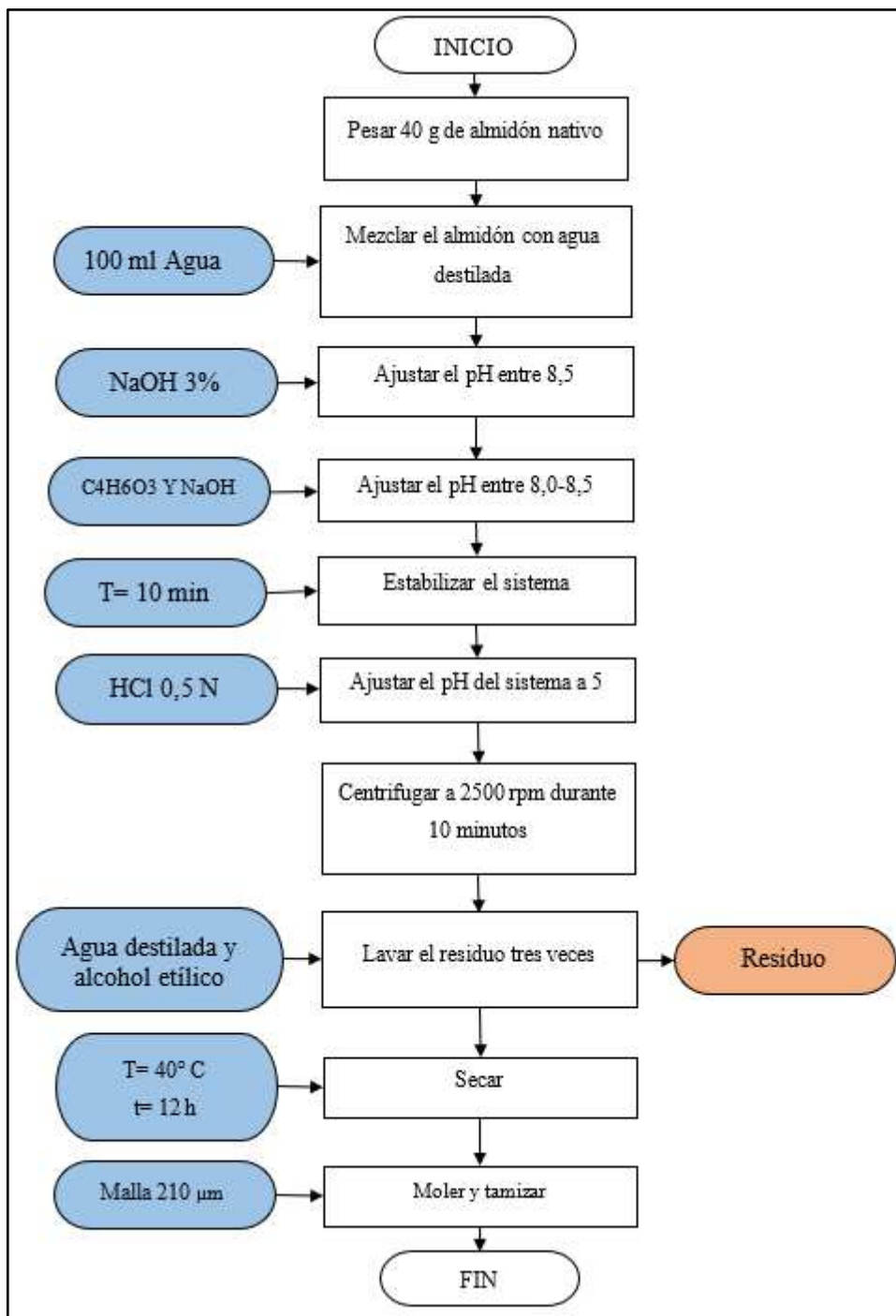


Ilustración 3-3: Diagrama de flujo para la acetilación del almidón

Fuente: (Sulbarán, 2018, pp. 3-22).

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.6.5. Proceso de obtención de la biopelícula

Tabla 8-3: Proceso de obtención de la biopelícula

PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIOPLÁSTICO		
Materiales, equipos y reactivos	Procedimiento	Método de ensayo
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Reverbero • Malla • Vasos de precipitación de 250 ml • Vaso de precipitación de 50 ml • Varilla de agitación • Espátula • Probetas de 10 y 50 ml • Cajas Petri de vidrio • Moldes rectangulares de vidrio • Espátula • Pinza doble nuez • Termómetro • Pipetas de 10 ml • Pera • Estilete • Agua Destilada (H₂O) • Glicerina (C₃H₈O₃) • Ácido acético (CH₃COOH) • Almidón modificado de Achira 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar varias repeticiones para encontrar la cantidad idónea en las formulaciones que se emplearan para realizar el bioplástico. • Pesar el almidón en un vaso de precipitación de 50 ml, de acuerdo a la formulación propuesta. • Añadir el volumen de agua y ácido acético necesario que brindan las características conservantes. • Mezclar bien hasta homogenizar. • Llevar la mezcla al baño maría y se agita constantemente hasta llegar a los 60°C, llegado a esa temperatura se le añade la cantidad de glicerina necesaria que brinda las propiedades de plastificantes de flexibilidad y elasticidad. • Cuando llegue a la temperatura de gelatinización, sacar la mezcla del baño maría. • Colocar la mezcla viscosa en la caja Petri o en el molde de vidrio. • Secar en la estufa a 60° C, hasta que las láminas tomen una textura firme 	<p>(Chimbo Encalada 2021) (Holguin Cardona 2019)</p>

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

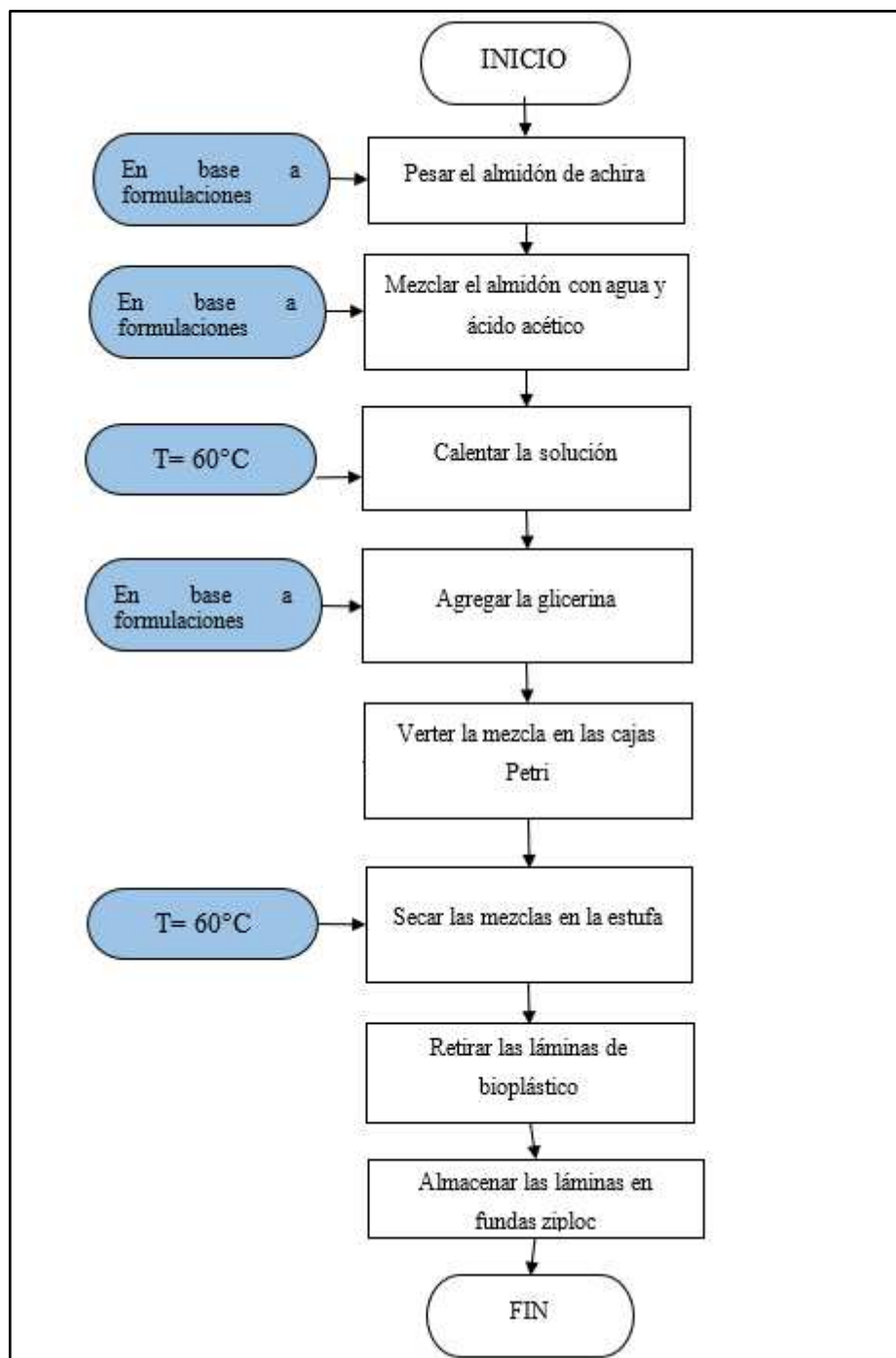


Ilustración 4-3: Diagrama de flujo para la obtención de la biopelícula

Fuente: (Chimbo, 2021, pp, 41-73).

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

3.6.6. Técnica para la caracterización de la biopelícula

Tabla 9-3: Técnica para la caracterización de la biopelícula

No	Método de evaluación	Materiales, equipos y reactivos	Procedimiento	Cálculos	Norma
1	Porcentaje de solubilidad	Vasos de precipitación Tubos facón Saker Estufa	<ul style="list-style-type: none"> Se realizó por triplicado con un tamaño de 3x3 cm Pesar las láminas y dejarlas secar por 30 minutos. Colocar las muestras en vasos de plástico con 80 mL de agua destilada y tapar bien. Llevar las muestras preparadas al Shaker por 1 hora a 200 rpm. Sacar del Shaker y colocar las muestras de bioplástico en papel filtro. Llevarlas a la estufa a una temperatura de 105 ° C por una hora. <p>Ir pesando las muestras después de la hora hasta obtener un peso constante.</p>	<p>Ecuación 4-3: Porcentaje de solubilidad.</p> $\% \text{ solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial bioplástico seco (g)} - \text{Peso final bioplástico seco (g)}}{\text{Peso inicial bioplástico seco (g)}} * 100$	ASTM D1653-93

2	<p>Porcentaje de permeabilidad</p>	<p>Crisoles Estufa Balanza analítica Mufla Desecador Espátula Almidón</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medir el diámetro de los tubos de ensayo • Recortar las láminas de plástico de 3x3 cm y pesar a cada una. • Dejar activando la sílica gel (SiO) por 24 horas hasta obtener una humedad relativa del 0% • Cortar muestras de los bioplásticos por cada tratamiento de 2,5x2,5. • Llenar los tubos de ensayo con las $\frac{3}{4}$ de la sílica gel. • Con las muestras cortadas sellar el tubo en el que se añadió la sílica gel con cinta masking, asegurándose que no existan fugas. • Colocar una solución salina en la base del desecador. • Pesar los tubos. • Ingresar los tubos ya sellados en el desecador que poseen una humedad relativa del 50% y dejar por una hora. • Tomar los pesos de las muestras cada 6 horas. • Reportar datos 	<p>Ecuacion 5-3: Porcentaje de permeabilidad.</p> $WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$	<p>ASTM D1653- 93</p>
---	-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

3	Porcentaje de degradabilidad	Programa Imagen J Regla	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de la biopelícula de 3x3 cm • Condiciones de ambiente, suelo y agua 	<p>Ecuación 6-3: Porcentaje de degradabilidad.</p> $\% \text{ Pérdida de área} = \frac{(\text{área inicial} - \text{área final}) * 100}{\text{área inicial}}$	Adaptado de Fuente: NTC 926, 1986. NTE INEN 1456
4	Determinación de humedad	Crisoles Estufa Deseccador	<ul style="list-style-type: none"> • Este análisis se realizó por triplicado • Tarar los crisoles limpios en la estufa por 2 horas a 105 ° C. • Pasar los crisoles al desecador por 20 minutos. • Pesar los crisoles vacíos. • Pesar 3 g del bioplástico en el crisol y llevarlos a la estufa a 105 ° C por 24 horas. • Reportar los datos y promediarlos 	$\% \text{ de Humedad} = \frac{m_w - m_d}{m_w} * 100$	ASTM D1653-93

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Datos obtenidos

4.1.1. Almidón

4.1.1.1. Análisis físico químico de la materia prima

Para la selección de la materia prima se utilizó 20 muestra con el objetivo de recolectar datos, que se encuentran detallados en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Análisis físico químico de la materia prima

No.	PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS		
		PESO (g)	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)
1	Raíz de achira	140,700	124,72	43,60
2		113,450	109,70	50,70
3		98,800	101,50	43,20
4		115,760	98,40	47,80
5		64,300	118,40	37,87
6		162,450	156,20	64,70
7		97,32	124,6	47,80
8		134,67	111,5	52,30
9		178,36	113,80	60,30
10		36,67	101,30	47,20
11		154,12	139,60	65,10
12		109,76	87,90	47,10
13		134,06	83,80	63,40
14		89,90	92,50	57,40
15		145,23	119,20	64,80
16		110,72	98,63	58,40
17		79,30	106,32	64,80

18		128,09	95,70	73,80
19		129,76	108,30	62,50
20		161,120	107,30	48,10
Promedio		119,227	109,071	55,044

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.1.2. Rendimiento promedio del almidón de las cáscaras de Achira

Tabla 2-4: Rendimiento de almidón de las cáscaras de Achira

No.	TRATAMIENTO	VARIABLES	REPETICIÓN	VOLUMEN (mL)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		
					PRODUCTO	ALMIDÓN		R	PROMEDIO	
						R	PROMEDIO			TOTAL
1	T1	RPM (Baja) : 30s	R1	500	300	5,843	6,256	18,769	1,948	2,085
2			R2			4,58			1,527	
3			R3			8,346			2,782	
4	T2	RPM (Baja) : 45s	R1			10,36	11,587	34,762	3,453	3,862
5			R2			10,738			3,579	
6			R3			13,664			4,555	
7	T3	RPM (Alta) : 30 s	R1			9,141	9,713	29,14	3,047	3,238
8			R2			8,619			2,873	
9			R3			11,38			3,793	
10	T4	RPM (Alta) : 45 s	R1			14,15	13,051	39,152	4,717	4,350
11			R2			13,99			4,663	
12			R3			11,012			3,671	

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.2. Acetilación

4.1.2.1. Tratamiento por acetilación

Para el proceso de acetilación se empleó el método de Sulbarán con algunas modificaciones del método descrito por Wolff, Olds y Hilbert (1951), en su investigación “*The Acylation of Corn Starch, Amylose and Amylopectin*”, proceso idóneo para este tipo de modificaciones, donde se definió un volumen de 5, 10 y 15 ml de anhídrido acético para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 3-4: Tratamiento por acetilación

Nivel	Almidón nativo (g)	anhídrido acético (ml)	Tratamiento
I	40	5	T1
II		10	T2
III		15	T3

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.2.2. Rendimiento del almidón por acetilación

Tabla 4-4: Rendimiento del almidón por acetilación

No.	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	VOLUMEN (mL)	PESO (g)			RENDIMIENTO (%)		
				PRODUCTO	ALMIDÓN ACETILADO		R	PROMEDIO	
					R	PROMEDIO			TOTAL
1	AA1	R1	100	40	30,45	29,657	88,97	76,125	74,142
2		R2			28,76			71,900	
3		R3			29,76			74,400	
4	AA2	R1			33,05	33,673	101,02	82,625	84,183
5		R2			31,87			79,675	
6		R3			36,1			90,250	
7	AA3	R1			36,93	34,297	102,89	92,325	85,742
8		R2			30,67			76,675	
9		R3			35,29			88,225	

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.3. Bioplástico

4.1.3.1. Elaboración del blanco

Tabla 5-4: Formulación del blanco

Tratamiento	Almidón (g)	Glicerina (mL)	Agua destilada (mL)	Ácido acético	Repetición	Tiempo de secado (H)	Temperatura de secado (°C)
TRA1	2	0,5	30	5	R1	36	40
					R2		
					R3		

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Una vez extraído el almidón de las cáscaras de achira, se procede a realizar las pruebas preliminares del blanco, para ello se usó como punto de partida los datos reflejados en el trabajo de investigación de (Chimbo, 2021, p.1) pertenecientes al mejor tratamiento.

4.1.3.2. Elaboración con el almidón acetilado

Para el respectivo ensayo, se elaboró un diseño al azar, empleando 3 tratamientos correspondiente a los niveles de tratamiento del almidón acetilado, cada uno con 4 repeticiones, manteniendo constante las cantidades de almidón, agua, y ácido acético expuestas en los ensayos preliminares y variando solamente la glicerina entre 0,5 y 1 mL debido a que esta le da las propiedades de flexibilidad al bioplástico entre otras características.

Tabla 6-4: Elaboración de la biopelícula con el almidón acetilado

N°	Tratamiento	Nivel	Formulación				Repeticiones	Tiempo de secado (H)	Temperatura de secado (°C)
			Almidón (g)	Agua (mL)	Ácido acético (mL)	Glicerina (mL)			
1	AA1G1	I	2	30	5	1	1	36	40
2							2		
3							3		
4							4		
5	AA1G2					0,5	1		
6							2		
7							3		
8							4		
9	AA2G1	II	2	30	5	1	1		
10							2		
11							3		
12							4		
13	AA2G2					0,5	1		
14							2		
15							3		
16							4		
17							1		

18	AA3G1	III	2	30	5	1	2		
19						3			
20						4			
21	AA3G2					1			
22						2			
23						0,5	3		
24						4			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.3.3. Ensayo de humedad

El ensayo de humedad se realizó en la termobalanza ubicada en el laboratorio de química analítica correspondiente a la Facultad de Ciencias, en donde se estableció los parámetros correspondientes al ensayo

Tabla 7-4: Ensayo de humedad

No	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)	%
1	AA1G1	R1	0,736	0,5420	26,223
2		R2	0,282	0,2483	10,638
3		R3	0,859	0,8083	6,054
4	AA1G2	R1	0,7578	0,6258	15,567
5		R2	0,325	0,289	11,350
6		R3	0,973	0,8475	12,75
7	AA2G1	R1	0,7474	0,3972	17,573
8		R2	0,369	0,323	12,199
9		R3	0,726	0,6417	11,676
10	AA2G2	R1	0,1809	0,143	8,889
11		R2	0,530	0,496	6,818
12		R3	0,500	0,4584	8,8
13	AA3G1	R1	0,3719	0,3178	13,784
14		R2	0,802	0,7456	7,481
15		R3	0,568	0,5129	10,739
16	AA3G2	R1	0,3316	0,308	5,136
17		R2	0,421	0,3949	6,872
18		R3	0,623	0,5451	11,11

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.3.4. Ensayo de solubilidad

Los ensayos de solubilidad se ejecutaron en el laboratorio de investigación, ubicado en la facultad de ciencias, usando el shaker a 100 rpm y una estufa de recirculación para el respectivo secado de la muestra.

Tabla 8-4: Ensayo de solubilidad

No	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)	%
1	AA1G1	R1	0,5693	0,287	49,5872
2		R2	0,4832	0,201	58,4023
3		R3	0,5141	0,324	36,9772
4	AA1G2	R1	0,539	0,3699	31,3729
5		R2	0,5682	0,2968	47,7649
6		R3	0,4627	0,1973	57,3590
7	AA2G1	R1	0,3135	0,1455	53,5885
8		R2	0,4257	0,2034	52,2199
9		R3	0,3784	0,1341	64,5613
10	AA2G2	R1	0,4399	0,2729	37,9632
11		R2	0,5002	0,3216	35,7057
12		R3	0,4272	0,2215	48,1507
13	AA3G1	R1	0,2976	0,1289	56,6868
14		R2	0,2105	0,1123	46,6508
15		R3	0,3167	0,1872	40,8904
16	AA3G2	R1	0,4886	0,2912	40,4011
17		R2	0,5627	0,3201	43,1136
18		R3	0,4163	0,1796	56,8580

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.3.5. Espesor

Se usaron 10 muestra de bioplástico obtenido por cada tratamiento para el desarrollo de la prueba de espesor.

Tabla 9-4: Ensayo de espesor

Nº	Tratamiento	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)	M1 (mm)
1	AA1G1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
2	AA1G2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
3	AA2G1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
4	AA2G2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

5	AA3G1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
6	AA3G2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2

Realizado por: Villarreal, , 2023..

4.1.3.6. Ensayo de permeabilidad

Los ensayos de permeabilidad se llevaron a cabo en el laboratorio de Química analítica, ubicado en la facultad de ciencias, empleando

Tabla 10-4: Ensayo de permeabilidad

No	Tratamiento	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)	WVP
1	AA1G1	R1	29,0316	29,0674	0,00125
2		R2	28,7883	28,82780	0,00138
3		R3	28,7336	28,7778	0,00155
4	AA1G2	R1	27,6081	27,6693	0,00215
5		R2	25,8963	25,9258	0,00103
6		R3	28,6722	28,6937	0,00075
7	AA2G1	R1	28,0386	28,0611	0,00079
8		R2	25,10890	25,1326	0,00083
9		R3	29,2286	29,3507	0,00428
10	AA2G2	R1	27,8725	27,8999	0,00096
11		R2	25,5979	25,6174	0,00068
12		R3	26,5313	26,5600	0,00101
13	AA3G1	R1	29,7996	29,8203	0,00073
14		R2	26,6041	26,6239	0,00069
15		R3	31,1882	31,2333	0,00158
16	AA3G2	R1	26,3255	26,3449	0,00068
17		R2	24,9602	24,9773	0,00060
18		R3	28,5490	28,5742	0,00088

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.1.3.7. Prueba degradabilidad

Para este ensayo se utilizó un programa estadístico denominado imagen J, permitiendo calcular el área resultante y consigo el proceso de degradación bajo condiciones de Ambiente, suelo y Suelo.

Tabla 11-4: Prueba degradabilidad en suelo

No	Tratamiento	Área inicial (cm^2)	Área día 7 (cm^2)	Área día 14 (cm^2)	Área día 21 (cm^2)	Área día 30 (cm^2)
1	AA1G1	9,372	6,163	5,924	5,725	5,619
2	AA1G2	9,086	4,888	3,86	3,634	3,515
3	AA2G1	9,012	5,941	5,345	4,802	4,415
4	AA2G2	9,483	4,837	4,447	4,263	4,012
5	AA3G1	9,017	5,818	5,111	4,963	4,641
6	AA3G2	9,271	5,391	4,342	3,989	3,966

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 12-4: Prueba degradabilidad en aire

No	Tratamiento	Área inicial (cm^2)	Área día 7 (cm^2)	Área día 14 (cm^2)	Área día 21 (cm^2)	Área día 30 (cm^2)
1	AA1G1	9,116	9,075	9,007	8,873	8,571
2	AA1G2	8,986	8,909	8,785	8,592	8,351
3	AA2G1	9,498	9,18	8,737	8,465	7,805
4	AA2G2	9,210	8,426	7,889	7,248	6,588
5	AA3G1	9,234	8,693	8,107	7,741	7,309
6	AA3G2	8,979	8,122	7,430	7,197	6,698

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 13-4: Prueba degradabilidad en agua

No	Tratamiento	Área inicial (cm^2)	Área día 7 (cm^2)	Área día 14 (cm^2)
1	AA1G1	9,103	2,54	1,371
2	AA1G2	9,183	3,426	0
3	AA2G1	9,635	5,311	0
4	AA2G2	9,117	3,592	0
5	AA3G1	9,104	4,006	1,155
6	AA3G2	8,996	3,601	1,511

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.2. Cálculos

4.2.1. Almidón

4.2.1.1. Rendimiento de la extracción por vía húmeda

Para el cálculo del rendimiento porcentual del almidón procedente de las cáscaras de Achira se utilizó la siguiente fórmula.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso de almidón obtenido (g)}}{\text{Peso materia prima (g)}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{10,738}{300} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 3,579$$

4.2.1.2. Contenido de cenizas

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Peso de cenizas (g)}}{\text{Peso de muestra}} * 100$$

$$\% \text{Cenizas} = \frac{0,0341}{5} * 100$$

$$\% \text{Cenizas} = 0,68\%$$

4.2.1.3. Índice de solubilidad de agua

Para el cálculo de la solubilidad del almidón, se empleó en sus respectivas repeticiones la siguiente fórmula:

$$ISA = \frac{\text{Peso solubles (g)} \times V \times 10}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

$$ISA = \frac{0,015 \times 28 \times 10}{1,25}$$

$$ISA = 3,36$$

4.2.2. Acetilación

4.2.2.1. Rendimiento de la producción de almidón acetilado

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso de almidón obtenido (g)}}{\text{Peso de almidón nativo (g)}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{36,93}{40} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 92,32 \%$$

4.2.3. Bioplástico

4.2.3.1. Porcentaje de solubilidad

Para el cálculo de la solubilidad del bioplástico en cada repetición de los diferentes tratamientos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{\text{Peso inicial bioplástico seco (g)} - \text{Peso final bioplástico seco (g)}}{\text{Peso inicial bioplástico seco (g)}} * 100$$

$$\% \text{ solubilidad} = \frac{0,3725 - 0,161}{0,3725} * 100$$

$$\% \text{ solubilidad} = 56,778$$

4.2.3.2. Porcentaje de permeabilidad

Este análisis se realizó bajo la norma ASTM D1653-93: Método de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de una película de recubrimiento orgánico, Donde se plantea la siguiente fórmula para determinar la permeabilidad al vapor de agua de la lámina de plástico biodegradable.

$$WVP = \frac{(P_2 - P_1) * e}{t * pv * (\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$WVP = \frac{(27,5148 - 27,4587) * 0,2}{24 * 0,00317 * (75 - 0)}$$

$$WVP = 0.00196 \frac{g * mm}{h * Mpa}$$

- P_2 : *Peso de la lámina final*
- P_1 : *Peso de la lámina inicial.*
- e : *espesor de la lámina*
- t : *Tiempo de determinación*
- p_v : *Presión de vapor del proceso.*
- φ_1 : *Humedad relativa al interior de la celda.*
- φ_2 : *Humedad relativa de la cámara con NaCl saturado.*

4.2.3.3. Porcentaje de degradabilidad

Para desarrollar este análisis, se utilizó como apoyo el programa estadístico Imgej, que calcula la disminución por área a partir de una unidad de referencia, donde se utilizó fotografías de las muestras de bioplástico con dimensiones de 3x3 cm, sometidas durante 30 días bajo condiciones (ambientales agua, aire y tierra)

$$\% \text{ Pérdida de área} = \frac{(9,483 \text{ (cm}^2) - 4,012 \text{ (cm}^2)) * 100}{9,483}$$

$$\% \text{ Pérdida de área} = 57,693$$

4.2.3.4. Porcentaje de humedad

El cálculo de la humedad presente en las películas biodegradables se enfoca en determinar la pérdida de peso del bioclástico al ser sometido a deshidratación por 24 horas, para ello se utilizó la siguiente fórmula para su respectivo calculo:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{m_w - m_d}{m_w} * 100$$

En donde:

m_w = peso inicial de las láminas (g)

m_d = peso seco o final de las láminas (g)

4.3. Resultados

4.3.1. Almidón

4.3.1.1. Características sensoriales de la materia prima

Se elaboró la caracterización de la achira, donde se trabajó con 20 muestras, recolectando su respectivo peso, longitud y diámetro.

Tabla 14-4: Caracterización sensoriales de la materia prima

N°	Características		
	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
1	119,227	109,071	55,044

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.1.2. Rendimiento de la extracción por vía humedad

Los datos del rendimiento porcentual obtenido demuestran que el tratamiento con mayor promedio fue el T4 con una revolución por minuto alta y un tiempo de 45 segundos (4,35%) y el de menor promedio fue el T1 con una revolución por minuto baja y un tiempo de 30 s (2,08%), valores obtenidos del diseño experimental 2^k , que trabajo con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, siguiendo la metodología utilizada por Chimbo Encalada (2021, p.5) que parte por la selección de materia prima, seguido de un lavado minucioso para la eliminación de residuos de insectos, tierra u otros contaminantes y adición de una sustancia antipardeamiento con ácido cítrico para evitar la oxidación del producto. Para el desarrollo del diseño experimental 2^k se procedió a plantear 4 tratamientos con 3 repeticiones cada uno manteniendo constante 300 gramos de almidón de Achira y 500 ml de agua para cada repetición variando el tiempo de licuado (30 y 45 segundos) y la velocidad de trituración (Alta y baja). Por último, se identificó mediante el test estadístico ANOVA, que existe diferencias significativas entre los tratamientos, ya que presento una interacción de probabilidad (0,007) menor que el porcentaje permitido (0,05). De esta forma se muestran los resultados en las siguientes tablas.

Tabla 15-4: Rendimiento de almidón

Tratamiento	Producto	Rendimiento
T4	Cáscaras de achira	4,350

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 16-4: Hipotesis del rendimiento del almidón

Método	
Hipótesis nula	No existe diferencias significativas entre los tratamientos
Hipótesis alterna	existe diferencias significativas entre los tratamientos
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 17-4: ANOVA del rendimiento del almidón

Análisis de Varianza							
Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	3	77,49	76,03%	77,49	25,831	8,46	0,007
Error	8	24,44	23,97%	24,44	3,055		
Total	11	101,93	100,00%				

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 18-4: Análisis Tukey del rendimiento del almidón

Factor	N	Media	Agrupación		
T4 (RPM LA) 45s	3	13,05	A		
T2 (RPM LB) 45s	3	11,59	A	B	
T3 (RPM LA) 30s	3	9,713		B	
T1 (RPM LB) 30s	3	6,26			C

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.1.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Tabla 19-4: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las cáscaras

No.	PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA/ INSTITUCIÓN
1	Humedad	%	14,5	-	FAO

2	Ceniza	%	0,08	-	FAO
3	Solubilidad	%	9,426	0,27-12,32	FAO
4	pH	pH	5,58	5,0-7,0	(NTE INEN 1456 1986)
5	Fibra	%	3,80	-	SAQMIC
6	Proteína	%	5,65	-	SAQMIC
7	Viscosidad	cP	110,07	-	Norma Técnica Colombiana (NTC) 3228
8	Hongos	UFC/g	1200	Min:1x 103 Max:1x10 ⁴	SAQMIC
9	Levaduras y Mohos	UFC/g	270	Min:1x 103 Max:1x10 ⁴	SAQMIC
10	Coliformes Totales	UFC/g	50	-	SAQMIC

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 20-4: Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del almidón

No.	PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR	ESTÁNDAR	NORMA/ INSTITUCIÓN
1	Humedad	%	11,11	0,9-15%	AOAC 925.10, 2000
2	Ceniza	%	0,68	<2%	(NTE INEN-ISO 3593 2014)
3	Solubilidad	%	3,36	0,27-12,32	FAO
4	pH	pH	6,42	5,0-7,0	(NTE INEN 1456 1986)
5	Viscosidad	cP	10520	840-1500 cP	(FAO 2007)
6	Amilosa	%	25,42	-	INIAP
7	Amilopectina	%	74,58	-	INIAP
8	Hongos	UFC/g	2000	1000-5000	SAQMIC
9	Levadura y mohos	UFC/g	30	5x10 ³	SAQMIC
10	Temperatura de gelatinización	°c	64	57,5-70 °c	FAO (Grace 1997)
11	Coliformes totales	UFC/g	0	-	SAQMIC

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

El presente trabajo de investigación inicia con los procesos de extracción de almidón bajo las normas FAO, INEN y las Normas Técnicas Colombianas, empleadas para la determinación fisicoquímicas y microbiológicos de esta materia prima, en primer lugar el promedio obtenido en base a las repeticiones para el cálculo de la temperatura de gelatinización es de 64 °C, debido

a la capacidad de hinchamiento de los gránulos del almidón, que al ser expuestos a temperaturas elevadas ocasiona que la amilosa y amilopectina adquieran la mayor cantidad de líquido aumentando su viscosidad misma que arrojó un valor de 10520 cP, mismo que se encuentra dentro del rango determinado por la norma. El porcentaje de extracción de almidón proveniente de las cáscaras de Achira en esta investigación, resulta ser un valor bajo si se lo compara con el rendimiento obtenido por otras materias primas como es el caso de trabajo Chimbo Encalada (2021, p.2) que obtuvo un rendimiento de 28,26 % proveniente de las cáscaras de yuca. En el estudio realizado por Quicaña Avilés (2014, p.6) sobre “EXTRACCION Y CARACTERIZACION DEL ALMIDON DE ACHIRA (*Canna edulis.*)”, el rendimiento obtenido del almidón de Achira blanca fue de 9,54g/100g, valor relativamente mayor al obtenido en esta investigación debido a que no se trabajó específicamente con las cáscaras.

4.3.1.4. Espectro infrarrojo del almidón de achira

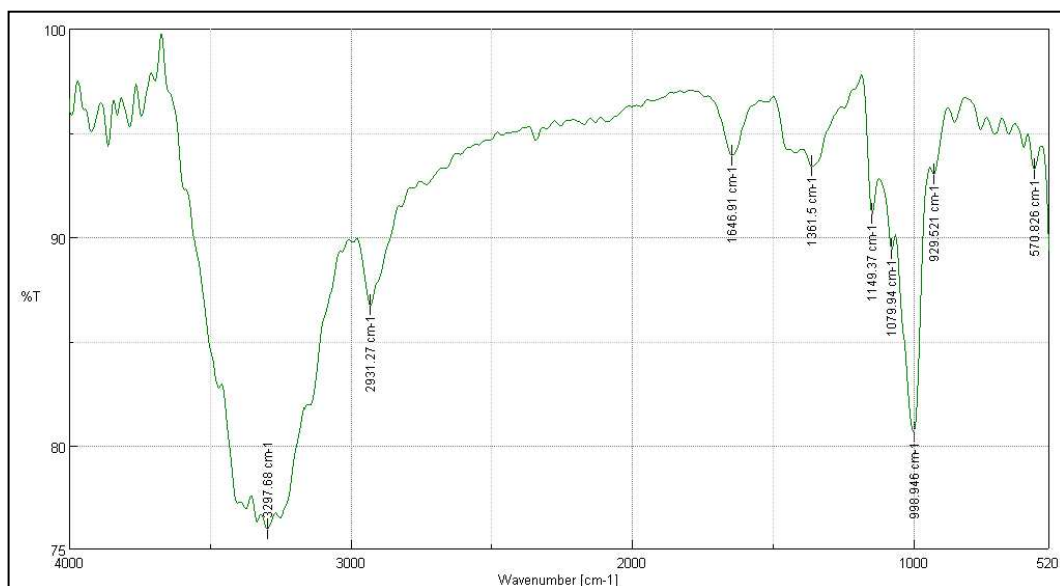


Ilustración 1-4: Espectro infrarrojo del almidón de achira

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 21-4: Espectro infrarrojo del almidón de achira

Producto	Pico	Grupo	Descripción / Compuesto
Almidón de Achira	3297,68 cm^{-1}	-OH	Hidroxilo
	2931,27 cm^{-1}	-CH	Metilo
	998,946 cm^{-1}	C-C ó C-O	Covalente

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.1.5. Tamaño del gránulo

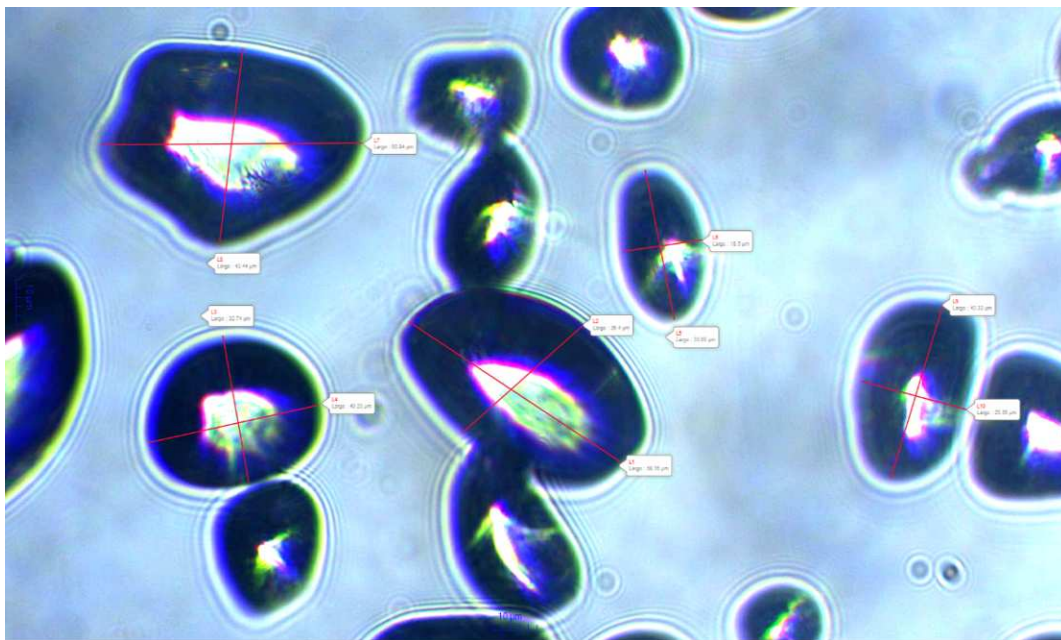


Ilustración 2-4: Tamaño del gránulo

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.2. Acetilación

4.3.2.1. Rendimiento del proceso de acetilación

Tabla 22-4: Rendimiento del almidón acetilado

N°	Tratamiento	Rendimiento (%)
1	AA1	74,142
2	AA2	84,183
3	AA3	85,742

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

En base a los resultados obtenidos correspondiente al rendimiento de cada tratamiento, se evidencia una pérdida de almidón después de pasar por los procesos de acetilación, esto debido a que existen pérdidas durante el proceso que conlleva la combinación del almidón con diferentes aditivos y sucesivos lavados.

4.3.3. Bioplástico

4.3.3.1. Análisis preliminar

Con el fin de lograr una comparación de las propiedades mecánicas del bioplástico con almidón modificado, se realizó un ensayo con 3 repeticiones usando almidón nativo, permitiéndonos evaluar el mejoramiento con el uso del almidón acetilado.

Tabla 23-4: Evaluación previa del blanco

N°	Tratamiento	Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
1	TRA1	R1	0,202	0,2	SI	SI	opaco	SI
		R2	0,198	0,1	SI	SI	opaco	SI
		R3	0,2	0,2	SI	SI	opaco	SI

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 24-4: Evaluación previa del bioplástico con almidón Acetilado

N°	Tratamiento	Repetición	Peso (g)	Espesor (mm)	Moldeo	Forma película	Transparencia	Estabilidad
1	AA1	G1	R1		0,1	SI	SI	SI
2			R2		0,2	SI	SI	SI
3			R3		0,3	SI	SI	SI
4		G2	R1		0,4	SI	SI	SI
5			R2		0,2	SI	SI	SI
6			R3		0,2	SI	SI	SI
7	AA2	G1	R1		0,3	SI	SI	SI
8			R2		0,2	SI	SI	SI
9			R3		0,2	SI	SI	SI
10		G2	R1		0,3	SI	SI	Ligeramente opaco
11			R2		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco
12			R3		0,2	SI	SI	Ligeramente opaco
13	AA3	G1	R1		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco
14			R2		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco
15			R3		0,2	SI	SI	Ligeramente opaco
16		G2	R1		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco
17			R2		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco

18			R3		0,1	SI	SI	Ligeramente opaco	SI
----	--	--	----	--	-----	----	----	-------------------	----

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

De acuerdo a los datos obtenidos en la elaboración de la biopelícula de almidón de achira se logró notar cambios significativos tanto en la coloración y peso, esto debido a la modificación que sufrió el almidón con el proceso de acetilación dando resistencia y compactación en las biopelículas

4.3.3.2. Pruebas físicas del bioplástico

Tabla 25-4: Ensayos físicos del bioplástico

N°	Tratamiento		Espesor (mm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Permeabilidad $\frac{g * mm}{h * Mpa}$
1	AA1	G1	0,2	14,30	48,32	0,001393
2		G2	0,2	13,22	45,50	0,001310
3	AA2	G1	0,2	13,82	56,79	0,00197
4		G2	0,2	8,169	40,61	0,000883
5	AA3	G1	0,1	10,67	48,08	0,001000
6		G2	0,1	7,71	46,79	0,000720
Límite de referencia			< 1,0 mm NTE INEN 2635	19,3-22,1% INEN 1462 (Alimentarios, 2011)	39,0-59,5 % (Alimentarios, 2011)	(Joaqui D, Villada C 2013)

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.3.3. Prueba degradabilidad

Tabla 26-4: Ensayo de degradabilidad

N°	Tratamiento		Degradabilidad (%)		
			Agua	Suelo	Ambiente
1	AA1	G1	84,939	40,045	5,978
2		G2	100,000	61,314	7,067
3	AA2	G1	100,000	51,010	17,825
4		G2	100,000	57,693	28,469
5	AA3	G1	87,313	48,531	20,847
6		G2	83,204	57,221	25,404

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.3.4. Tiempo estimado de biodegradabilidad

Tabla 27-4: Tiempo estimado de biodegradabilidad en diferentes ambientes

Nº	Producto	Agua (días)	Suelo (días)	Ambiente(días)
1	Bioplástico a partir de almidón acetilado de achira	15	57	170

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.3.5. Resultado de la aplicación de la biopelícula en el producto

Con la finalidad de examinar la funcionalidad del bioplástico para la conservación de alimentos, se procedió a comparar una uva envuelta con el bioplástico y otra al ambiente por un lapso de 10 días, a través de un análisis sensoria se analiza si su vida útil aumenta.

Tabla 28-4: Aplicación de la biopelícula en el producto

Análisis sensorial					
Muestra		Textura	Sabor	Olor	Aspecto
Uva al ambiente		Suave	Agrio	Rancio	Deformado
Uva Recubierta	AA1G1	Dura	Dulce	Dulce	Firme
	AA1G2	Dura	Dulce	Dulce	Firme
	AA2G1	Dura	Dulce	Dulce	Firme
	AA2G2	Dura	Semi dulce	Dulce	Firme
	AA3G1	Dura	Dulce	Dulce	Firme
	AA3G2	Dura	Semi dulce	Dulce	Firme

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

4.3.3.6. Ensayos de tracción

Tabla 29-4: Pruebas mecánicas del blanco

N°	Tratamiento	Módulo elástico (MPa)	Máxima carga (N)	Máximo desplazamiento (mm)	Máximo esfuerzo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura carga (N)
1	Blanco	12	7,869	9,76	2,717	24,74	0,778

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Para corroborar las diferencias entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos en las pruebas mecánicas de cada grupo, identificando de esta manera que existió diferencias significativas entre ellos. La evaluación se llevó a cabo por medio del ANOVA y Tukey, con la finalidad de descartar los tratamientos que no permiten obtener mejoramiento e indagar la mejor formulación para la elaboración de la biopelícula y la influencia de los procesos de acetilación en el almidón de Achira

Tabla 30-4: Módulo elástico

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Módulo elástico	AA1G1	3	2,596	1,417	2,009	7,787
	AA1G2	3	0,579	0,262	0,069	1,737
	AA2G1	3	0,555	0,434	0,188	1,665
	AA2G2	3	8,99	10,39	107,95	26,98
	AA3G1	3	1,258	0,738	0,544	3,774
	AA3G2	3	48,8	30,1	908,9	146,3

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 31-4: ANOVA módulo elástico

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	5438	1087,6	6,40	0,004
Error	12	2039	169,9		
Total	17	7477			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 32-4: Análisis Tukey para el módulo elástico

Grupo	N	Media	Agrupación	
AA3G2	3	48,8	A	
AA2G2	3	8,99		B
AA1G1	3	2,596		B
AA3G1	3	1,258		B
AA1G2	3	0,579		B

AA2G1	3	0,555		B
-------	---	-------	--	---

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 33-3: Máxima carga

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Máxima carga	AA1G1	3	4,09	1,84	3,40	12,26
	AA1G2	3	0,4536	0,0879	0,0077	1,3609
	AA2G1	3	2,625	0,372	0,138	7,875
	AA2G2	3	5,22	2,34	5,48	15,67
	AA3G1	3	1,292	0,274	0,075	3,875
	AA3G2	3	12,22	1,84	3,40	36,67

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 34-4: ANOVA máxima carga

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	271,02	54,204	26,02	0,0000048
Error	12	25,00	2,083		
Total	17	296,02			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 35-4: Análisis Tukey para máxima carga.

Grupo	N	Media	Agrupación		
AA3G2	3	12,22	A		
AA2G2	3	5,22		B	
AA1G1	3	4,09		B	C
AA2G1	3	2,625		B	C
AA3G1	3	1,292		B	C
AA1G2	3	0,4536			C

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 36-4: Máximo desplazamiento

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Máximo desplazamiento	AA1G1	3	23,21	2,53	6,38	69,64
	AA1G2	3	6,816	1,336	1,784	20,448
	AA2G1	3	42,50	14,89	221,71	127,50
	AA2G2	3	31,6	31,8	1008,1	94,7

	AA3G1	3	25,40	8,18	66,97	76,19
	AA3G2	3	8,60	6,53	42,60	25,81

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 37-4: ANOVA máximo desplazamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	2786	557,3	2,48	0,092
Error	12	2695	224,6		
Total	17	5481			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 38-4: Análisis Tukey para máximo desplazamiento

Grupo	N	Media	Agrupación
AA2G1	3	42,50	A
AA2G2	3	31,6	A
AA3G1	3	25,40	A
AA1G1	3	23,21	A
AA3G2	3	8,60	A
AA1G2	3	6,816	A

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 39-4: Máximo esfuerzo

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Máximo Esfuerzo	AA1G1	3	1,461	0,763	0,582	4,383
	AA1G2	3	0,0970	0,0615	0,0038	0,2909
	AA2G1	3	0,583	0,465	0,217	1,749
	AA2G2	3	2,67	2,04	4,14	8,02
	AA3G1	3	0,6346	0,1181	0,0139	1,9039
	AA3G2	3	7,544	1,255	1,576	22,632

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 40-4: ANOVA máximo esfuerzo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	116,43	23,287	21,37	0,000014
Error	12	13,07	1,089		

Total	17	129,51			
-------	----	--------	--	--	--

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 41-4: Análisis Tukey para máximo esfuerzo

Grupo	N	Media	Agrupación
AA3G2	3	7,544	A
AA2G2	3	2,67	B
AA1G1	3	1,461	B
AA3G1	3	0,6346	B
AA2G1	3	0,583	B
AA1G2	3	0,0970	B

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 42-4: Máxima deformación

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Máxima deformación	AA1G1	3	57,27	2,72	7,38	171,81
	AA1G2	3	15,87	2,94	8,64	47,60
	AA2G1	3	94,1	27,6	759,3	282,2
	AA2G2	3	80,8	67,8	4592,0	242,3
	AA3G1	3	58,5	21,3	453,2	175,5
	AA3G2	3	23,5	20,3	411,1	70,5

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 43-4: Anova máxima deformación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	14189	2838	2,73	0,071
Error	12	12463	1039		
Total	17	26652			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 44-4: Análisis Tukey para máxima deformación

Grupo	N	Media	Agrupación
AA2G1	3	94,1	A
AA2G2	3	80,8	A
AA3G1	3	58,5	A

AA1G1	3	57,27	A
AA3G2	3	23,5	A
AA1G2	3	15,87	A

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 45-4: Rotura de carga

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Rotura de carga	AA1G1	3	1,683	1,166	1,361	5,050
	AA1G2	3	-0,355	0,246	0,061	-1,065
	AA2G1	3	1,037	0,434	0,189	3,112
	AA2G2	3	0,4972	0,1209	0,0146	1,4915
	AA3G1	3	0,52583	0,00289	0,00001	1,57750
	AA3G2	3	0,688	0,192	0,037	2,065

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 46-4: ANOVA rotura de carga

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	6,788	1,3576	4,90	0,011
Error	12	3,323	0,2769		
Total	17	10,111			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 47-4: Análisis Tukey para rotura de carga

Grupo	N	Media	Agrupación	
AA1G1	3	1,683	A	
AA2G1	3	1,037	A	B
AA3G2	3	0,688	A	B
AA3G1	3	0,52583	A	B
AA2G2	3	0,4972	A	B
AA1G2	3	-0,355		B

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 48-4: Rotura desplazamiento

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Rotura desplazamiento	AA1G1	3	28,41	4,42	19,57	85,23
	AA1G2	3	10,589	0,600	0,360	31,767

	AA2G1	3	48,38	16,59	275,10	145,14
	AA2G2	3	45,1	29,4	862,8	135,4
	AA3G1	3	31,59	8,44	71,16	94,76
	AA3G2	3	12,45	10,83	117,39	37,36

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 49-4: ANOVA rotura desplazamiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	3765	753,0	3,36	0,040
Error	12	2693	224,4		
Total	17	6458			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 50-4: Análisis Tukey para rotura desplazamiento

Grupo	N	Media	Agrupación
AA2G1	3	48,38	A
AA2G2	3	45,1	A
AA3G1	3	31,59	A
AA1G1	3	28,41	A
AA3G2	3	12,45	A
AA1G2	3	10,589	A

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 51-4: Rotura esfuerzo

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Rotura esfuerzo	AA1G1	3	0,567	0,343	0,118	1,702
	AA1G2	3	-0,0595	0,0318	0,0010	-0,1784
	AA2G1	3	0,221	0,228	0,052	0,663
	AA2G2	3	0,2354	0,1282	0,0164	0,7063
	AA3G1	3	0,2714	0,0931	0,0087	0,8141
	AA3G2	3	0,4251	0,1244	0,0155	1,2753

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 52-4: ANOVA rotura esfuerzo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Grupo	5	0,6730	0,13460	3,82	0,027
Error	12	0,4231	0,03526		
Total	17	1,0961			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 53-4: Análisis Tukey para rotura de esfuerzo

Grupo	N	Media	Agrupación	
AA1G1	3	0,567	A	
AA3G2	3	0,4251	A	B
AA3G1	3	0,2714	A	B
AA2G2	3	0,2354	A	B
AA2G1	3	0,221	A	B
AA1G2	3	-0,0595		B

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 54-4: Rotura deformación

Variable	Grupo	N	Media	Desv.Est.	Varianza	Suma
Rotura deformación	AA1G1	3	69,92	6,54	42,79	209,77
	AA1G2	3	24,745	1,690	2,857	74,234
	AA2G1	3	107,1	30,6	934,1	321,3
	AA2G2	3	87,6	72,6	5275,1	262,7
	AA3G1	3	72,7	22,9	525,8	218,0
	AA3G2	3	42,2	24,7	608,4	126,5

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 55-4: ANOVA rotura deformación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Grupo	5	13416	2683	2,18	0,125
Error	12	14778	1231		
Total	17	28194			

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023..

Tabla 56-4: Análisis Tukey para rotura deformación

Grupo	N	Media	Agrupación
AA2G1	3	107,1	A

AA2G2	3	87,6	A
AA3G1	3	72,7	A
AA1G1	3	69,92	A
AA3G2	3	42,2	A
AA1G2	3	24,745	A

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 57-4: Pruebas mecánicas con Almidón acetilado.

N°	Tratamiento	Módulo Elástico (Mpa)	Máxima carga (N)	Máximo desplazamiento (mm)	Máximo Esfuerzo (MPa)	Máxima deformación (%)	Rotura carga (N)	Rotura desplazamiento (mm)	Rotura esfuerzo (MPa)	Rotura deformación (%)
1	AA1G1	2,596	4,09	23,21	1,461	57,27	1,683	28,41	0,567	69,92
2	AA1G2	0,579	0,4536	6,816	0,0970	15,87	-0,355	10,589	-0,0595	24,745
3	AA2G1	0,555	2,625	42,50	0,583	94,1	1,037	48,38	0,221	107,1
4	AA2G2	8,99	5,22	31,6	2,67	80,8	0,4972	45,1	0,2354	87,6
5	AA3G1	1,258	1,292	25,40	0,6346	58,5	0,52583	31,59	0,2714	72,7
6	AA3G2	48,8	12,22	8,60	7,544	23,5	0,688	12,45	0,4251	42,2

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Los resultados obtenidos del análisis ANOVA dio paso a establecer los parámetros de los 6 tratamientos determinados para las pruebas mecánicas aplicadas a las biopelículas a partir de almidón de achira, en donde el máximo desplazamiento, máxima deformación y rotura deformación no existieron diferencias significativas, debido a que el valor de probabilidad se encuentra por encima del valor de confiabilidad el cual corresponde al 95%, debido a esto se estipula que todos los tratamientos son adecuados para estos parámetros en específico. Sin embargo, si existieron diferencias en los parámetros restantes (módulo elástico, Máxima carga, máximo esfuerzo, rotura de carga, rotura desplazamiento, rotura esfuerzo) donde el valor de probabilidad se halló por debajo de los 0,05 del valor de significancia, por lo que los tratamientos AA1G1, AA1G2, AA2G2, AA3G1 Y AA3G2, se encuentran alejados de las diversas repeticiones, por esta razón, se empleó el análisis Tukey, para evaluar dichas diferencias, Obteniendo como resultado que el tratamiento AA2G1, se considera el más apto, ya que presento un desplazamiento 42,5 mm, máxima deformación de 94,1 % , rotura de carga de 1,07 N, rotura deformación 107,1% y una rotura desplazamiento 48,38 %.

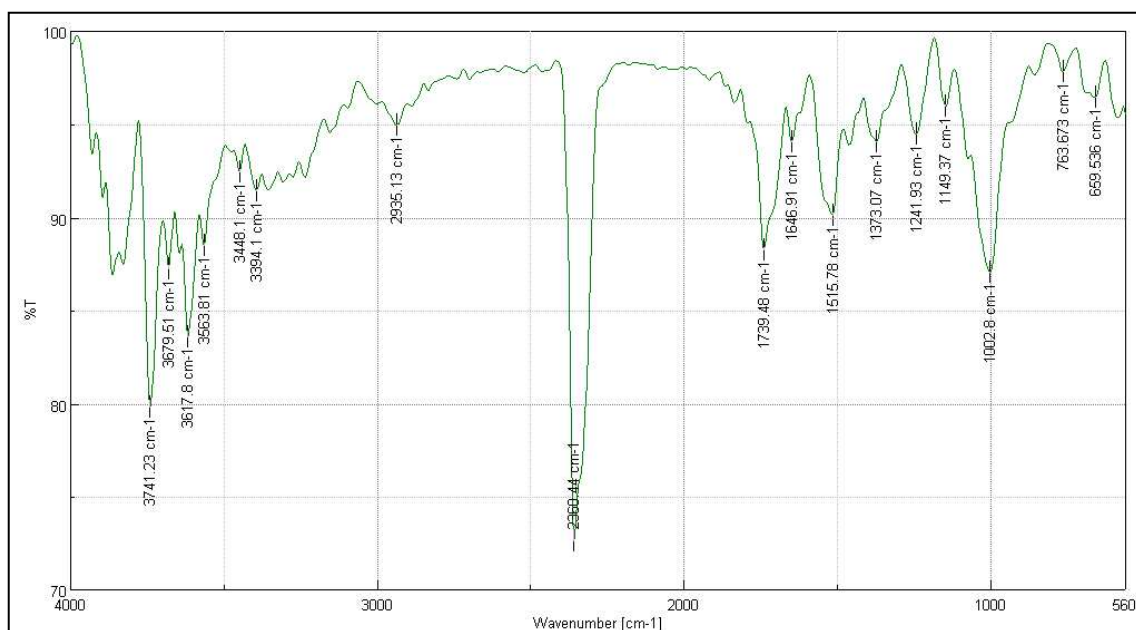


Ilustración 3-4: Espectroscopia infrarroja del mejor tratamiento

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Se estableció el tratamiento con mejores propiedades mecánicas en base al análisis ANOVA y Tukey correspondiente al tratamiento AA2G1, se procedió a evaluar las características que el almidón acetilado proporciona a la biopelícula en base a la espectroscopia, reflejando que en el existen grupos hidroxilos, aldehídos, alcoholes, alcanos, alquenos, alquinos y éteres alifáticos, detallado en base a los picos obtenidos en la tabla

Tabla 58-4: Espectroscopia infrarroja del mejor tratamiento

Tratamiento	Pico	Grupo	Descripción / Compuesto
AA2G1	3741,23 y 3617,8 cm^{-1}	-OH	Alcohol
	2360,44 cm^{-1}	$C\equiv C$	Alquinos
	1739.48 cm^{-1}	-C=O	Carbonilo
	1149.37 cm^{-1}	C-O-C	Éter

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

4.3.4. Valoración económica

Tabla 59-4: Insumo de la producción de almidón

Nº	Producto	Valor invertido \$
1	Achira	30
2	Agua destilada	10

3	Recipientes	5
4	Tela filtro	1,25

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 60-4: Insumos de la acetilación del almidón

Nº	Producto	Valor invertido \$
1	Anhídrido acético	15
2	Hidróxido de sodio	12
3	Etanol	2,5
4	Agua destilada	1,75
5	Tubos falcón	0,45

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

Tabla 61-4: Insumos de producción de las láminas biodegradables

Nº	Producto	Valor \$
1	Glicerina	0,75
2	Agua destilada	1,75
3	Moldes de vidrio	6,5

Realizado por: Villarreal, Leytom, 2023.

4.3.5. Prueba de hipótesis

4.3.5.1. Hipótesis general

En base a la investigación realizada se llegó a la conclusión que, mediante el uso de almidón acetilado, se logró aumentar y por ende conservar la vida útil de los alimentos, siendo este una alternativa para sustituir el uso de los plásticos tradicionales derivados del petróleo.

4.3.5.2. Hipótesis específica

De acuerdo a los resultados de los rendimientos del almidón extraído, se llega a la conclusión que no es fiable, porque su rendimiento es de 4,35%, No obstante, es importante tener en consideración que solo se trabajó con las cáscaras.

Dado a los resultados obtenidos en las pruebas mecánicas del bioplástico, estas validan la fiabilidad de modificar el almidón a través de procesos de acetilación, ya que otorga mejores características logrando un desplazamiento de 42,5 mm, máxima deformación de 94,1 %, rotura de carga de 1,07 N, rotura deformación 107,1% y una rotura desplazamiento 48,38 %, como es el

caso del tratamiento AA2G1.

La determinación de la formulación para la elaboración del bioplástico es fiable, esto se ve reflejado en los diferentes tratamientos realizados, donde el AA2G1 sobresalió con mejores características físicas-mecánicas, obteniendo un bioplástico optimo a diferencia del tratamiento AA1G1, AA1G2, AA2G2, AA3G1, AA3G2.

Atreves de las pruebas físicas-mecánicas se validó los tratamientos realizados con sus respectivas formulaciones, exponiendo el efecto significativo que otorgan dichos tratamientos en la resistencia y maleabilidad de la biopelícula.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

Este estudio forma parte de la propuesta planteada por el grupo de investigación ambiental y desarrollo de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimbrazo-Ecuador (GIADE); que han venido desarrollando el proyecto de investigación “Obtención de bioplásticos a partir de los productos agrícolas del Ecuador” con la misión de contribuir al avance de la investigación, igualmente del apoyo de artículos científicos confiables y trabajos relacionados con la obtención y acetilación del almidón. En base a esto nuestra propuesta se relaciona con biopolímeros para la conservación de alimentos, usando como materia prima la Achira.

Los resultados obtenidos dentro del proyecto de investigación proporcionan un fuerte soporte al argumento de modificar por procesos de acetilación el almidón extraído de la Achira, (*Canna indica*), pues esto es favorable y se ve reflejado en la evaluación y caracterización de la biopelícula, obteniendo valores de desplazamiento de 42,5 mm, máxima deformación de 94,1 % , rotura de carga de 1,07 N y una rotura desplazamiento 48,38 %, considerándose el tratamiento AA2G1 el más factible para su manufactura, detallando la cantidades idóneas de 2 g de almidón acetilado de nivel II, 30 mL de agua destilada, 5 ml de ácido acético y 1 mL de glicerina. De esta forma, planteamos que, de acuerdo a los resultados obtenidos dentro del proyecto de investigación, las cantidades detalladas nos permitieron desarrollar un bioplástico óptimo y estable para la conservación de alimentos.

CONCLUSIONES

- Se sintetizó una biopelícula a partir de almidón acetilado procedente de cáscaras de Achira en donde se obtuvo un mejoramiento tanto en sus propiedades físicas y mecánicas, como también sus propiedades de conservación ya que, al ser probado en la uva, esta mantuvo sus características organolépticas iniciales como olor, color y sabor, durante 10 días, a diferencia de las que estuvieron expuestas sin recubrimiento.
- Se extrajo almidón a partir de cáscaras de Achira (*Canna indica*), por vía húmeda, reflejando el mejor tratamiento T4 con un rendimiento de 4,350 %, el cual se llevó a cabo con un tiempo de trituración de 45s y una velocidad alta a (20000 RPM), contiene un porcentaje de amilosa de 25,42% y amilopectina 74,58%, además de buenos índices de humedad, solubilidad, pH, viscosidad y ausencia de mohos, levaduras, hongos y coliformes totales; se afirma, que el tratamiento realizado extrae un almidón de buena calidad y apto para el uso en alimentos.
- Se modificó el almidón a través de procesos de acetilación a tres niveles variando el volumen de anhídrido acético (5, 10, 15) mL respectivamente, manteniendo constante la cantidad de almidón nativo 40g, exponiendo al tratamiento AA3 como el mejor rendimiento 85,742% seguido del tratamiento AA2 84,183%, dado a que existen pérdidas en el proceso, específicamente durante el lavado del almidón.
- Se determinó la formulación óptima para la producción de una biopelícula a partir de la mezcla del almidón con ingredientes correspondiente. Donde el tratamiento AA2G1 mostró las mejores características físicas, mecánicas, utilizando 2g del almidón acetilado de nivel II, 30 mL de agua destilada, 5 ml de ácido acético y 1 mL de glicerina.
- Se validó la biopelícula obtenida mediante pruebas física-mecánicas y biodegradables, en base a los parámetros establecidos en la norma ISO 527, la caracterización determinó que el espesor es de 0,2 mm, la humedad 13,82%, la solubilidad de 56,79 % y la permeabilidad de $0,00197 \frac{g \cdot mm}{h \cdot Mpa}$ considerando dichos valores del tratamiento AA2G1 idóneos de acuerdo a la norma, siendo este el mejor tratamiento especificado mediante un análisis ANOVA y Tukey con un módulo elástico (0,555 Mpa), máxima carga (2,625 N), máximo desplazamiento (42,50 mm), máximo esfuerzo (0,583 Mpa), máxima deformación (94,1 %), y rotura de carga (1,037 N). Mostrando que existen diferencias significativas entre los tratamientos AA1G1, AA1G2, AA2G1, AA2G2, AA3G1, AA3G2, al evaluar los parámetros de las pruebas mecánicas. Para el ensayo de degradabilidad se aplicó el análisis de disminución de área con el programa image J evaluado a los 7, 14, 21 y 30 días, los valores más representativos en agua fueron 100% (AA1G2, AA2G1, AA2G2), 61,34% en suelo (AA1G2) y 28,469 en ambiente (AA2G2) donde el respectivo tiempo de degeneración de cada ambiente fue entre: 15, 57, 170 días respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Durante el proceso de acetilación específicamente en los diversos lavados ejecutados en la centrifugadora se recomienda aprovechar el sobrante en el fondo de los tubos falcon con el fin de disminuir las pérdidas de almidón
- Para la elaboración del bioplástico se recomienda estandarizar los moldes y relacionarlos con el volumen de la mezcla para obtener láminas de bioplásticos uniformes, controlando el espesor y tiempo de secado de las mismas.
- Realizar análisis microbiológicos al plástico ya que será implementados para la conservación de alimentos
- Realizar investigaciones variando las cantidades utilizadas para el proceso de acetilación, con el fin de aumentar la base de datos disponibles acerca de las cantidades a usar.
- Se recomienda realizar pruebas para obtener biopelículas a partir de residuos de productos orgánicos.

GLOSARIO

- **INEN:** (Instituto Nacional de Normalización y Calidad Industrial en Ecuador) es una entidad pública que tiene como objetivo establecer normas y criterios de calidad en diversos productos y servicios.
- **ASTMD-883:** (American Society for Testing and Materials) que especifica los procedimientos para la preparación y revisión de muestras de plásticos termoestables para su ensayo.
- **FAO:** (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) que proporciona asistencia técnica y capacitación a los países en desarrollo para mejorar la producción de almidones y promueve el uso de almidones de fuentes alternativas.
- **ISO 20200:2019:** (International Organization for Standardization), “Bioplastics - Biodegradable and compostable plastics - Requirements and test methods”, esta norma especifica los requisitos y los métodos de prueba para determinar si un bioplástico es biodegradable y compostable.
- **AOAC:** (Association of Official Analytical Chemists): Es una organización no gubernamental que establece estándares de calidad para alimentos y productos químicos. Proporciona métodos de análisis para medir la calidad de los almidones.
- **IR:** El (Espectroscopio Infrarrojo) es una herramienta utilizada para analizar la estructura molecular de las sustancias orgánicas e inorgánicas. Mediante radiación infrarroja para excitar las vibraciones de los enlaces químicos en una molécula.
- **RPM:** Revoluciones por minutos, es una unidad de medición que nos permite dar a conocer la velocidad angular o la frecuencia de un determinado equipo
- **BIODEGRADACIÓN:** Es el proceso mediante el cual los microorganismos, como bacterias y hongos, descomponen la materia orgánica en compuestos más simples mediante la acción de enzimas.
- **PERMEABILIDAD:** Es una medida de la facilidad con la que un material permite el paso de una sustancia a través de él.
- **SOLUBILIDAD:** Cantidad de una sustancia que se puede disolver en un líquido.
- **AMILOSA:** Es un tipo de carbohidrato lineal que es poco soluble en agua y tiene un alto punto de retrogradación, lo que significa que se vuelve sólido y cristalino cuando se enfría después de ser cocido.
- **AMILOPECTINA:** Es un carbohidrato ramificado y es más soluble en agua que la amilosa. La amilopectina es responsable de la textura suave y pegajosa de los alimentos cocidos.
- **ANHÍDRIDO ACÉTICO:** Es un líquido incoloro con un olor característico y sabor ácido se utiliza en la producción de productos químicos, alimentos y medicamentos, También se utiliza

como solvente y conservante en la industria alimentaria.

- **GLICERINA:** Es un líquido viscoso, incoloro y sin olor con un sabor dulce y no tóxico, se utiliza en la industria farmacéutica como excipiente, humectante y lubricante en la fabricación de medicamentos.

BIBLIOGRAFÍA

ALGAR, Ara Fatima C. "Physicochemical and functional properties of starch from Philippine edible Canna (*Canna Indica* L.) rhizomes". *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. Vol. 9, no. 1 (Agosto 2019), pp. 34-37.

ANDRADE-MAHECHA, Margarita M.; et al. 2012. "Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin". *Starch - Stärke*. Vol. 64, no. 5 (mayo 2012), pp. 348-358.

ARIZA LEÓN, Emiliano; et al. "Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua". *Revista ION* [En línea]. junio 2013, 26(1), pp. 63-71. [Consulta: 23 abril 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0120-100X2013000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=es.

BORRAY, Gonzalo Alfredo. *Manual Técnico para su Elaboración*. Colombia: Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA PRONATTA. 2003. pp. 36.

CHIMBO ENCALADA, Melanie Valeria. Producción de plástico biodegradable para el uso en alimentos a partir del almidón de residuos de yuca (*Manihot esculenta*) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 21 julio 2021. pp. 1-113. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14783> Accepted: 2022-01-18T15:56:06Z

ENSINGER. Plásticos con buenas propiedades mecánicas. *Ensigner* [En línea]. 2018. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/seleccion-de-materiales-plasticos/propiedades-mecanicas>

ESTRADA RIVERA, Karen. *Producción y obtención de almidón de achira *Canna edulis* con fines comerciales en el municipio de Algeciras Huila* [En línea]. S.l.: Ingeniería Agronómica. 1 enero 2020. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/ingenieria_agronomica/195

FAO. *Guía Técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Roma: FAO. 2007. ISBN 978-92-5-305677-4.

GARCÍA BERNAL, Hugo Reinel; et al. *El almidon de achira o sagú (Canna edulis, Ker) :manual técnico para su elaboración* [En línea]. Colombia: Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. 1998. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13501>

GARCÍA, Juan Carlos; et al. "Extracción de almidón de malanga blanca, una alternativa socioambiental para la producción de bases poliméricas biodegradables". *ConcienciaDigital*. Vol. 3, no. 3 (3 julio 2020), pp. 6-26.

GARCÍA PÉREZ, Lourdes Raquel. Extracción y caracterización fisicoquímica y funcional del almidón de semilla de huauzontle (*Chenopodium berlandieri* Moq) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de maestría). Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Veracruz-México. 2013. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2005>

GRACE, A. *Serie de Producción y Protección Vegetal de la FAO* [En línea]. Roma: FAO. 1997. ISBN 978-92-5-305677-4. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x5032e/x5032E00.htm>

GUERRA-DELLAVALLE, D.; et al. "Efecto del tiempo de reacción en la acetilación de almidón de plátano". *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2008. Vol. 7, no. 3 (2008), pp. 283-291.

HIZUKURI, Susumu; et al. "Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes". *Carbohydrate Research*. Vol. 94, no. 2 (1 agosto 1981), pp. 205-213.

HOLGUIN CARDONA, Juan Sebastián. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América. 13 febrero 2019. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7388>

JOAQUI D, Diego Fabián; & VILLADA C, Héctor Samuel. "ROPIEDADES ÓPTICAS Y PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA EN PELÍCULAS PRODUCIDAS A PARTIR DE ALMIDÓN". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 11, no. 1 (diciembre 2013.), pp. 59-68.

LEÓN VIRGÜEZ, Carolina. Recubrimientos comestibles a base de almidón con potencial aplicación en conservación de frutas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y A Distancia. 7 noviembre 2018. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/21299>

MARTÍNEZ, Omar; et al. "Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador". *Revista Colombiana de Química*. Vol. 44, no. 2 (1 mayo 2015.), pp. 16-21.

MENESES, Juliana; et al. "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca". *Revista EIA*. Vol. 1, No. 8 (2007), pp. 57-67.

MENOSCAL CHICHANDA, Richard Esteven; et al. Elaboración de láminas biodegradables a partir de los residuos del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. junio 2017. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/623>

MONTENEGRO, Paola Jaramillo. Obtención de almidones modificados de achira (*Canna edulis ker*) y caracterización de sus propiedades de interés en la industria de alimentos [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali-Colombia. 2013. pp. 101. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: DOI <http://hdl.handle.net/10893/15536>.

NOVOA SÁNCHEZ, María Lorena. Proyecto de Factibilidad para la Instalación de una Planta Procesadora de Almidón de Achira en la Provincia de Loja [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. junio 2006. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/6330>

NTE INEN 1456. *Reactivos para análisis. Almidón soluble (para iodometría). Métodos de ensayo.*

NTE INEN-ISO 3593. *ALMIDONES Y FÉCULAS. DETERMINACIÓN DE CENIZAS.*

OROPEZA GONZÁLEZ, Rafael; et al. "Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación". *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* [En línea]. 30 octubre 2016, 7(1), pp. 065-093. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Alberto-Padron-Pereira/publication/309707042_Películas_biodegradables_a_base_de_almidon_propiedades_mecánicas_funcionales_y_biodegradacion/links/581ddd2108aeccc08af02771/Películas-biodegradables-a-base-de-almidon-propiedades-mecánicas-funcionales-y-biodegradacion.pdf.

PARKER, R.; & RING, S. G. "Aspects of the Physical Chemistry of Starch". *Journal of Cereal Science*. Vol. 34, no. 1 (1 julio 2001), pp. 1-17.

PRIETO-MÉNDEZ, J. "Acetilación y caracterización del almidón de cebada". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. Vol. 6, no. 1 (1 enero 2010), pp. 32-43.

QUICANA AVILÉS, Zoya Leishin. Extracción y caracterización del almidón de achira (*Canna edulis*) [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia. Perú. 2014. pp. 1-90. [Consulta: 13 junio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2269>

RIBERA, Julio. *Extracción de almidón de achira (Canna Edulis.) y modificación por acetilación y doble derivatización* [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2006. pp. 1-43. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3350/1/P86%20ref.2975.pdf>

RIMAC LEÓN, Ana Cecilia. Bioplásticos [En línea]. (Trabajo de Investigación) . Universidad Científica del Sur. Lima-Perú. pp. 1-17. 2019. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/806>

SANCHEZ, Teresa; & ARISTIZÁBAL, Johanna. *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* [En línea]. Roma: FAO. 2007. ISBN 978-92-5-305677-4. [Consulta: 22 abril 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

SANDOVAL, Eduardo Rodríguez; et al. "EVALUACIÓN DE LA RETROGRADACIÓN DEL ALMIDÓN EN HARINA DE YUCA PRECOCIDA". *Revista Colombiana de Química*. Vol. 36, no. 1 (1 enero 2007), pp. 13-30.

SULBARÁN, Alexander; et al. "Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente". *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas* [En línea]. Vol. 47, no. 2 (agosto 2018), pp. 255-276.

TESTER, Richard F.; et al. "Starch—composition, fine structure and architecture". *Journal of Cereal Science*. Vol. 39, no. 2 (1 marzo 2004), pp. 151-165.

WOLFF, Ivan A.; et al. "The Acylation of Corn Starch, Amylose and Amylopectin". *Journal of the American Chemical Society*. Vol. 73, no. 1 (1 enero 1951), pp. 346-349.



ANEXOS

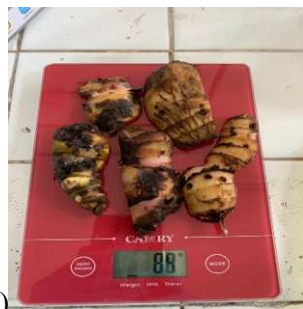
ANEXO A: SELECCIÓN, MEDICIÓN, PESO, PELADO Y LAVADO DE LA MATERIA PRIMA



a)



b)



c)



d)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEY TOM FERNANDO</p>	<p>SELECCIÓN, MEDICIÓN, PESO, PELADO Y LAVADO DE LA ACHIRA</p>		
<p>a. Selección de la materia prima. b. Medición de la Achira c. Pesado de la Achira. d. Pelado de la Achira.</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO B: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA



a)



b)



c)



d)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEY TOM FERNANDO</p>	<p>EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA</p>		
<p>a) Peso para los tratamientos b) Licuado de los tratamientos c) Etiquetado de los tratamientos d) Extracción del almidón</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO C: PRUEBAS DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA



e)



f)



g)



h)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN POR VÍA HUMEDA</p>		
<p>e) Etiquetado de tratamientos f) Peso de almidón extraído g) Secado del almidón h) Almacenamiento de almidón</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN



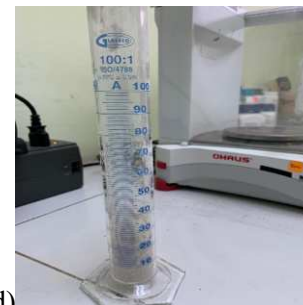
a)



b)



c)



d)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN</p>		
<p>a) Prueba de pH b) Temperatura de gelatinización c) Viscosidad de Brookfield d) Densidad aparente</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>			
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO E: INTERPRETACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN



e)



f)



g)



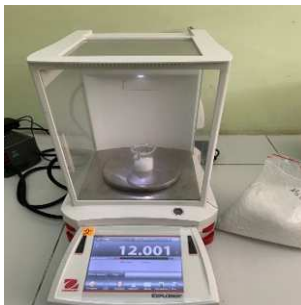
h)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>	<p>CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN</p>		
<p>e) Prueba de Humedad f) Prueba de cenizas g) Índice de solubilidad h) Resultado de ceniza</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO F: ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN



a)



b)



c)



d)

<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>	<p>ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN</p>		
<p>a) Peso del almidón a usar b) Peso del NaoH c) Anhydride acetic d) pH ajustado a 8,5 con NaoH</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>		<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
		<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>	

ANEXO G: SECADO DEL ALMIDÓN



e)



f)



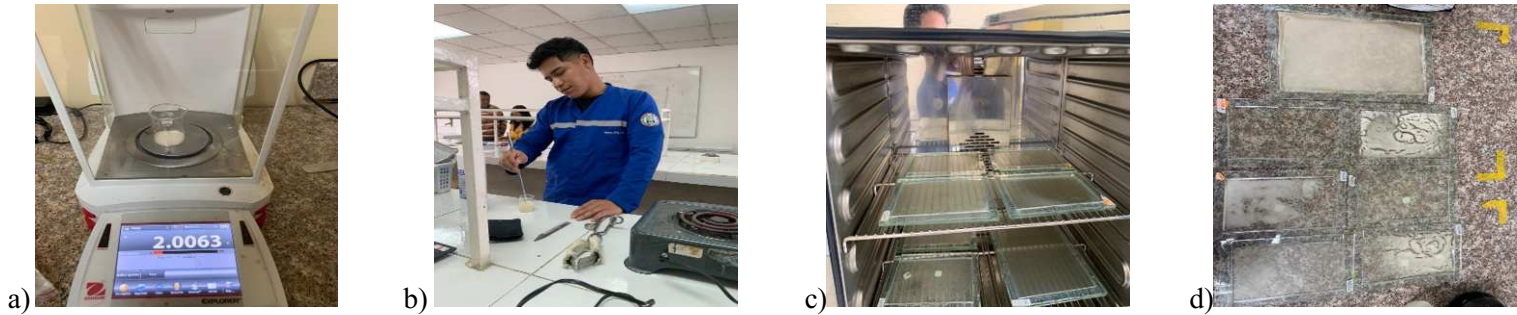
g)



h)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ACETILACIÓN DEL ALMIDÓN		
<p>e) pH ajustado entre 8-8,5 con anhídrido acético y NaOH</p> <p>f) pH ajustado a 5 con HCl</p> <p>g) Secado de almidón</p> <p>h) Tamizado del almidón acetilado</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR:</p> <p>VILLARREAL MINGA LEYTOM</p> <p>FERNANDO</p>	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO H: ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ELABORACIÓN DEL BIOPLÁSTICO		
a) Pesaje del almidón de achira b) Preparación del bioplástico c) Secado de las láminas de plástico d) Obtención de las láminas de plástico.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO DEACHRA



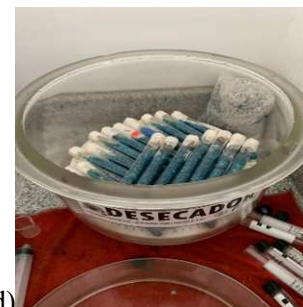
a)



b)



c)



d)

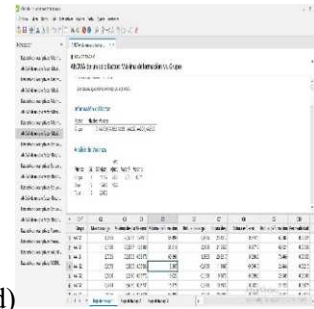
<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p>	<p>CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL BIOPLÁSTICO DE ACHIRA</p>		
<p>a) Prueba de espesor b) Ensayo de humedad c) Ensayo de solubilidad d) Ensayo de permeabilidad</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>	<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>1</p>	<p>1:1</p>	<p>2023/01/24</p>

ANEXO O: PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPLÁSTICO



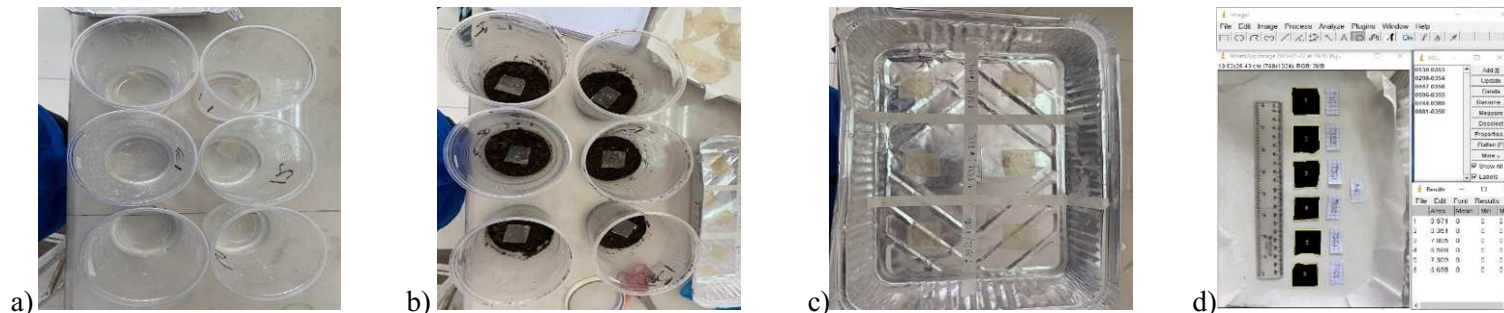
ANÁLISIS MECÁNICO LÁMINA DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE DE ACHIRA LABORATORIO DE INVESTIGACION

Material	Estado	Medida	Longitud	Superficie	Densidad	Resistencia	Deformación	Elongación	Energía
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5



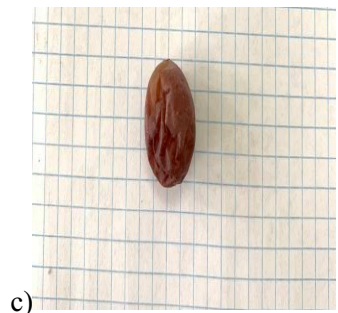
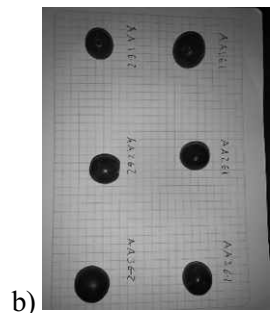
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	PRUEBAS MECÁNICAS DEL BIOPLASTICO		
a) Probetas para el ensayo detracción b) Prueba de tracción en lamaquina universal c) Resultados del ensayo d) Análisis del ensayo	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DEINGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO P: DEGRADABILIDAD EN LOS TRES AMBIENTES Y ANÁLISIS DE ÁREA



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	DEGRADABILIDAD EN LOS TRES AMBIENTES Y NÁLISIS DE ÁREA		
a) Degradabilidad en agua. b) Degradabilidad en tierra. c) Degradabilidad en ambiente. Área. d) Análisis de área en image J	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEY TOM FERNANDO			
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO Q: PRUEBAS EN ALIMENTO



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO</p>	PRUEBAS EN ALIMENTOS		
<p>a) Uvas cubiertas en bioplástico</p> <p>b) Tratamiento de uvas cubiertas a los 10 días</p> <p>c) Tratamiento de uvas sin cobertura a los 10 días</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>				
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO R: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA

INFORME DE ANÁLISIS

CLIENTE: SAQMIC - Loja, Loja, Loja
 UBICACIÓN: Loja, Loja
 TIPO DE MUESTRA: Almidón de Achira
 FECHA DE ENTREGA: 20 de enero del 2023

Examen Físico

COLOR:
 OLORES:
 SABOR:
 Aspecto:
 Observaciones:

Determinaciones	Unidades	Valores de Referencia	Resultado
Cobacterias Totales	UFC/g	Acuando	NFCS
Molde y Levadura	UFC/g	2 a 25'	NFCS

Observaciones:

Atestamos:

SARA ALVAREZ R.
 Dra. Sara Álvarez R.
 RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
 hasta el presente informe técnico solo a la muestra analizada

SAQMIC
 Análisis de Alimentos y Alimentos
 Laboratorio de Alimentos y Alimentos
 Laboratorio de Alimentos y Alimentos
 Laboratorio de Alimentos y Alimentos

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA		
Análisis microbiológicos del almidón en el laboratorio SAQMIC.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO S: ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LA MATERIA PRIMA DE ACHIRA

INFORME DE ANÁLISIS

SAQMIC
LABORATORIO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO Y QUÍMICO

CLIENTE: Señor Leytom Villarreal
 UBICACIÓN: Esmeraldas
 TIPO DE MUESTRA: Achira (materia prima)
 FECHA DE ENTREGA: 30 de enero del 2023

Examen Físico

COLORE: Café oscuro
 OLORE: normal
 ASPECTO: muestra granular, homogénea

Examen Bacteriológico

Determinaciones	Unidades	Factores de referencia	Resultados
Coliformos Totales	UFC/g		50
Mohos y Levaduras	UFC/g	5 x 10 ⁴	250

Examen Químico

Determinaciones	Unidades	Método	Resultados
Proteína (BS)	%	INEN 1670	5.65
Fibra (BS)	%	INEN 522	3.90

Atentamente:
 Dra. Gisele Ariza
 RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
 Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Av. 10 de Octubre # 12 y Mariscal Q
 Quito, Ecuador
 SAQMIC
 Tel: 2 364 592 110

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA		
Análisis microbiológicos de la materia prima en el laboratorio SAQMIC.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEY TOM FERNANDO			
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO T: INFORME CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA

INFORME DE RESULTADOS	
CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA	Nº1
REALIZADO POR	LEYTOM FERNANDO VILLARREAL MINGA
TEMA DEL PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	SÍNTESIS DE UNA BIOPOLICULA A PARTIR DE ALMIDÓN ACETILADO PROCEDENTE DE CASCAJAS DE ACHIRA (Canna indica) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	ALMIDÓN DE ACHIRA
TRATAMIENTO	1
REPETICIÓN	3
FECHA DE FABRICACIÓN	2023-06-01

No.	PARÁMETRO	UNIDADES	VALOR
1	Viscosidad	cp	10620
2	Solubilidad	%	3.36

Aprobado por



ING. Jefferson Bautista

TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	INFORME CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA		
Informe caracterización del almidón de achira	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO U: INFORME ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA BIOPELÍCULA

INFORME DE RESULTADOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN	SP1
REALIZADO POR	LEYTOM FERNANDO VILLARREAL MINGA
TEMA DEL PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	SÍNTESIS DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN ACETILADO PROCEDENTE DE CÁSCARAS DE ACHIHA (Cassia indica) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE II
TRATAMIENTO	AA101, AA102, AA301, AA302, AA303, AA304
REPETICIÓN	3
FECHA DE FABRICACIÓN	2022-11-02
CARACTERÍSTICAS DE COLOR	TRANSPARENTE

N°	Tratamiento	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo de elongación (%)	Módulo de elongación hasta rotura (%)	Módulo de elongación hasta rotura (MPa)	Rotura (MPa)	Rotura (elongación hasta rotura (%))	Rotura (elongación hasta rotura (MPa))	Módulo de elongación hasta rotura (%)
1	AA101	2,380 0	4,08 38	33,21	1,461	57,27	1,583	38,41	0,56 7
2	AA102	0,97 0	0,46 38	6,916	0,897 0	19,87	-	10,389	0,05 55
3	AA301	0,95 0	2,82 5	42,90	0,583	84,1	1,037	48,38	0,22 107,1
4	AA302	8,99 0	0,32 2	31,5	2,27	80,8	0,489 2	45,1	0,23 34
5	AA303	1,25 0	1,20 2	25,40	0,634 0	88,3	0,325 33	31,89	0,27 34
6	AA304	48,8 2	12,2 2	8,50	7,844	23,8	0,888	12,45	0,22 51

Aprobado por



ING. Jefferson Bautista
TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	INFORME ENSAYO DE TRACCIÓN DE LA BIOPELÍCULA		
Informe ensayo de tracción de la biopelícula	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO V: INFORME DE CARCATERIZACIÓN DE LA BIOPELÍCULA

INFORME DE RESULTADOS	
CARACTERIZACIÓN DEL BIOPLÁSTICO	Nº1
REALIZADO POR:	LEYTOM FERNANDO VILLARREAL MINGA.
TEMA DEL PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	SÍNTESIS DE UNA BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN ACETILADO PROCEDENTE DE CASCAJAS DE ACHEBA (Cassia edulis) PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS
TIPO DE MATERIAL	PLÁSTICO BIODEGRADABLE
TRATAMIENTO	AA1G1, AA1G2, AA2G1, AA2G2, AA3G1, AA3G2
REPETICIÓN	3
FECHA DE FABRICACIÓN	2023-12-13

N°	Tratamiento	Espesor (mm)	Humedad (%)	Solubilidad (%)	Permeabilidad	
1	AA1	G1	0,2	14,30	48,32	0,001393
2		G2	0,2	13,22	45,50	0,001310
3	AA2	G1	0,2	13,82	56,79	0,00197
4		G2	0,2	8,169	40,61	0,000883
5	AA3	G1	0,1	10,67	48,08	0,001000
6		G2	0,1	7,71	46,79	0,000720

Aprobado por



ING. Jefferson Bautista

TÉCNICO RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	INFORME DE CARCATERIZACIÓN DE LA BIOPELÍCULA		
Informe de carcaterización de la biopelícula	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24

ANEXO W: ANÁLISIS DE AMILOSA DEL ALMIDÓN



INFORME DE ENVÍO No: 23-023

***NOMBRE PETICIONARIO:** Sr. Leyton Fernando Vilareal
***DIRECCIÓN:** Rocumbá Ciudadela Juan Montalvo
FECHA DE EMISIÓN: 22/02/2023
FECHA DE ANÁLISIS: Del 09 al 22 de febrero del 2023

***INSTITUCIÓN:** Particular
***ATENCIÓN:** Sr. Leyton Fernando Vilareal
FECHA DE RECEPCIÓN: 09/02/2023
HORA DE RECEPCIÓN: 14:45
ANÁLISIS SOLICITADO: Amilosa

ANÁLISIS	HUMEDAD	AMILOSA ^a	IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAA-01.01	MO-LSAA-04	
		Merrison y Lago (1963)	
METODO REF.	U. FLORIDA 1979	1983	
UNIDAD	%	%	
23-023	11,40	25,42	Almidón de Achira

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

RESPONSABLES DEL INFORME

Quím. Verónica Ariza
 RESPONSABLE TÉCNICO

Ing. Blasimir Ortiz
 RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	INFORME DE AMILOSA DEL ALMIDÓN		
Informe de amilosa del almidón	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: VILLARREAL MINGA LEYTOM FERNANDO			
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	2023/01/24



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 05 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Leytom Fernando Villarreal Minga
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería química
Título a optar: Ingeniero químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0769-DBRA-UTP-2023

0769-DBRA-UTP-2023