

**ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE
VARIEDAD LORENA**

**DANIELA ALEJANDRA RENGIFO REYES
EVELIN PAOLA TÉLLEZ ESPINOSA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Director
Felipe Correa Mahecha
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Felipe Correa Mahecha
Director de tesis

Diana Morales Fonseca
Jurado 1

Iván Ramírez Marín
Jurado 2

Bogotá D.C., febrero de 2023

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de la Facultad Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Programa de Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Primeramente, quiero agradecer a Dios en quien me apoyaba para no desfallecer. A mis padres Norberto Rengifo y Nedy Reyes quienes me dieron la oportunidad de ser alguien en la vida, a mi madre (mi mayor inspiración) que siempre estuvo escuchándome, aconsejándome y al pendiente de mí. A mis hermanos (Andrés y Sebastián), que siempre me brindan su compañía incondicional y me impulsan a no dejarme vencer. A mi novio, por siempre estar para mí y ayudarme a creer en mis capacidades. A mis tías (Yudy y Yeilie), que me tendieron la mano y acogieron durante este transcurso de mi vida.

A mis compañeros y amigos, que estuvieron presentes en los momentos más difíciles y con quienes pase los momentos más felices e inolvidables durante esta maravillosa etapa, en especial hago esta dedicatoria a Carolina Rincón, Lorena Romero, Alejandro Forero y por supuesto mi compañera de tramos Evelin Téllez.

También quiero agradecer a Bogotá, la ciudad que me abrió las puertas para dar este paso tan importante, hoy después de cinco años les puedo decir que no es fácil salir de sus hogares en busca de sus sueños, vendrán muchos obstáculos, pero está en ti el querer ser alguien y no rendirse.

Gracias a todos sin ustedes, esto no hubiera sido posible.

Daniela Alejandra Rengifo Reyes

DEDICATORIA

Le doy gracias a Dios por darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Janeth Espinosa y Germán Téllez quienes han sido el motor que impulsa cada uno de mis sueños, metas y proyectos, siempre han sido mis mejores ejemplos para seguir y por esta razón les dedico a ustedes este logro como uno de los objetivos ya conquistado. Gracias por creer en mí. Sus ayudas fueron primordiales para la culminación de mi tesis. Ya ha pasado bastante tiempo desde que nací y desde ese momento, ambos estaban buscando maneras de ofrecerme lo mejor. Han trabajado duro y sin importar si llegan cansados de sus trabajos, siempre tienen una sonrisa para ofrecerme.

A toda mi familia y amigos quienes han destinado tiempo para enseñarme nuevas cosas que serán de vital importancia para toda mi vida, estuvieron presentes en el crecimiento y desarrollo total de la tesis, han sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, por brindarme la confianza, consejos, oportunidades y recursos para lograrlo.

A mi director de tesis, sin él y su sabiduría y constancia este proyecto no lo hubiese logrado tan fácil, formó parte importante de este camino con sus aportes profesionales que lo caracterizan, gracias por cada una de sus orientaciones y palabras de aliento cuando más las necesitábamos, por estar cuando nuestras ideas se hacían confusas.

A mi compañera de tesis, gracias por estar siempre allí, hoy nos toca cerrar un capítulo de nuestro libro y jamás dejaré de agradecer por su apoyo y constancia al estar en las horas más difíciles.

Por último, pero no menos importante le doy gracias a Jorge Bernal a quién conocí al inicio de empezar este proyecto, quién me dio aliento y fuerzas para seguir adelante y me brindó de su apoyo en los momentos donde más lo necesitaba, quién se esforzó para que yo llegara a este punto y pudiera celebrar de este momento.

No existen palabras suficientes para agradecer todo lo que aquellas personas que mencione anteriormente han hecho por mí.

Evelin Paola Téllez Espinosa

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a nuestro director de proyecto Felipe Correa Mahecha por su dedicación, paciencia, calidad humana y colaboración en el desarrollo de este, por brindarnos sus conocimientos y por ser parte de nuestro crecimiento personal y profesional.

Al restaurante “los paisas”, por su apoyo desinteresado en el trabajo de grado mediante la disposición de la materia prima (Semillas de aguacate) requeridas para la experimentación.

Finalmente, queremos agradecer a nuestros compañeros y profesores que nos acompañaron durante este transcurso de formación profesional, por aportar no solo conocimientos de valor sino también por ayudarnos a ser mejores personas.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	19
1. GENERALIDADES	20
1.1 Residuos orgánicos	20
1.2 Aguacate	21
1.2.1 <i>Situación actual aguacate en Colombia</i>	21
1.2.2 <i>Subespecies y variedades de aguacate</i>	21
1.3 Aguacate variedad Lorena	25
1.3.1 <i>Zonas de cultivo</i>	26
1.3.2 <i>Taxonomía del aguacate</i>	26
1.3.3 <i>Producción del aguacate Lorena</i>	27
1.3.4 <i>Fisiología del aguacate Lorena</i>	28
1.3.5 <i>Composición de la semilla de aguacate Lorena</i>	29
1.4 Almidón	30
1.4.1 <i>Estructura del almidón</i>	31
1.4.2 <i>Tipos de almidón</i>	33
1.4.3 <i>Usos industriales del almidón</i>	34
1.4.4 <i>Almidón de la semilla de aguacate</i>	35
1.4.5 <i>Fenómenos hidrotérmicos del almidón</i>	36
1.5 Polímeros	37
1.6 Biopolímeros	40
1.7 Biopelículas	40
1.8 Principales propiedades de las biopelículas	40
1.8.1 <i>Propiedades físicas</i>	40
1.8.2 <i>Propiedades mecánicas</i>	41
1.9 Factores que influyen en las propiedades de las biopelículas	41
1.9.1 <i>Efecto del espesor</i>	42

1.9.2 Efecto del plastificante	42
1.9.3 Efecto de la temperatura del secado	42
1.10 Procesos de obtención de biopelículas	42
1.10.1 Casting	43
1.10.2 Coater	43
1.10.3 Extrusión	43
1.10.4 Electrospinning	43
1.11 Biopelículas basadas en almidón	44
1.11.1 Biopelículas de almidón	45
1.11.2 Biopelículas con almidón modificado.	45
2. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN UTILIZANDO LAS SEMILLAS DE AGUACATE	48
2.1 Métodos más usados para la extracción de almidón	48
2.1.1 Método de extracción asistida por ultrasonido	48
2.1.2 Método de extracción húmedo	49
2.1.3 Método de extracción seco	50
2.1.4 Comparación de los métodos de extracción	52
2.2 Selección del método de extracción (Matriz PUGH)	54
2.2.1 Uso del método de extracción en la industria	55
2.2.2 Disponibilidad de equipos	55
2.2.3 Costos del proceso	56
2.2.4 Disponibilidad de reactivos	56
2.2.5 Peligrosidad	57
2.2.6 Rendimiento del proceso	57
2.3 Extracción del almidón	59
2.3.1 Recepción de la materia prima	59
2.3.2 Selección de semillas de aguacate	60
2.3.3 Adecuación de la materia prima	60
2.3.4 Método húmedo	61
2.3.5 Método seco	64
2.4 Rendimiento del almidón	69
2.5 Caracterización del almidón	72
2.5.1 Porcentaje de humedad en la etapa de secado	72

2.5.2	<i>Caracterización cuantitativa de cenizas</i>	74
2.5.3	<i>Prueba de verificación de almidón (Prueba de Yodo)</i>	76
3.	SÍNTESIS DE LA BIOPELÍCULA USANDO EL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE AGUACATE	80
3.1	Proceso de obtención de Biopelícula Casting o proceso tradicional	80
3.2	Aditivos para biopelículas	82
3.2.1	<i>Plastificantes</i>	82
3.2.2	<i>Antioxidantes</i>	83
3.2.3	<i>Conservantes</i>	84
3.2.4	<i>Copolímeros</i>	85
3.3	Materias primas	85
3.3.1	<i>Almidón de semilla de aguacate</i>	86
3.4	Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas con semilla de aguacate	86
3.4.1	<i>Diseño de experimentos</i>	91
3.5	Caracterización de las biopelículas	95
3.5.1	<i>Propiedades físicas</i>	95
3.5.2	<i>Propiedades mecánicas</i>	102
4.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA BIOPELÍCULA	113
4.1	Diagramas del proceso para la producción de biopelículas	113
4.1.1	<i>Diagrama global del proceso</i>	113
4.1.2	<i>Diagrama de bloques del proceso</i>	114
4.1.3	<i>Diagrama PFD (Process Flow Diagram)</i>	117
4.1.4	<i>Balance de materia</i>	118
4.1.5	<i>Materias primas</i>	124
4.1.6	<i>Equipos empleados en el laboratorio</i>	126
4.1.7	<i>Instrumentos empleados en el laboratorio</i>	128
4.1.8	<i>Costos de producción de la biopelícula a escala laboratorio</i>	134
4.2	Producción de biopelículas a escala Piloto	135
4.3	Consumo energético	137
4.3.1	<i>Consumo energético para el proceso de lavado 1</i>	138
4.3.2	<i>Consumo energético para el proceso de secado 1</i>	138

4.3.3 Consumo energético para el proceso de descascarillado	138
4.3.4 Consumo energético para el proceso de trituradora	138
4.3.5 Consumo energético para el mezclador centrifugo	139
4.3.6 Consumo energético para el tanque de decantación 1, 2, 3 y 4	139
4.3.7 Consumo energético para el proceso de lavado 2, 3, 4	139
4.3.8 Consumo energético para el proceso de secado 2	140
4.3.9 Consumo energético para el proceso de molienda	140
4.3.10 Consumo energético para el proceso de mezcla con control de temperatura	140
4.3.11 Consumo energético para el proceso de secado 3	140
4.3.12 Análisis de costo de equipos e insumos a escala piloto	141
5. CONCLUSIONES	143
BIBLIOGRAFÍA	144
GLOSARIO	160
ANEXOS	161

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Representación del Aguacate Lorena</i>	26
Figura 2 <i>Representación de los mayores productos de aguacate en el mundo</i>	28
Figura 3 <i>Estructura química de la amilosa</i>	32
Figura 4 <i>Estructura química de la amilopectina</i>	33
Figura 5 <i>Representación del almidón de la semilla de aguacate</i>	36
Figura 6 <i>Polímeros biodegradables y no biodegradables</i>	38
Figura 7 <i>Clasificación de las fuentes no renovables</i>	39
Figura 8 <i>Clasificación de polímeros provenientes de fuentes renovables</i>	39
Figura 9 <i>Modificaciones químicas del almidón</i>	46
Figura 10 <i>Representación del método de extracción de almidón vía húmedo</i>	50
Figura 11 <i>Representación del método extracción por vía seca</i>	52
Figura 12 <i>Contraste de los métodos de extracción del almidón</i>	53
Figura 13 <i>Representación de signos asignados a cada criterio y su respectivo valor</i>	57
Figura 14 <i>Matriz de selección de los métodos de extracción</i>	58
Figura 15 <i>Diseño de experimentos para extraer almidón por el método húmedo</i>	62
Figura 16 <i>Proceso de extracción de almidón semillas de aguacate método húmedo</i>	63
Figura 17 <i>Proceso de extracción de almidón semillas de aguacate método seco</i>	64
Figura 18 <i>Resultados extracción de almidón método húmedo 2g bisulfito de sodio (Anexo 1)</i>	65
Figura 19 <i>Resultados extracción de almidón método húmedo 5g bisulfito de sodio (Anexo 1)</i>	66
Figura 20 <i>Resultados extracción de almidón método húmedo 10g bisulfito de sodio (Anexo 1)</i>	67
Figura 21 <i>Resultado extracción de almidón método seco (Anexo 1)</i>	68
Figura 22 <i>Prueba de Lugol para cada uno de los almidones extraídos</i>	78
Figura 23 <i>Comparación de tres métodos de producción de biopelículas</i>	81
Figura 24 <i>Representación del método de vaciado para la elaboración de la biopelícula</i>	87

Figura 25 <i>Resultados de las pruebas preliminares para la obtención de las biopelículas</i>	90
Figura 26 <i>Biopelículas resultantes a partir del diseño de experimentos</i>	93
Figura 27 <i>Etapas de la prueba de solubilidad en agua</i>	102
Figura 28 <i>Maquina Universal de ensayos</i>	104
Figura 29 <i>Ensayos de tensión en probetas</i>	106
Figura 30 <i>Ensayos de tensión a probeta con fallo</i>	107
Figura 31 <i>Ensayos de tensión a probeta con alto grado de elongación</i>	107
Figura 32 <i>Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta con generación de ruptura</i>	109
Figura 33 <i>Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta sin generar ruptura F11H</i>	110
Figura 34 <i>Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta sin generar ruptura F11B</i>	111
Figura 35 <i>Diagrama global del proceso de elaboración de la biopelícula a partir del método casting.</i>	114
Figura 36 <i>Diagrama BFD para la producción de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate</i>	115
Figura 37 <i>Lista de corrientes en el proceso</i>	116
Figura 38 <i>Listado de operaciones en el proceso de obtención de biopelícula</i>	118
Figura 39 <i>Diagrama PFD para la producción de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate</i>	123
Figura 40 <i>Ficha técnica del aguacate variedad Lorena</i>	125
Figura 41 <i>Ficha técnica de la glicerina de grado técnico</i>	125
Figura 42 <i>Ficha técnica del bisulfito de sodio</i>	126
Figura 43 <i>Ficha técnica del Ácido acético</i>	126
Figura 44 <i>Ficha técnica del horno binder</i>	127
Figura 45 <i>Ficha técnica de la licuadora Hamilton beach</i>	127
Figura 46 <i>Ficha técnica de la balanza digital</i>	128
Figura 47 <i>Ficha técnica del filtro de tela</i>	128
Figura 48 <i>Ficha técnica de la espátula metálica</i>	129

Figura 49 <i>Ficha técnica del vaso duran</i>	129
Figura 50 <i>Ficha técnica del vidrio de reloj</i>	130
Figura 51 <i>Ficha técnica del Cuchillo de chef</i>	130
Figura 52 <i>Ficha técnica de la pipeta</i>	131
Figura 53 <i>Ficha técnica de las bolsas plásticas herméticas</i>	131
Figura 54 <i>Ficha técnica del colador</i>	132
Figura 55 <i>Ficha técnica de la varilla de agitación</i>	132
Figura 56 <i>Ficha técnica de las planchas de calentamiento</i>	133
Figura 57 <i>Ficha técnica de los moldes de silicona</i>	133
Figura 58 <i>Volumen de control para la etapa de lavado</i>	169
Figura 59 <i>Volumen de control para la etapa de secado</i>	170
Figura 60 <i>Volumen de control para la etapa de descascarillado</i>	170
Figura 61 <i>Volumen de control para la etapa de triturado</i>	171
Figura 62 <i>Volumen de control para la etapa de licuado</i>	172
Figura 63 <i>Volumen de control para la etapa de filtrado</i>	172
Figura 64 <i>Volumen de control para la etapa de sedimentación</i>	173
Figura 65 <i>Volumen de control para la etapa de decantación</i>	174
Figura 66 <i>Volumen de control para la etapa de lavado</i>	174
Figura 67 <i>Volumen de control para la etapa de secado</i>	176
Figura 68 <i>Volumen de control para la etapa de molienda</i>	177
Figura 69 <i>Volumen de control para la etapa de la mezcla</i>	177
Figura 70 <i>Volumen de control para la etapa de calentamiento</i>	178
Figura 71 <i>Volumen de control para la etapa de enfriamiento</i>	178
Figura 72 <i>Volumen de control para la etapa de moldeado</i>	179
Figura 73 <i>Volumen de control para la etapa de secado</i>	179

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Variación de las características del aguacate según las diferentes razas</i>	23
Tabla 2 <i>Variedad de aguacates según el tipo de hibridaciones</i>	25
Tabla 3 <i>Composición de la semilla de aguacate</i>	30
Tabla 4 <i>%Rendimiento almidón extraído por dos métodos.</i>	71
Tabla 5 <i>%Humedad almidón extraído por dos métodos</i>	74
Tabla 6 <i>% Cenizas de almidón extraído por los dos métodos</i>	75
Tabla 7 <i>Formulaciones preliminares para elaborar las películas biodegradables</i>	89
Tabla 8 <i>Diseño de experimentos final para la elaboración de las biopelículas</i>	92
Tabla 9 <i>Nuevas formulaciones para la elaboración de la película biodegradable</i>	92
Tabla 10 <i>Espesor promedio de las biopelículas obtenidas</i>	95
Tabla 11 <i>Densidad de las películas obtenidas a partir del diseño</i>	98
Tabla 12 <i>Densidad típica de plásticos convencionales</i>	99
Tabla 13 <i>Porcentajes de solubilidad para cada ensayo</i>	101
Tabla 14 <i>Resultados estrés máximo y porcentaje tensión máxima para cada ensayo</i>	105
Tabla 15 <i>Balance de materia del proceso de la corriente 1 hasta la 10</i>	119
Tabla 16 <i>Balance de materia del proceso de la corriente 11 hasta la 20</i>	119
Tabla 17 <i>Balance de materia del proceso de la corriente 21 hasta la 30</i>	121
Tabla 18 <i>Balance de materia del proceso de la corriente 31 hasta la 40</i>	121
Tabla 19 <i>Inversión de equipos para la elaboración de la película</i>	134
Tabla 20 <i>Inversión de insumos para la elaboración de la biopelícula</i>	134
Tabla 21 <i>Equipos necesarios en la planta piloto para la elaboración de las biopelículas</i>	135
Tabla 22 <i>Costos de equipos para la elaboración de la biopelícula a escala piloto</i>	141
Tabla 23 <i>Inversión de insumos para la planta piloto</i>	142

ABREVIATURAS

mm: Milímetros

ml: Mililitros

°C: Grados Celsius.

%H: Porcentaje Humedad

Kg: kilogramos

g: Gramos

%R: Porcentaje rendimiento.

h: Horas.

s: Segundos.

BS: bisulfito de sodio o base seca

BH: Base húmeda

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de una biopelícula partiendo del almidón de la semilla de aguacate. Para escoger los métodos de extracción de almidón se realizó una matriz PUGH con el fin de seleccionar el o los más adecuados, escogiendo el método húmedo y seco, con estos se calcula el rendimiento, %humedad, % de cenizas y se realiza la prueba de Lugol como pruebas para caracterizar el almidón, finalmente se seleccionó el método húmedo a pesar de las diferencias en rendimiento.

Se llevó a cabo el desarrollo de la biopelícula por el método casting (vaciado en placa) a partir del almidón extraído por el método húmedo, partiendo de un diseño de experimentos y de las formulaciones que contienen almidón, glicerol como plastificante, ácido cítrico como antioxidante y ácido acético. Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas preliminares, se escogió la mejor biopelícula a partir de una mezcla correspondiente a 10g de almidón de aguacate, 100g agua, 15g de ácido acético y 20g de glicerina que pertenece a la F11. A partir del diseño de experimentos, se establecieron las formulaciones finales y con estas se determinaron las propiedades mecánicas de tracción presentando valores de 8.55 N/mm² y 7.85 N/mm², siendo los resultados de las mejores biopelículas F11H y F11B respectivamente, cabe resaltar que de estas dos la biopelícula con mejores características de acuerdo a las cuatro pruebas realizadas es la F11B. Finalmente se establecen las especificaciones técnicas del proceso y los costos de producción a escala piloto para la elaboración de biopelículas a partir de 10 toneladas.

Palabras clave: Extracción, Almidón, Biopelícula, Método casting, Tracción

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los plásticos son fabricados a partir de polietileno y otros compuestos derivados del petróleo que los microorganismos no detectan como alimento a diferencia de otros desechos [1]. Por esta razón, no pueden biodegradarse, pero se descomponen cuando están sujetos a la radiación ultravioleta del sol (foto degradación), aquí se transforman gradualmente en pequeños gránulos sintéticos y microscópicos que se acumulan en los ambientes marinos y terrestres [2].

El problema ambiental que se está viviendo en la actualidad por la acumulación de plásticos específicamente de bolsas de polietileno, es producto de la irresponsabilidad de la humanidad, ya que no rechazan su uso. Además, como sabemos este tipo de bolsas no se pueden reutilizar ni reciclar, razón por la cual su destino final es en los vertederos, calles, ríos, lagos, mares, océanos y paisajes naturales [3]. Según la Organización de las Naciones Unidas se considera que en el mundo se utilizan 5 billones de bolsas de plástico cada año de las cuales más de 3.5 billones terminan en la naturaleza o en vertederos afectando especies tanto en el océano como en la tierra [4].

Ante esta situación ya se ha generado en los últimos años un incremento en la concientización de las personas, acerca de la bio-sostenibilidad y química verde, es así como surge la necesidad ecológica de disminuir los niveles de contaminación buscando nuevas alternativas. Una de las más importantes es la producción de bioplásticos, que se adaptan perfectamente a los nuevos requerimientos de la industria del plástico convencional. Los residuos orgánicos generalmente contienen cantidades importantes de componentes que pueden ser aprovechados en procesos alternos, como en el caso de los residuos de la semilla de aguacate los cuales contienen concentraciones de almidón que, después de un proceso de extracción, pueden ser útiles en la producción de materiales plásticos biodegradables

Para este proyecto se busca establecer una metodología adecuada para la producción de bioplásticos a base de almidón, teniendo como referencia una materia prima, la semilla del aguacate variedad Lorena.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Elaborar una biopelícula utilizando como materia prima los residuos de semillas de aguacate variedad Lorena

Objetivos específicos

- Comparar diferentes métodos de extracción de almidón utilizando las semillas de aguacate.
- Obtener una biopelícula usando el almidón extraído de la semilla de aguacate.
- Realizar el diseño conceptual básico de un proceso para la obtención de una biopelícula

1. GENERALIDADES

En este capítulo se encontrarán los principales conceptos que fueron considerados para la realización del proyecto, con el fin de explicar el uso que se puede dar a los residuos orgánicos en este caso la semilla de aguacate y sus características en la elaboración de una biopelícula.

1.1 Residuos orgánicos

Los residuos vegetales son considerados desperdicios innecesarios y no consumibles por los seres humanos, parte de ellos ayudan a mejorar las condiciones del suelo debido a que resultan del contenido de una fruta, verdura o de ciertas leguminosas a los cuales no se les da otro uso por falta de conocimiento, por ejemplo, la semilla del aguacate, que prácticamente es considerada desperdicio al colocarla en el suelo, puede servir de abono para tierras no fértiles, sin embargo, la abundancia de esta también puede provocar contaminación [5].

Estos residuos tienen la capacidad de degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Suelen ser de origen doméstico, comercial o producto de la acción de una industria, estos son los que más se generan y los que menos se gestionan, representan cerca del 50% de los residuos sólidos municipales y son principalmente dispuestos en rellenos sanitarios. Esto tiene un fuerte impacto medioambiental: la generación de gases de efecto invernadero y la producción de lixiviados [6].

Actualmente existen diversas formas de tratar los residuos orgánicos, entre las cuales destaca el compostaje. Este consiste en la descomposición natural de los residuos, es decir, en la degradación aerobia (en presencia de oxígeno) de la materia orgánica contenida en estos. El resultado es tierra rica en nutrientes que puede ser utilizada como abono natural.

Además, estos desechos pueden considerarse como materias primas y mediante diferentes procesos (molienda húmeda, decantación, secado, tamizado), se pueden

obtener almidones para luego elaborar bioplásticos y/o biopelículas con una buena eficiencia [5].

1.2 Aguacate

Para el desarrollo de este trabajo la materia prima principal proviene del aguacate por tal motivo es importante tener en cuenta sus características básicas y procedencia. “El aguacate, también conocido como palta (quechua), pertenece a la familia *Laurácea* y al género *Persea*, tiene alrededor de más de 3.000 especies, que se encuentran ubicadas tanto en regiones tropicales como en regiones subtropicales” [7].

“Esta planta es originaria de centro América, la clasificación botánica se divide tres razas: americana, guatemalensis y drymifoli, las cuales difieren en la madurez de la fruta y el contenido de aceite” [8].

Hoy en día, el aguacate es usado en diferentes productos e industrias, por ejemplo, la pulpa se ha usado como base para productos untables y para la obtención de aceite para fines cosméticos. Uno de los productos que ha aumentado su producción es el aceite extra virgen usado especialmente para fines culinarios ya que sus propiedades están sustituyendo el aceite de oliva [9]. Por otro lado, la semilla de aguacate es muy usada para tratar infecciones o alergias y además para obtener productos de alto valor como los bioplásticos y biopelículas los cuales permiten disminuir la huella de carbono.

1.2.1 Situación actual aguacate en Colombia

“Colombia en el panorama mundial del cultivo de aguacate, se logró posicionar en el tercer lugar durante el año 2018, con relación al área cosechada registrando un 6% con más de 54.000 hectáreas, y en el cuarto lugar con respecto al total de la producción, logrando un 11% del total con más de 540.000 toneladas. Siendo la variedad Hass y Lorena las más producidas y consumidas a nivel nacional” [10].

1.2.2 Subespecies y variedades de aguacate

El fruto aguacatero se caracteriza por tener diferentes subespecies, a continuación, se

describen las principales:

- **Subespecie Mexicana:** *Persea americana* var. *Drymifolia*, está distribuida en los territorios altos de la zona Central de México. Esta especie generalmente crece entre los 1.700 hasta los 2.500 metros sobre el nivel del mar (msnm), en climas cálidos o templados y pueden tolerar temperaturas de 0°C. Dentro de las variedades de esta subespecie se pueden encontrar las siguientes: Mexicola, Puebla, Duke, Gottfried, Zutano, Bacon y Topa-topa [11]. Además, el mesocarpio suele contener muy baja proporción de fibra, alto contenido de grasa (llegando a un 30%), bajo azúcar (2%), y su sabor es a nuez típico de esta especie [12].
- **Subespecie Guatemalteca:** *Persea americana* var. *Guatemalensis*, es originada en suelos guatemaltecos. En Colombia, esta especie posee las siguientes características: se adaptan a alturas que se encuentran entre los 1.000 a 2.000 metros sobre el nivel del mar en zonas de clima cálido húmedo, pero también se puede encontrar en climas subtropicales. El aguacate es de forma ovalada, tiene una coloración tipo verde oscuro casi llegando a un negro cuando está en su punto de maduración, su tamaño suele ser intermedio o mayúsculo. El árbol alcanza los 30 m de altura y puede conservar los frutos hasta 6 meses después de su madurez. Algunas de las variedades o cultivares pertenecientes a esta Subespecie son: Reed, Hass, Lamb-Hass, Nabal, Hass Carmen, Edranol, Itzama, Linda, Pinkerton y Mayapan [12].
- **Subespecie antillana:** *Persea americana* var. *Americana*, este árbol se encuentra a lo largo de las tierras bajas de centro América, se producen en clima tropical y alcanzan los 30 m de altura. Soportan temperaturas de 18 a 26°C y crecen en los trópicos y subtrópicos, por lo cual no toleran el frío. Dentro de las variedades o cultivares de esta Subespecie se tienen: Butler, Fuchs, fucsia, Hulumanu, Lorena, Peterson, Pinelli, Pollock, Ruehle, Russell, Simmonds, Trapp, Villacampa, Waldin, común o criollo, venezolano y Curumaní. Sus principales características es que son de tamaño musculoso, tienen forma esférica y su coloración es un verde muy intenso [12].

Cabe aclarar que, por cada millón de toneladas procesadas de aguacate, al menos el

45% de cáscaras y semillas son desechadas mientras que el 55% de las cáscaras y semillas se pueden obtener aceites para la generación de biocombustibles, la obtención de proteínas y péptidos para la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética [13]. En la tabla 1 se establecen las diferencias entre los tres tipos de razas en cuanto a sus características.

Tabla 1

Variación de las características del aguacate según las diferentes razas

Características	Americana (mexicana)	Guatemalensis (guatemalteca)	Drymifoli (antillana)
Peso promedio de la fruta	98.8 g	309.8 g	312.5 g
Espesor de la cáscara	Delgada y muy delgada	Medio, grueso o muy grueso	Delgado, medio o grueso
Textura de la cáscara	Membranosa	Taponado	Fibroso
Temperatura media anual para árboles nativos (°C)	13.5 a 20.5	21.0 a 28.0	24.0 a 27.0
Temperatura media anual para árboles introducidos (°C)	20.5 a 25.5	18.0 a 28.5	19.0 a 20.0
Precipitación media anual para árboles nativos (mm)	560 a 2200	800 a 3400	1100 a 3350
Precipitación media anual para árboles introducidos (mm)	300 a 2250	250 a 7000	600 a 700
Altitud (msnm)	950 a 2250	20 a 1200	50 a 800

Nota. Esta tabla muestra como varían algunas propiedades y/o características según la raza del aguacate. Tomado de: F. Ávila y K. Guerrero, «Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad hass (Persea Americana Mill)», Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019.

Actualmente, las subespecies de aguacate que más se comercializan y cultivan en Colombia, son las antillanas y guatemaltecas junto con sus respectivos cruces. Por otro lado, las variedades más sembradas son: Lorena, Trinidad, Booth-8, Fuerte, Hass, Trapo, Santana, Colinred y Ettinger.

Al realizar una breve comparación entre la variedad Lorena y Hass, se puede evidenciar

que la primera de ellas se cultiva de 18 a 26°C, a altitudes menores a 1000 msnm, peso de 400-600g tiene un contenido de grasa del 7 a 9%, de 4,61% de fibra y 67,6% de almidón y la siguiente de 4 a 19°C, altitudes entre 1000-2000 msnm, peso de 150 a 400g, tiene un contenido de grasa del 18 a 25% y 30% de almidón [14].

En la siguiente tabla podemos evidenciar las variedades de aguacate según las subespecies:

Tabla 2*Variedad de aguacates según el tipo de hibridaciones*

Raza ecológica/ Hibridaciones	Variedades
Antillano	Pollock, Peterson, Waldin
Guatemalteco	MacArthur, Orotava, Nabal, Anaheim, Booth 7, Booth 8, Papelillo. Hass, Lamb-Hass, Hass Carmen, Reed, Edranol, Itzama, Nabal, Linda, Pinkerton.
Mexicano	Puebla, Mayapán, Zutano, Topa- topa, Bacon. Mexicola, Duke, Gottfried, Zutano.
Mexicano - guatemalteco	Fuerte, Ettinger, Rincón, Robusto, Lula
Antillano - guatemalteco	Gema, Choquette

Nota. Esta tabla presenta las variedades de aguacates que se hibridan de cada una de las razas mencionadas anteriormente. Tomado de: F. Ávila y K. Guerrero, «Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad hass (Persea Americana Mill)», Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019.

Dado que, existe una gran variedad de especies de aguacate, para efectos del siguiente trabajo se enfatizará específicamente en uno de ellos, la especie Lorena.

1.3 Aguacate variedad Lorena

Esta variedad se creó en el año 1957 en la finca Lorena, se encuentra ubicada en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, se da por medio de una selección de la variedad antillana Trapp. Se le conoce como aguacate “Papelillo” debido a que el grosor de la cáscara es similar a un papel.

Esta variedad se encuentra en la mayoría de las zonas medias y cálidas con una buena aceptación por parte del mercado y el consumidor dado a su sabor característico y la calidad de la pulpa. Cabe resaltar que el cultivo de la variedad Lorena presenta tres

floraciones durante el año y la cosecha se debe realizar una vez el fruto alcance la madurez fisiológica, este fruto crece en altitudes bajas y medianas, en aproximadamente 1.500 msnm. [15]. Sus frutos suelen ser de forma alargada y oblicuos con un sabor ligero y cremoso, con buen rendimiento en áreas con bajas altitudes, sin embargo, también se pueden cultivar en zonas cálidas.

Figura 1

Representación del Aguacate Lorena



Nota. La figura representa una de las variedades del aguacate en este caso el tipo Lorena [16]. Tomado de: «Tipos de aguacate: ¿Cuáles se cultivan en Colombia?», *Mundo Husqvarna Colombia*, 2020. <https://www.mundohusqvarna.com.co/tipos-de-aguacate-cuales-se-cultivan-en-colombia> (accedido abr. 06, 2022).

1.3.1 Zonas de cultivo

“Este tipo se ve favorecido a bajas y medianas alturas cercanas, su rango de adaptación está entre 0 y 1500 msnm, temperaturas entre 18 y 26°C y con alta humedad relativa, presente un tiempo aproximado de floración a cosecha de 5 a 8 meses” [17]. Requiere de suelos muy bien drenados, profundos y con texturas livianas, los principales departamentos productores son Tolima, Caldas, Valle del Cauca y Antioquía.

1.3.2 Taxonomía del aguacate

Posteriormente se muestra un resumen de la taxonomía del aguacate Variedad Lorena

- Nombre científico. *Persea americana* Miller variedad Lorena
- Reino: Vegetal
- División: Spermatophyta
- Subdivisión: Angiospermae
- Clase: Dicotyledoneae
- Subclase: Dipétala
- Familia: Lauraceae
- Género: *Persea*

Este fruto se encuentra dentro la familia Lauraceae, esta cuenta con 52 géneros y alrededor de 3500 clases. Además, el género *Persea* está constituido por 150 clases, las cuales están repartidas en las zonas tropicales, subtropicales de Asia, las canarias y América, en este último podemos encontrar diferentes clases que se ubican desde el sur de Estados Unidos hasta Chile [18].

1.3.3 Producción del aguacate Lorena

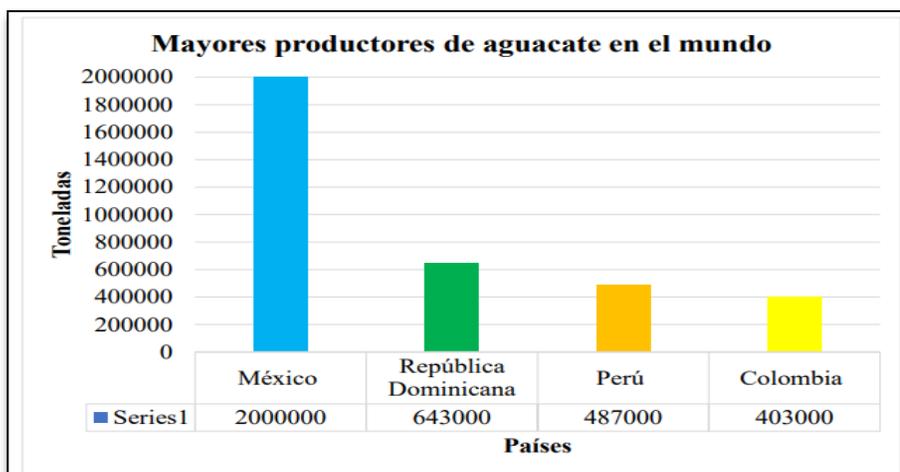
Para el año 2018 FINAGRO publicó una ficha de inteligencia en la cual se registran cifras sobre la producción de aguacate en Colombia, en la cual ocupa el cuarto lugar de los mayores productores de aguacate en el mundo con un valor de 403.000 toneladas de aguacate como se observa en la figura 2. En dicho informe se identifican las especies de aguacate que más se siembran en Colombia, entre las cuales se destaca la especie Lorena, sus principales departamentos de producción son: Tolima, Caldas, Valle del Cauca y Antioquia [19].

El área sembrada con aguacate en Colombia es cercana a las 8.000 hectáreas de unas 10 variedades diferentes. Las épocas de cosecha del aguacate Lorena en Colombia de acuerdo a una serie de estadísticas de CORABASTOS, se presenta en: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y diciembre observando una baja oferta en los meses de enero, agosto y diciembre [20].

Según el Ministerio de agricultura y desarrollo rural, el principal destino de exportación del aguacate es el continente europeo liderado por países bajos, España y Reino Unido donde se registra un incremento de 15 mil toneladas siendo Antioquía el mayor exportador con una participación del 46%, seguido de Risaralda 27% y Valle del Cauca 7% en el 2020. Por otro lado, para el 2021 se evidencia un incremento de 28 mil toneladas, donde Antioquia tiene una participación del 52%, Risaralda 21% y Valle del Cauca 11%. En cuanto a las importaciones para el 2020 se registra el ingreso de 598 toneladas [10].

Figura 2

Representación de los mayores productos de aguacate en el mundo



Nota. La figura representa la producción de aguacate en el mundo. Tomado de: G. Rojas, «Análisis preliminar en procesos de almidón termoplástico para la generación de bioplástico a partir de tres semillas aguacate, mango y tamarindo», Universidad Antonio Nariño, Bogotá, 2021.

1.3.4 Fisiología del aguacate Lorena

El aguacate tiene diferentes formas, perfiles y dimensiones que dependen de la variedad. Las apariencias para la variedad Lorena suelen ser con forma alargada, ligeramente oblicuos y de gran tamaño, con un peso que oscila entre los 400 y 600 gramos, sus dimensiones son 14.69 cm de largo y 9.13 cm de ancho, además, su corteza tiene apariencia lisa, lustrosa, con abundante punteado o lenticelas. Están compuestos por

endocarpio (envoltura de semilla de color café), epicarpio (cáscara de textura lisa de color verde), mesocarpio (pulpa de la fruta) y pedúnculo. La relación entre la cáscara, semilla y pulpa es de 5, 15 y 80% respectivamente y su pulpa contiene grasa en un 7 a 9% y fibra en un 4.61% [15]. La semilla, que se encuentra en el centro suele ser redonda y cónica, su color usualmente es negro o café, esta contiene almidón y proteínas. Asimismo, el mesocarpio contiene la mayor cantidad de grasa.

1.3.5 Composición de la semilla de aguacate Lorena

La semilla es de tamaño mediano, ovoide y simétrica, con mediana adherencia a la pulpa [15]. La composición química proximal de la semilla de aguacate Lorena se muestra en la tabla 3 con respecto a la composición de almidón, amilosa, amilopectina, agua, ceniza. Grasa y proteína.

Tabla 3

Composición de la semilla de aguacate

Compuesto	Composición (%)
Almidón	67,6
Amilosa	32,4
Amilopectina	35,3
Agua	1,08
Ceniza	1,03
Grasa	1,8
Proteína	10,4

Nota. En la tabla se muestra la composición de la semilla de aguacate Lorena. Tomado de: G. Rojas, «Análisis preliminar en procesos de almidón termoplástico para la generación de bioplástico a partir de tres semillas aguacate, mango y tamarindo», Universidad Antonio Nariño, Bogotá, 2021.

En Colombia se tiene un consumo cercano de aguacates de 6,3 kg per cápita por año, generando aproximadamente 2,17 kg de residuos de aguacate al año por persona [21]

Como se puede observar el aguacate Lorena tiene una gran cantidad de almidón, por lo tanto, el proceso de almidón se ve beneficiado para generar una alternativa de producción de productos como las biopelículas. Teóricamente es la semilla que mejor resultados daría al proceso de transformación de materias primas para la elaboración de bioplásticos a partir de la semilla de aguacate, debido a su alto contenido de almidón [15]

1.4 Almidón

“Es un polímero natural, se encuentra en tallos, granos y tubérculos. Cuando se extrae de los granos se denomina almidón y si se extrae de tallos y tubérculos se denomina fécula” [22]

Está compuesto por dos estructuras poliméricas: La amilosa y la amilopectina con un porcentaje de composición del 20 y 80% respectivamente [23]. Dichos homopolímeros son morfológicamente diferentes dado que la amilopectina posee ramificaciones que le brinda una formación estructural similar a un árbol mientras que la amilosa tiene una estructura lineal. Las cadenas de almidón se unen mediante puentes de hidrogeno, formando una hélice doble.

«Una de las principales fuentes del biológicas para la fabricación de biopelículas es el almidón que proviene de los residuos agrícolas (cáscaras, semillas, pulpas adheridas, etc.); el almidón es un carbohidrato polimérico que consta de un gran número de unidades de glucosa unidas por enlaces glicosídicos, lo cual lo convierte en materia renovable para la naturaleza ya que al biodegradarse regresa a la misma en forma de agua y CO₂ reduciendo la contaminación ambiental» [15].

En la célula vegetal, los gránulos de almidón se encuentran acumulados y se producen en el amiloplasto, organelo común de almacenamiento presente en tubérculos y semillas [24]. Este, se encuentra principalmente en las células parenquimáticas de reserva, según estudios las células del parénquima, en las semillas, almacenan almidón (gránulos fundidos o agrietados en cotiledones y en el endospermo) [25].

1.4.1 Estructura del almidón

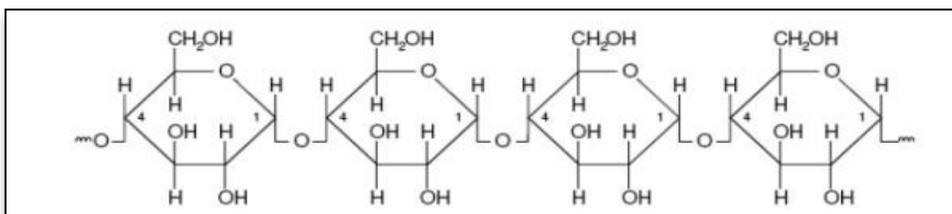
Estructuralmente, el almidón está formado por dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina.

1.4.1.a Amilosa. Es una cadena lineal de monómero de unidades de glucosa como se observa en la figura 6, se encuentran situadas en las capas interiores, están compuestas de aproximadamente 200 a 20.000 moléculas de glucosa unidas por enlaces glicosídicos α -1,4 en cadenas no ramificadas o enrolladas en forma de hélice [26]. “Muchas moléculas de amilosa tienen algunas ramificaciones α – D – (1,6), aproximadamente entre 0.3 a 0.5% del total de los enlaces, están separadas por grandes distancias permitiendo que la molécula actúe como un polímero lineal, formando películas y fibras fuertes” [22].

La amilosa se caracteriza por sus propiedades hidrofílicas que le confieren una buena afinidad con el agua, esto se debe a la presencia de grupos hidroxilos en las moléculas de glucosa que pueden establecer enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua [27].

Figura 3

Estructura química de la amilosa



Nota. La figura representa el almidón de la semilla de aguacate [28]. Tomado de: J. Meneses, M. Valencia, y C. Corrales, «Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca», *SciELO*, 2007, Accedido: abr. 26, 2022. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#\(fig1\)](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#(fig1)).

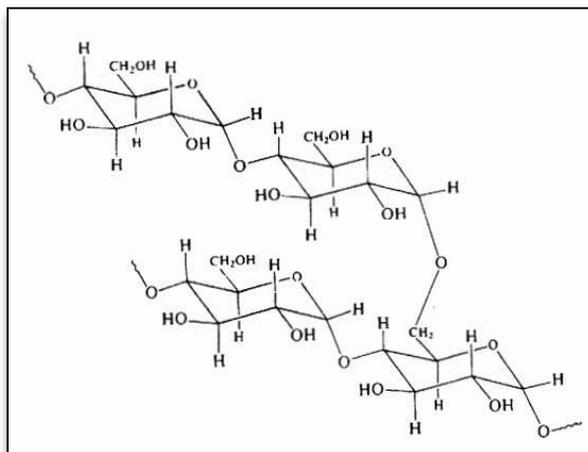
1.4.1.b Amilopectina. La estructura de la amilopectina se encuentra situada en las capas exteriores, contiene enlaces glicosídicos α -1,4, el cual les da origen a las uniones de las moléculas de glucosa y el enlace α -1,6, que da lugar a las ramificaciones como se observa en la figura 7. Con frecuencia se encuentran ramificaciones en la cadena principal que se deben a los enlaces glicosídicos α – 1,6 con otras moléculas de glucosa.

Los puntos de enlace de las ramificaciones constituyen entre el 4 y 5% del total de los

enlaces. Las moléculas de amilopectina son significativamente más grandes que las moléculas de amilosa; algunas contienen entre 10,000 y 20 millones de unidades de glucosa. El peso molecular de la amilosa está entre 0.1 y un millón de g/mol. Y el de la amilopectina está entre (10,000 a 1,000 millones) g/mol [29].

Figura 4

Estructura química de la amilopectina



Nota. La figura representa el almidón de la semilla de aguacate [30]. Tomado de: H. E. Salazar, «Efecto de amilosa, Amilopectina y sus derivados oxidados sobre la biodegradabilidad y propiedades en espumas de poliuretano», Centro de investigación en química aplicada, Saltillo.

1.4.2 Tipos de almidón

En la actualidad podemos encontrar dos tipos de almidón:

- Almidones nativos:

Son aquellos que no han sufrido ningún proceso de modificación química [31].

- Almidones modificados:

Son aquellos almidones que han sufrido algún tipo de proceso y se modifican al hacer su respectiva obtención [31].

1.4.3 Usos industriales del almidón

El almidón es un compuesto que hoy en día se utiliza de gran manera en diferentes industrias, en donde se destacan:

- **Industria alimenticia:** dentro de la industria alimenticia tiene una aplicación muy amplia, sin embargo, dentro de sus usos más comunes en esta industria está en que es usado como medio de moldeo para caramelos de frutas, rodajas de naranja y gomas de mascar, es usado también como protector contra la humedad de diversos productos en polvo como azúcares, se usa como aglutinante, para el ligamento de componentes, también es utilizado en la preparación de salchichas y embutidos cocidos. Como emulsificante, produce una emulsión estable en la preparación de mayonesas y salsas similares. Estabilizador, por su elevada capacidad de retención de agua es usado en productos mantecados y helados [31].
- **Industria edulcorante:** de estos, pueden obtenerse maltodextrinas, jarabes de glucosa, dextrosa y fructosa cristalina y jarabes de alta fructuosa. Cada uno de estos jarabes tiene sus propias características y aplicaciones. Los jarabes sólidos obtenidos por evaporación de los jarabes hidrolizados de almidón son ampliamente usados en alimentos dietéticos debido a su bajo valor calórico.
- **Industria textil:** apresto, en la industria textil como encolante de la urdimbre, aprestado y estampado de tejidos. En esta industria es usado también en lavandería para almidonar tejidos blancos y darles dureza y para restaurar apariencia y cuerpo a las prendas de vestir.
- **Industria farmacéutica y cosmética:** sirve como agente de dispersión de polvo y como ligante del ingrediente activo de tabletas y productos medicinales. También es usado como espolvorante, como polvo fino en la preparación de polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos.
- **Industria papelera:** en la industria del papel su función es servir como aglomerante de los componentes que forman el papel, fibra celulósica y rellenos, formando una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la resistencia mecánica del papel a la aspereza y plegado, aumenta la solidez y la durabilidad del papel. En las empresas productoras de cartón corrugado se utiliza para la formación del cartón ya que permite

unir las láminas planas de cartón a la lámina corrugada u ondulada [31].

- **Industria de adhesivos:** es usado en la elaboración de adhesivos de alta fuerza o para colas de menor precio para diversas aplicaciones en la industria de papel y cartón. Los adhesivos de almidón, que son adhesivos a base agua, son muy útiles para las empacadoras y etiquetadoras de alta velocidad por el costo relativamente bajo y la gran velocidad de adhesión.
- **Industria de briquetas y carbón vegetal:** en esta industria es usado como ligante para formar aglomerados de polvos finos como las briquetas de carbón.
- **Otros usos del almidón:** dentro de los otros usos logramos destacar la participación del almidón en la elaboración de películas de plásticos biodegradables, baterías secas, como aglutinante de materias primas en la fabricación de aislantes de asbesto y corcho, como agente espesante en la fabricación de tintes y pinturas, aglutinante en la fabricación de crayones, en la elaboración de fibra de vidrio [31].

1.4.4 Almidón de la semilla de aguacate

El nivel de almidón en la semilla aumenta durante el proceso de madurez del aguacate llegando en el caso del tipo Lorena a constituir el 67,7% de la semilla. Teóricamente la semilla que mejor resultados daría en este proceso de transformación de materias primas para la fabricación de bioplásticos a partir de la semilla de aguacate, es la semilla Lorena debido al alto porcentaje de almidón que presenta esta semilla el cual se compone de un 32.4% de amilosa y un 35.2% de amilopectina [15].

Figura 5

Representación del almidón de la semilla



Nota. La figura representa el almidón de la semilla de aguacate [32]. Tomado de: P. Rodríguez, D. López, y C. Horta, «BIOPOLÍMEROS», *Inf. Técnico*, vol. 83, oct. 2019, Accedido: ar. 30 2022. [En línea].

Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/355437634_Variables_influencing_the_elaboration_of_bioplastics_from_avocado_seed_starch

1.4.5 Fenómenos hidrotérmicos del almidón

Cuando el almidón nativo entra en contacto con el agua aumenta su volumen debido a que se hidrata. Teniendo en cuenta la presión, agitación, pH y temperatura del sistema, los gránulos de almidón presentan fenómenos hidrotérmicos que modifican sus características microestructurales, a estos se les llama gelatinización y retrogradación:

1.4.5.a Destrucción del almidón. También conocido como gelatinización, es la pérdida de cristalinidad de los granos de almidón con presencia de calor y abundante agua con muy poca o ninguna despolimerización. El almidón es insoluble en agua y en solventes orgánicos. Los granos de almidón se hinchan en el medio acuoso por la acción del calor perdiendo así las propiedades de su estructura semicristalina a una temperatura crítica.

Durante la gelatinización el agua penetra en primer lugar las regiones amorfas iniciando el hinchamiento, esto se ve reflejado por la reducción en la birrefringencia. Posteriormente, el agua desaloja las cadenas de almidón desde la superficie de los

cristales a medida que la temperatura incrementa; la movilidad térmica de las moléculas y la solvatación producida por las fuerzas de hinchamiento provocan un decrecimiento de la cristalinidad por el desenrollado de las dobles hélices, hasta que la estructura granular es fragmentada obteniendo un sol-gel.

La diferencia entre la preparación de geles, comidas o materiales procesados de almidón termoplástico es la cantidad de agua o plastificante durante la gelatinización. Para obtener almidón termoplástico, el almidón se funde con una cantidad baja de agua durante el proceso del moldeo por presión o por inyección, donde la cantidad de agua está por debajo del 20% [33].

1.4.5.b Desestructuración del almidón. Conocido también como degradación o retrogradación, es la transformación de los granos de almidón semicristalino en una matriz homogénea de polímero amorfo. Por un lado, se da el rompimiento de los puentes de hidrogeno entre las moléculas de almidón y por el otro la despolimerización parcial de las moléculas.

Las propiedades fisicoquímicas que intervienen en el proceso son: temperatura, esfuerzo cortante, velocidad de cizalladura, tiempo de residencia, contenido de agua y cantidad total de energía aplicada. Primero se despolimeriza la amilopectina y luego la amilosa aplicando mayor energía [33].

1.5 Polímeros

“Son compuestos químicos, naturales o sintéticos de gran tamaño constituidas por monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los monómeros están formados por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos” [34].

Los polímeros pueden ser biodegradables y no biodegradables como se puede observar a continuación:

Figura 6

Polímeros biodegradables y no biodegradables

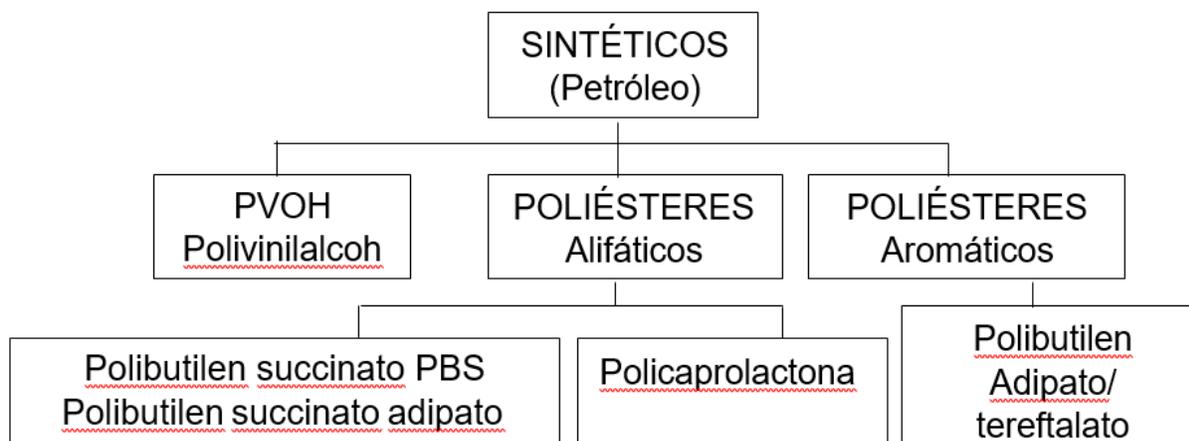
	BIODEGRADABLE	NO BIODEGRADABLE
ORIGEN RENOVABLE	Almidón Polihidroxialcanoatos - PHAs Ácido Poliláctico - PLA	Rilsan-Polymide (ARKEMA) Plástico ecológico a partir de caña de azúcar (BRASKEM)
ORIGEN NO RENOVABLE	Alcohol Polivinílico Poliésteres sintéticos Polibutilen succinato – PBS Polibutilen succinato adipato-PBSA	Polímeros convencionales Polipropileno - PP Polietileno – PE Tereftalato de Polietileno -PET

Nota. Esta tabla permite observar la clasificación de los polímeros biodegradables y no biodegradables. Tomado de: M. Charro, «Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata», Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015

Existen diversas fuentes que pueden ser: no renovables y renovables. En la figura 6 y 7 se muestra la clasificación mencionada anteriormente

Figura 7

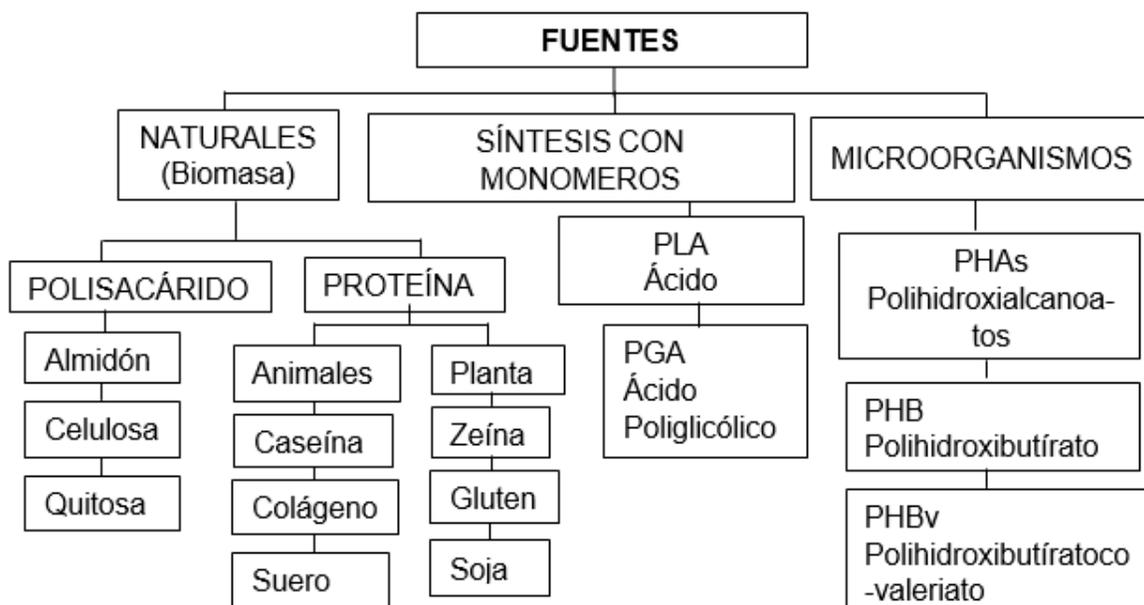
Clasificación de las fuentes no renovables



Nota. Esta tabla permite observar la clasificación de los polímeros no biodegradables. Tomado de: M. Charro, «Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata», Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015.

Figura 8

Clasificación de polímeros provenientes de fuentes renovables



Nota. Esta tabla permite observar la clasificación de los polímeros no biodegradables. Tomado de: M. Charro, «Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata», Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015.

1.6 Biopolímeros

“Los biopolímeros son macromoléculas presentes en los seres vivos. Existen cuatro clasificaciones: Proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y politerpenos; entre los que se incluye el caucho natural, los polifenoles (como la lignina) o algunos poliésteres como los polihidroxicanoatos producidos por algunas bacterias” [35].

Por otra parte, un biopolímero es aquel que puede ser degradado completamente por el ambiente reduciendo de manera significativa los impactos ambientales que estos materiales pueden producir. Estos tienen la capacidad de degradarse con una mayor rapidez por medio de factores como el agua, temperatura o microorganismos [31].

1.7 Biopelículas

Las biopelículas son laminas flexibles que pueden ser conformadas de macromoléculas biológicas capaces de construir una matriz continua [36]. Estas se caracterizan por tener una o más de dos capas delgadas de un material que puede ser de consumo humano y para los animales, al mismo tiempo tienen la capacidad de actuar como barrera a la transferencia de agua, gases y solutos de alimentos [37]. Una de las ventajas de emplear biopelículas consiste en aumentar la vida de los productos terminados, debido a que permite la conservación de las características organolépticas, nutricionales y mecánicas del producto [36].

1.8 Principales propiedades de las biopelículas

1.8.1 *Propiedades físicas*

- **Color:** La transparencia y opacidad de las biopelículas se debe a la morfología o la estructura química relacionada con el peso molecular del material. El color se puede determinar por los siguientes términos:

L*: Luminosidad del color y hace referencia a la relación entre la luz reflejada y absorbida. Los valores iguales a 0 y 100 denotan los colores blanco y negro

respectivamente.

a* y b*: Son los valores de colores positivos en el rango de 0 a 60 representan un grado de enrojecimiento y amarillo respectivamente.

El color de la biopelícula se ve influenciado por el tipo y la concentración de las materias primas, la opacidad está relacionada con el aspecto visual de la biopelícula. El color de la biopelícula no puede influir en el color del producto después de un tiempo de almacenamiento [37].

- **Espesor:** Las biopelículas comestibles son de naturaleza hidrofílica, por lo tanto, hay una relación positiva entre la permeabilidad al vapor de agua y el espesor de los recubrimientos, es decir, a medida que aumenta el espesor se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través del recubrimiento, a su vez aumenta la presión parcial del vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta [37].
- **Solubilidad:** Esta propiedad es de gran importancia en las biopelículas puesto que la resistencia al agua es necesaria para mantener la integridad de la biopelícula si esta tiene con fin utilizarse para la conservación de alimentos. Una biopelícula con baja resistencia se disuelve rápidamente en contacto con contenidos altos de humedad causando la liberación del agente microbiano [37].

1.8.2 Propiedades mecánicas

Las principales propiedades mecánicas de los biopolímeros son:

1.8.2.a **Elongación a la rotura.** Es la capacidad de flexibilidad o estiramiento que posee una película de biopolímero hasta que se rompa [7].

1.8.2.b **Resistencia a la tracción.** Es la capacidad que tiene un polímero a resistir a los esfuerzos de estiramiento. Permite precisar la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando se le somete a fuerzas uniaxiales [7].

1.9 Factores que influyen en las propiedades de las biopelículas

1.9.1 Efecto del espesor

Las propiedades de barrera (vapor de agua y gases) varían con el espesor debido a que éste determina la distancia que los componentes deben recorrer para traspasar de un lado a otro de la película [37].

1.9.2 Efecto del plastificante

Los plastificantes son los componentes que afectan en primera medida las propiedades de barrera y mecánicas de la biopelícula, puesto que interfieren en las uniones entre las cadenas del polímero disminuyendo la cohesión. Los plastificantes adecuados para mejorar las propiedades mecánicas son de pequeño volumen y con muchos grupos polares distanciados entre sí.

La naturaleza hidrofílica o hidrofóbica del plastificante determina su efecto en las propiedades barrera de la biopelícula. Los plastificantes hidrofílicos aumentan la permeabilidad al vapor de agua y no tanto a la permeabilidad de los gases, mientras que con los plastificantes hidrofóbicos sucede lo contrario. El aumento de la concentración del plastificante incrementa las propiedades mecánicas, la barrera al vapor de agua y la del oxígeno, aumentando la flexibilidad, elongación y la permeabilidad de la película. [37]

1.9.3 Efecto de la temperatura del secado

La temperatura durante el secado afecta las propiedades de barrera y la permeabilidad al vapor de agua. La temperatura aumenta la permeabilidad de los materiales, adicionalmente, modifica las propiedades mecánicas y de barrera condicionando también la hidratación de las biopelículas. Por otra parte, la temperatura influye en la capacidad de las películas para absorber agua afectando las propiedades mecánicas y de barrera de las mismas [37].

1.10 Procesos de obtención de biopelículas

1.10.1 Casting

Es un proceso que consiste en verter el líquido en un molde almacenado a ciertas condiciones para poder formar el material rígido que toma la misma forma del molde. Las ventajas del Casting es que hay una distribución uniforme del espesor, las películas poseen una excelente planitud y estabilidad dimensional [37].

1.10.2 Coater

También se conoce como fundición en tiras o revestimiento con cuchilla, permite la propagación de una suspensión formadora de película en un soporte grande y en correas de transporte continuo y permite el control del grosor de la película con una cuchilla ajustable en la parte inferior del dispositivo de propagación, llamada cuchilla. El secado se realiza en el soporte por conducción, convección o radiación [37].

1.10.3 Extrusión

“Este proceso utiliza uno o dos tornillos giratorios instalados en un barril para aumentar progresivamente la presión y empujar hacia adelante mezclando los ingredientes necesarios para fabricar el polímero comercial a través de una matriz donde se puede expandir” [37]. La calidad de la película es afectada por las fuerzas de cizallamiento y las temperaturas tan elevadas del proceso.

1.10.4 Electrospinning

Esta técnica crea fibras de polímeros y aporta a las mismas una amplia superficie por unidad de área, porosidad y buenas propiedades mecánicas para el sector biotecnológico. “En el electrospinning un campo eléctrico es aplicado a una disolución de polímero con cierta viscosidad, que fluye por un tubo capilar, induciendo una gran densidad de carga a la superficie líquida, lo que provoca una fuerza de repulsión opuesta a la tensión superficial de la disolución” [37].

1.11 Biopelículas basadas en almidón

Las investigaciones sobre biopelículas basados en almidón iniciaron en 1970. Las tecnologías que se están desarrollando se relacionan con la incorporación del almidón a las formulaciones de las películas fabricadas en procesos de compresión, extrusión soplada, extrusión de un sólo tornillo o doble tornillo y moldeo por inyección [38].

Entre los biopolímeros de base biológica, la mayoría de las investigaciones se enfocan sobre el almidón, el cual está constituido por una mezcla de dos polímeros los cuales son: la amilosa y la amilopectina. Los almidones más comunes contienen de amilosa y amilopectina alrededor del 25 y 75% respectivamente. Para la fabricación de envases y embalajes se utiliza el 75% de los polímeros de almidón [39].

Las mezclas de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, los poliésteres más adecuados son policaprolactona (PCL) y los poliésteres alifáticos aromáticos. El almidón es un polímero con alto potencial de uso en la síntesis de materiales biodegradables, cabe mencionar, que su uso tiene limitaciones debido a la baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos, por esta razón se han ido investigado alternativas para pasar estas limitaciones como la modificación de la estructura del almidón, es decir, mezclas con otros polímeros biodegradables, uso de compatibilizantes para mejorar la adhesión entre el almidón y el polímero y por último la adición de fibras o arcillas reforzantes [39].

Existen diversos métodos para la modificación del almidón como:

1. La modificación química del almidón por glucosilación y posterior transesterificación con el aceite de higuera original para obtener poli(glicol)-glucósidos.
2. La modificación química del almidón por reacción de acilación con anhídrido propiónico.
3. La modificación por la adición de plastificantes [39].

Por otro lado, el problema que presentan las películas basadas de almidón es la

sensibilidad a la humedad, cuya solución consiste en utilizar en las formulaciones polivinilalcohol (PVA), glicerina, sorbitol, etc. [38]

El almidón termoplástico (TPS) se obtiene a partir de la interrupción estructural que resulta de una disminución de los cristales durante el proceso de extrusión y la acción del plastificante, éste presenta una alta permeabilidad al oxígeno y disminución al vapor de agua en TPS de amilosa en comparación al TPS de amilopectina.

Existen varias aplicaciones del almidón tales como: la adición del almidón al interior del polietileno en forma granular entre un 6 y el 30%, por otro lado, la combinación en forma gelatinizada en proporciones entre el 30 y el 70% mezclado con polímeros sintéticos igualmente gelatinizados como el PVA entre proporción de 10 y 20% [38].

1.11.1 Biopelículas de almidón

La ventaja del almidón es que produce biopelículas con buenas propiedades mecánicas y los recubrimientos a base de este tienen un buen rendimiento ya que sirven como barrera contra los compuestos de baja polaridad. Por otra parte, reducen el uso de recursos no renovables y el impacto ambiental con lo que respecta al aumento de emisiones de los gases de efecto invernadero y otros productos. El uso de almidón es viable puesto que es comestible y tiene amplia facilidad en cuanto a la modificación química, física o genética [1]. Éste compuesto es apropiado para la formación de biopelículas dado que proporciona una buena barrera a la permeación de oxígeno y dióxido de carbono.

1.11.2 Biopelículas con almidón modificado.

El almidón modificado es una fuente renovable con capacidad filogénica que satisface aspectos de disponibilidad, biocompatibilidad y propiedades funcionales. Se pueden realizar modificaciones en la estructura del almidón nativo por medio de distintos métodos para obtener un almidón modificado, estas modificaciones consisten en retrasar la reorganización de los puentes de hidrógeno para proporcionar a la biopelícula una

mejor claridad, estabilidad menor tendencia a la deformación y mejores propiedades mecánicas [40].

Las modificaciones se pueden realizar por medio de técnicas químicas, físicas, biológicas o enzimáticas. La técnica química más utilizada es la sustitución (oxidación, acetilación, hidroxipropilación) que consiste en introducir sustituyentes grandes en la cadena de almidón disminuyendo la cristalización de la amilosa y la amilopectina.

Otra de las técnicas químicas se trata de la esterificación o el entrecruzamiento que permiten aumentar el carácter hidrofóbico del almidón, aumentar la estabilidad térmica y las propiedades mecánicas del material, esta técnica se basa en introducir enlaces covalentes adicionales (fosfato, adipato, diester, etc.) entre las moléculas, estabilizando y fortaleciendo los gránulos. En almidones con modificaciones duales, se obtienen los beneficios de cada una de las modificaciones sencillas. Se encontró que la doble modificación afecta las propiedades funcionales y fisicoquímicas de las películas. En general, las películas elaboradas con almidón entrecruzado muestran mayores valores de tensión a la fractura y porcentaje de elongación que las películas con almidones no modificados [40].

En la siguiente tabla se muestran las técnicas químicas con sus respectivos agentes modificadores además de los efectos en las propiedades mecánicas y de barrera de las películas elaboradas.

Figura 9

Modificaciones químicas del almidón

Modificación química	Agente modificador	Efecto en las propiedades
	Tripolifosfato de sodio.	Mejoramiento de la tensión a la fractura y flexibilidad.
Entrecruzamiento	Ácido bórico. Ácido tartárico	Aumento de la tensión. Reducción de la PVA. Aumento en la tensión a la

	Ácido cítrico.	fractura.
Oxidación	Hipoclorito de sodio	Mejoramiento de las propiedades de barrera. Películas más claras y flexibles. Disminución de la permeabilidad
Hidroxiopropilación	Oxido de propileno	Mayor elongación. Disminución de la PVA.
Dual	Agentes diferentes	Aumento en la resistencia y en la flexibilidad. Disminución de la PVA.

Nota. En la tabla se muestra las modificaciones químicas del almidón. Tomado de: Lorena Ramos-García, M., Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S, «Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas» *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1), 2018

2. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN UTILIZANDO LAS SEMILLAS DE AGUACATE

Para el desarrollo de este capítulo se hizo una revisión bibliográfica acerca de los métodos de extracción más utilizados para la extracción de almidón, los cuales fueron aplicados por otros autores y asimismo se observó las similitudes entre ellos. De igual forma, se estableció una comparación entre los resultados y características del producto obtenido en cada uno de estos. Dentro de los cuales destacaron los siguientes: por vía húmeda y vía seca. Cabe destacar que en el método húmedo encontramos dos clasificaciones para la extracción del almidón, la primera de ellas es usando un ácido (ácido cítrico, ácido sulfúrico) y la otra usando una sustancia alcalina (hidróxido de sodio y bisulfito de sodio). Asimismo, se puede encontrar el método de extracción asistido por ultrasonido o por agua destilada. A partir de estos métodos y de la matriz de PUGH para la toma de decisiones se podrá establecer cuáles de ellos se llevarán a cabo experimentalmente y así poder determinar la materia prima necesaria para ejecutar el proceso. Asimismo, se identificarán cuáles son los procesos unitarios requeridos por cada uno de los métodos elegidos.

2.1 Métodos más usados para la extracción de almidón

2.1.1 Método de extracción asistida por ultrasonido

El agente de extracción que utiliza este método es agua destilada; en este también se usan 3 potencias de ultrasonido (150 W, 225 W y 300 W).

Para este proceso las condiciones utilizadas son 25°C y 3 tiempos de 5, 10 y 15 min respectivamente. Inicialmente, se realiza una trituración completa tanto de la pulpa, cáscara y semillas, la mezcla obtenida se pone en el ultrasonido con las condiciones especificadas y posteriormente se filtra y lava hasta que no haya presencia en el agua destilada de residuos de almidón, la parte líquida se deja en reposo para que precipite el almidón, luego se debe eliminar la mayor parte del sobrenadante y el almidón se vuelve a suspender en agua destilada y se centrifuga a 3500 (rpm) durante 5 minutos, finalmente el almidón se seca y cuantifica [41].

2.1.2 Método de extracción húmedo

El proceso de extracción de almidón por el método húmedo consiste en la extracción del éste en un medio húmedo ya sea agua o una solución de bisulfito de sodio 1g/L como se explica en el proceso descrito por Mongui y Quintero (2021). Cuenta con las siguientes etapas: preparación de la muestra, triturado, tamizado, sedimentación, lavado, nuevamente la sedimentación, secado del almidón, pesado del almidón y almacenamiento, para la cual se obtiene el siguiente procedimiento:

Se procede a la selección de las semillas que se encuentran en buen estado identificando aquellas que pertenezcan a la variedad “Lorena”. Luego de realizar la recepción de la materia prima se procede a la adecuación de las semillas, de acuerdo con Mongui y Quintero (2021), dicho procedimiento consiste en secar las semillas por un tiempo estimado de 5 días para luego retirar la cáscara y lavar las semillas con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de residuos que podrían afectar el proceso en el momento de obtener el almidón, después se cortan las semillas en partes pequeñas con ayuda de un cuchillo para facilitar el procedimiento [15].

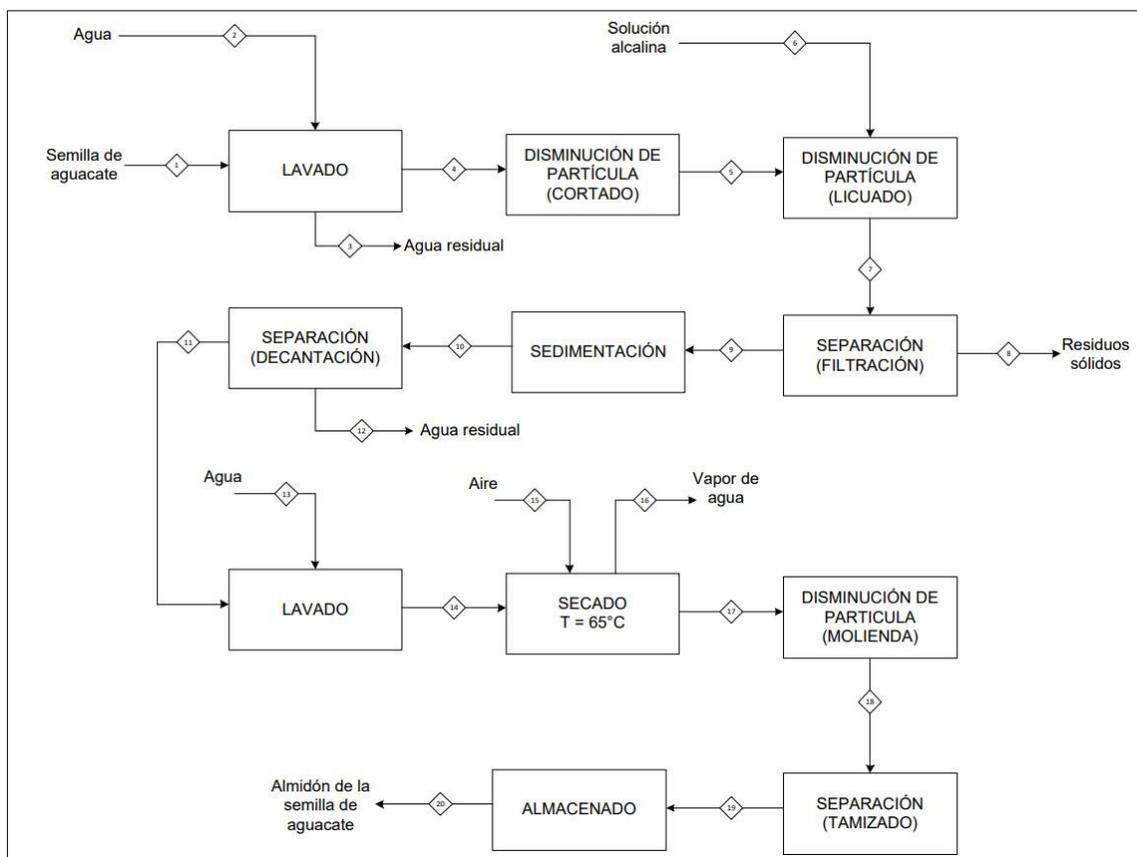
Luego de la recepción y de la adecuación de la materia prima sigue la extracción del almidón por el método húmedo, para ello Mongui y Quintero (2021) plantean llevar a cabo un licuado donde se va adicionar una cantidad de semillas cortadas previamente, el doble de agua y una solución que depende del tipo de método escogido, después con la ayuda de un filtro de tela se hará la separación entre la solución y los residuos de la muestra, dichos residuos se pesan para cuantificar y tener un control de lo que sale y entra al proceso brindando información para posteriormente elaborar el balance de materia [15]. A través de la sedimentación se deja reposar la solución por un tiempo de 2 horas para separar la parte sólida de la líquida, luego para separar el exceso de líquido que queda en la superficie se hace una decantación y con ayuda de una pipeta se retira lo demás para facilitar el proceso de secado, el excedente de líquido también se cuantifica para cálculos posteriores.

Para reducir las impurezas en la solución se agrega agua potable, mezclando y repitiendo los procesos tanto de sedimentación como la extracción del excedente del

líquido. Finalmente, la mezcla se adiciona a un molde de silicona y se lleva al horno precalentado a una temperatura de 65°C por un tiempo de 41,45 horas, pasado dicho tiempo, se muele y tamiza para luego almacenar el almidón en bolsas plásticas con cierre hermético a una temperatura ambiente [42]

Figura 10

Representación del método de extracción de almidón vía húmedo



Nota. Este diagrama representa el proceso de obtención de almidón por el método húmedo

2.1.3 Método de extracción seco

La extracción del almidón por el método seco se basa principalmente en como su nombre lo indica el secado en el que se va a controlar el tiempo y temperatura de las semillas, con el fin de eliminar la mayor cantidad de humedad presente, posteriormente este se somete a diferentes operaciones unitarias para finalmente obtener nuestro producto de interés [43]. En este método también se realiza una reducción del tamaño de la muestra

hasta obtener una harina que se someterá a un posterior tamizado.

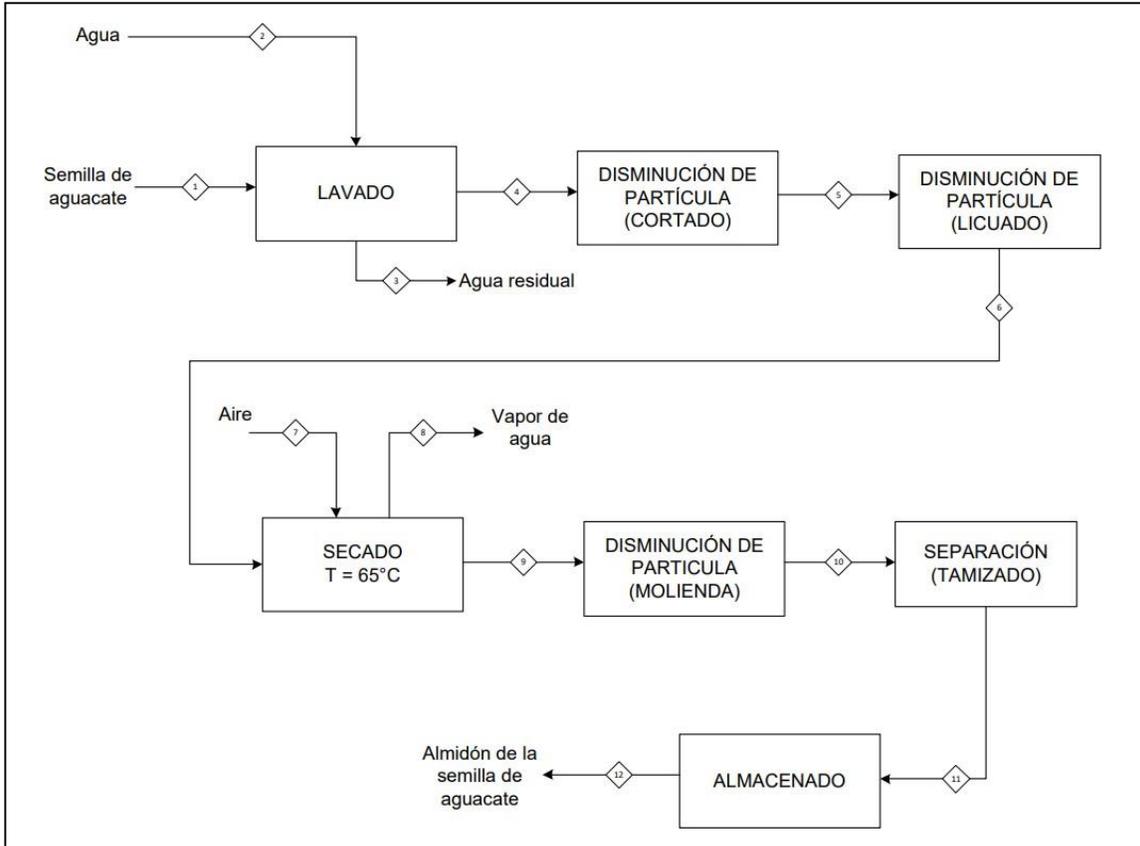
La extracción de almidón de la semilla de aguacate usando este método se realizó tomando en cuenta la metodología descrita por Carrasco y otros (2018) en su documento [44] pero realizando algunas modificaciones en el proceso, de esta manera, después de seleccionar los frutos se retira la pulpa completamente, se lava la semilla para eliminar cualquier otro componente e impurezas que puedan tener, seguidamente se somete al primer proceso de secado que consiste en ubicar la semilla en un refrigerador o simplemente se deja a temperatura ambiente por 5 días, esto con la finalidad de eliminar la cascara que rodea la semilla permitiendo así un acceso más sencillo al hueso que se encuentra en el interior y eliminando parcialmente la cantidad de humedad que contiene este.

Posteriormente, la semilla extraída se procesa para reducir su tamaño y se somete a una temperatura de secado igual a 65°C por un tiempo de 41,45 horas, al finalizar el proceso de secado se muele el almidón resultante en un mortero y este producto, se homogeniza con tamices de diferentes mallas (100, 90, 71, 45 μm) y se almacena en un desecador para evitar que absorba humedad del ambiente; este proceso da como resultado un almidón con una consistencia menos refinada en comparación a la observada en un almidón comercial [42].

De igual manera, en base a la metodología de Carrasco y otros (2018) se establecen las etapas que están involucradas en el proceso de extracción de almidón a través del método seco [44].

Figura 11

Representación del método extracción por vía seca



Nota. Este diagrama representa el proceso de obtención de almidón por el método seco

2.1.4 Comparación de los métodos de extracción

Para realizar una comparación entre los diferentes métodos de extracción se tuvieron en cuenta se tuvieron en cuenta 6 criterios los cuales se mencionan a continuación: (1) uso del método de extracción en la industria, (2) disponibilidad de equipos, (3) costos del proceso, (4) disponibilidad de reactivos, (5) peligrosidad y (6) rendimiento del proceso.

En la siguiente tabla se podrá evidenciar una breve comparación entre cada uno de los métodos y parámetros seleccionados.

Figura 12

Contraste de los métodos de extracción del almidón

Criterio	Método húmedo	Método Seco	Método por ultrasonido
1	Es ampliamente utilizado en la industria debido a que se obtiene almidón con mejor calidad.	Posee un menor grado de uso en la industria dado a que no ofrece buena calidad.	No se utiliza debido a la accesibilidad de los equipos.
2	A escala laboratorio los materiales e instrumentos son de fácil accesibilidad.	A escala laboratorio los materiales e instrumentos son de fácil accesibilidad.	A escala laboratorio los materiales e instrumentos no son de fácil accesibilidad.
3	Debido a que requiere más etapas en el proceso de extracción resulta ser un poco más costoso que el método seco, pero más económico que el método por ultrasonido.	Posee pocas operaciones unitarias en el proceso, por lo tanto, se reducen los costos y resultaría ser el método más económico.	Además de los demás equipos para la adecuación de la materia prima se adiciona la extracción ultrasónica la cual resulta ser más costosa en comparación a los otros métodos.
4	El bisulfito de sodio es de fácil accesibilidad.	No requiere de reactivos.	El agua destilada es de fácil accesibilidad.

5	No es un proceso peligroso dado a que no se implementan sustancias que causen daño alguno.	No es un proceso peligroso dado a que no se implementan sustancias que causen daño alguno.	No es un proceso peligroso dado a que no se implementan sustancias que causen daño alguno.
6	El porcentaje de rendimiento del almidón se encuentra entre el 7 al 10% [45]	El porcentaje de rendimiento del almidón está entre el 20 y 22%[45]	No se encuentra información sobre los rendimientos del proceso.

Nota. Esta tabla permite la comparación de la extracción de almidón por diferentes métodos

2.2 Selección del método de extracción (Matriz PUGH)

Para la elección de los métodos es necesario desarrollar una matriz de decisión que compare los principales métodos que existen para el proceso del almidón de la semilla de aguacate, para esto se plantea el análisis de la matriz PUGH que se define como una técnica de toma de decisiones, la cual afronta un problema que tiene múltiples dimensiones y factores. Se usa para comparar lógicamente diferentes opciones basadas en criterios establecidos. Implementar la técnica de PUGH nos sirve para definir o seleccionar cual es la mejor opción o posibles opciones entre diferentes alternativas a escoger y potencialmente varios factores que se deben tener en cuenta. La metodología PUGH herramienta de tipo cualitativa se basa en el modelado de preferencia, siendo esta una técnica de decisión múltiple consiste en realizar una identificación de los criterios que serán evaluados, estos son básicamente las necesidades del cliente [46].

Teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionó el método de matriz PUGH debido a su importancia, después se buscan los factores que se consideraron críticos tanto para los métodos de extracción como para el desarrollo del proyecto.

Para elaborar la matriz se tomaron 6 (seis) factores que se consideraron críticos e importantes para el desarrollo del proyecto, estos fueron ubicados en una columna (verticalmente) uno tras otro y se les asignó un valor según su nivel de importancia a nivel industrial y en la ejecución del proyecto, estos van del 1 a 3 de la siguiente manera:

- 1- Poco importante
- 2- Importante
- 3- Muy importante

Posteriormente, se ubican los métodos de extracción de manera horizontal con el fin de evaluar cada uno de los factores críticos para todos los métodos planteados. Luego, se asigna para cada criterio y para cada método un signo positivo (+), neutro (0) o negativo (-). Cuando tenemos un signo positivo la acción que se debe ejecutar es sumar el valor que se le dio al criterio, por el contrario, si tenemos un valor negativo se debe restar el valor y neutro implica no realizar ninguna acción.

A continuación, se observan los factores que serán evaluados para la elección del método de extracción:

2.2.1 Uso del método de extracción en la industria

Es importante resaltar que antes de escoger cualquier método es necesario conocer cuáles son los más usados industrialmente para la extracción del almidón de la semilla de aguacate, dado que, con esto es posible decidir por cual método es más viable enfocar el proceso de no ser muy utilizado en la industria se va a dificultar la búsqueda de información. Sin embargo, esto no quiere decir que no se puedan desarrollar algún tipo de método. A este criterio se le asigna un valor de 2 (importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que es un método usado en la industria, mientras que un signo negativo (-) indica que no es muy común usar este método a nivel industrial.

2.2.2 Disponibilidad de equipos

Para cualquier método de extracción es necesario conocer los equipos y maquinaria que

se van a utilizar para la ejecución de este, por esta razón es indispensable evaluar los costos de los equipos, la facilidad y accesibilidad de encontrarlos en la industria. Por otro lado, como el proyecto se va a realizar en las instalaciones de la universidad no se cuenta con todos los recursos necesarios para los diferentes métodos de extracción, esto implicaría que de no tener uno de los equipos dependemos de otro laboratorio y se nos aumentan los costos.

A este criterio se le asigna un valor de 3 (Muy importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que hay disponibilidad de los equipos para desarrollar el método, mientras que un signo negativo (-) indica que no hay disponibilidad de estos.

2.2.3 Costos del proceso

Como sabemos para cualquier empresa que decida invertir en el proyecto es de vital importancia conocer los costos e inversiones que tendría que realizar para la obtención del producto de interés, esto depende de los aspectos financieros dado que, si los costos del proyecto son muy altos, es más fácil recuperar la inversión. Para la ejecución del proyecto, la compra de materias primas y demás insumos se les atribuyen a los autores. A este criterio se le asigna un valor de 3 (Muy importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que los costos del método son menores, mientras que un signo negativo (-) indica que los costos son altos.

2.2.4 Disponibilidad de reactivos

Los reactivos son un factor importante para los procesos químicos y para los métodos de extracción, por tal motivo es necesario evaluar la facilidad de acceder a ellos dado que son necesarios para alguno de los métodos y hay que evaluar si toca comprarlos o conseguirlos en otro laboratorio. Se le asigna un valor de 2 (Importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que hay facilidad para adquirir los reactivos requeridos, mientras que un signo negativo (-) indica que no hay disponibilidad de estos.

2.2.5 Peligrosidad

Este factor es de gran importancia para las personas que ejecutarán el proyecto, por esta razón es necesario evaluar los peligros asociados a los métodos de extracción ya sea por el manejo de los equipos que se necesitan en la operación o por el uso de los reactivos. A este criterio se le asigna un valor de 1 (Poco importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que no hay peligro notable al ejecutar el método, mientras que un signo (-) indica que hay que tomar medidas de precaución al ejecutarlo.

2.2.6 Rendimiento del proceso

El rendimiento de un proceso indica una mayor producción, es decir, si tenemos una mayor producción se tendrá una mayor cantidad de producto para vender y por ende las ganancias e ingresos aumentaran, para el método vía húmeda el rendimiento de almidón fue de 4,5% y para el método vía seca de 11,38%. A este criterio se le asigna un valor de 2 (Importante) donde evaluarlo con un signo positivo (+) significa que es un método con un rendimiento alto, mientras que un signo negativo (-) indica que los rendimientos para este método son bajos.

Figura 13

Representación de signos asignados a cada criterio y su respectivo valor

Criterio	Valor	(+)	(-)
1	2	Es común	No es común
2	3	Hay disponibilidad	No hay disponibilidad
3	3	Costos menores	Costos altos
4	2	Hay disponibilidad	No hay disponibilidad
5	1	No hay peligro	Tomar medidas de precaución
6	2	Rendimiento alto	Rendimiento bajo

Nota. Esta tabla permite observar los signos asignado a cada criterio para la extracción de almidón.

Después de evaluar cada uno de los criterios pasamos a realizar el sumatorio total de los valores asignados para cada uno de los métodos.

Figura 14*Matriz de selección de los métodos de extracción*

Métodos de Extracción		Método húmedo	Método Seco	Método por ultrasonido
Criterio	Valor			
Uso del método de extracción en la industria	2	+	-	-
Disponibilidad de equipos	3	+	+	-
Costos del Proceso	3	+	+	-
Disponibilidad de reactivos	2	+	0	+
Peligrosidad	1	+	+	+
Rendimiento del proceso	2	-	+	-
+		11	9	3
0		0	0	0
-		2	2	10
Total		9	7	7

Nota. Esta tabla permite observar la Matriz de selección de los diferentes métodos de atracción del almidón.

Por medio de esta matriz de selección se logró observar que los métodos más aptos para desarrollar el proyecto teniendo en cuenta los diferentes factores son los de extracción por vía húmeda y seca. El método húmedo, a pesar de tener varios requerimientos importantes en cuanto a equipos y materias primas en comparación a los otros métodos, destaca en su resultado final dado que, es un producto altamente competitivo a nivel industrial que cuenta con características propias y comparables frente a las biopelículas convencionales.

De acuerdo con lo anterior para este proyecto se desarrollará una experimentación de los dos métodos nombrados y según los resultados obtenidos se hará una comparación de cada uno de ellos y se seleccionará el método y la formulación más adecuada con base a su rendimiento y calidad.

2.3 Extracción del almidón

En esta sección, se llevará a cabo la primera etapa importante para la obtención de una biopelícula que es la extracción del almidón a partir de la materia prima elegida, en este caso de los residuos del aguacate (las semillas), para el desarrollo de este se deben seleccionar los frutos que se vean aptos para el consumo, escogiendo aquellos que se encuentren en las categorías EXTRA y CATEGORÍA I. Por otro lado, como pretratamiento o acondicionamiento de la materia prima, se debe retirar en su totalidad la cantidad de pulpa presente en la cubierta (mesocarpio) y luego estas se someterán a un tiempo de secado con el fin de remover todo el contenido que se encuentra a su alrededor (cascaras), y de este modo lograr una extracción exitosa de la semilla de aguacate que se encuentra en el interior.

Para la extracción se realizó una experimentación en la cual se pretende evaluar los métodos húmedo y seco por medio de la metodología propuesta, pero realizando algunas variaciones en el proceso, de este modo.

2.3.1 Recepción de la materia prima

Para la recepción de la materia prima se hizo una revisión bibliográfica sobre las principales fuentes, teniendo en cuenta los siguientes aspectos: cuales son los sitios de Bogotá donde se obtiene una mayor cantidad de semillas de aguacate y cuáles son los lugares más cercanos para conseguir dicha materia prima. Con respecto al primer ítem, los lugares que nos permiten tener una mayor cantidad de estas son las plazas de mercado (Corabastos, Paloquemao etc.), tiendas y restaurantes. Para la elección final, nos ubicamos en las localidades más cercanas a nuestros lugares de vivienda siendo Tunjuelito y Fontibón las más adecuadas. Posteriormente, hicimos un recorrido por los restaurantes más cercanos para validar que tantas semillas podríamos recolectar y en cuál de ellos se obtendría una mayor cantidad, llegando a la conclusión que la tienda “Los paisas” ubicada en la localidad de Fontibón en la ciudad de Bogotá, nos permitiría recoger más semillas de aguacate de la variedad Lorena.

2.3.2 Selección de semillas de aguacate

Teniendo en cuenta que las materias primas tienen una gran influencia en las características del producto final (biopelícula), es determinante la selección de estas dado que, son las precursoras del almidón que se emplea para la obtención de la película biodegradable. Con base a la norma NTC 5209 se tiene en cuenta que una buena selección del fruto tiene en cuenta los siguientes criterios mínimos que deben cumplir los frutos para ser aptos para su distribución, almacenamiento y consumo, madurez fisiológica, olores y sabores, la humedad externa y las características que posean interna y externamente [47].

Según la norma, los frutos que son idóneos para ser empleados en la extracción de almidón de la semilla de aguacate son aquellos que se encuentran entre las categorías EXTRA y CATEGORÍA I, dado que en estas dos categorías las imperfecciones y el daño en la superficie de la fruta no superan el 5% y 10% lo que indica que sus residuos también se encuentran en buenas condiciones para ser procesados.

2.3.3 Adecuación de la materia prima

Uno de los pasos fundamentales para tener una mejor eficiencia en las otras etapas del proceso, es la adecuación o pretratamiento de la materia prima, con esta se reducen los costos operativos, se aumenta la productividad del proceso y se tiene un producto final con mayor calidad. Para nuestro trabajo estas adecuaciones implican modificaciones netamente físicas, inicialmente las semillas deben permanecer en un sistema de refrigeración por un tiempo estimado de más de 5 días para su secado, luego de este procedimiento se retira la cáscara de cada una de las semillas, seguidamente se lavan las semillas con agua destilada con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de residuos que podrían afectar el proceso de obtención del almidón, con ayuda de una hoja de metal afilada (Utensilio cortante) se disminuye el tamaño de las mismas dado que se cortan en partes pequeñas (1 cm aproximadamente) para facilitar el proceso de extracción del almidón y aumentar el área de contacto. Finalmente se pesan las muestras en una balanza digital con el objetivo de saber las proporciones a estudiar.

Después se establecen las etapas que están involucradas en el proceso de extracción de almidón a través del método seco y húmedo como se evidencia a continuación:

2.3.4 Método húmedo

Para el método húmedo se procesaron 1000 g de semillas de aguacate por lote y se llevó a cabo el procedimiento del diagrama 5, donde se realizaron diferentes etapas.

Se seleccionaron las semillas de aguacate que estuvieran en buen estado (que no estuvieran germinadas y de color negro) y se pesó 1000 g de muestra. El lavado se realiza con agua fría potable para eliminar todas las impurezas presentes, seguidamente se dejaron secar las semillas por cinco días a temperatura ambiente.

Para el descascarillado, se tomaron tres lotes diferentes de aproximadamente 1000g y seguido se realizó un corte aproximadamente de 2 cm por 2 cm para que no se dificultara la siguiente etapa que fue el licuado, la cual consistió en licuar los trozos de cáscaras para reducir su tamaño y formar una pasta a este licuado se añadió el doble de agua y se agregó diferentes cantidades de bisulfito de sodio por cada lote, una vez hecho este procedimiento la mezcla obtenida se filtró mediante un filtro de tela, luego se dejó sedimentar por 2 horas para posteriormente decantar la mayor parte del líquido y lo demás retirarlo con una pipeta. Esta acción se repitió tres veces hasta que el agua de lavado dejó de presentar un color naranja oscuro, para esta etapa se usaron 158g de agua, luego se procedió a tomar el precipitado para secar la muestra en un horno a una temperatura de 60-65°C durante 2 días, la pasta obtenida se lleva a la etapa de molienda para reducir su tamaño con ayuda de un mortero y finalmente se procede a tamizar.

Para el método húmedo se decide hacer un diseño de experimentos con el fin de evaluar el efecto que tiene variar la cantidad de bisulfito de sodio en la extracción del almidón, este cuenta con 2 factores 3 y 1 nivel (3x1) en donde la variable respuesta es la cantidad de almidón extraída en gramos.

Figura 15

Diseño de experimentos para extraer almidón por el método húmedo

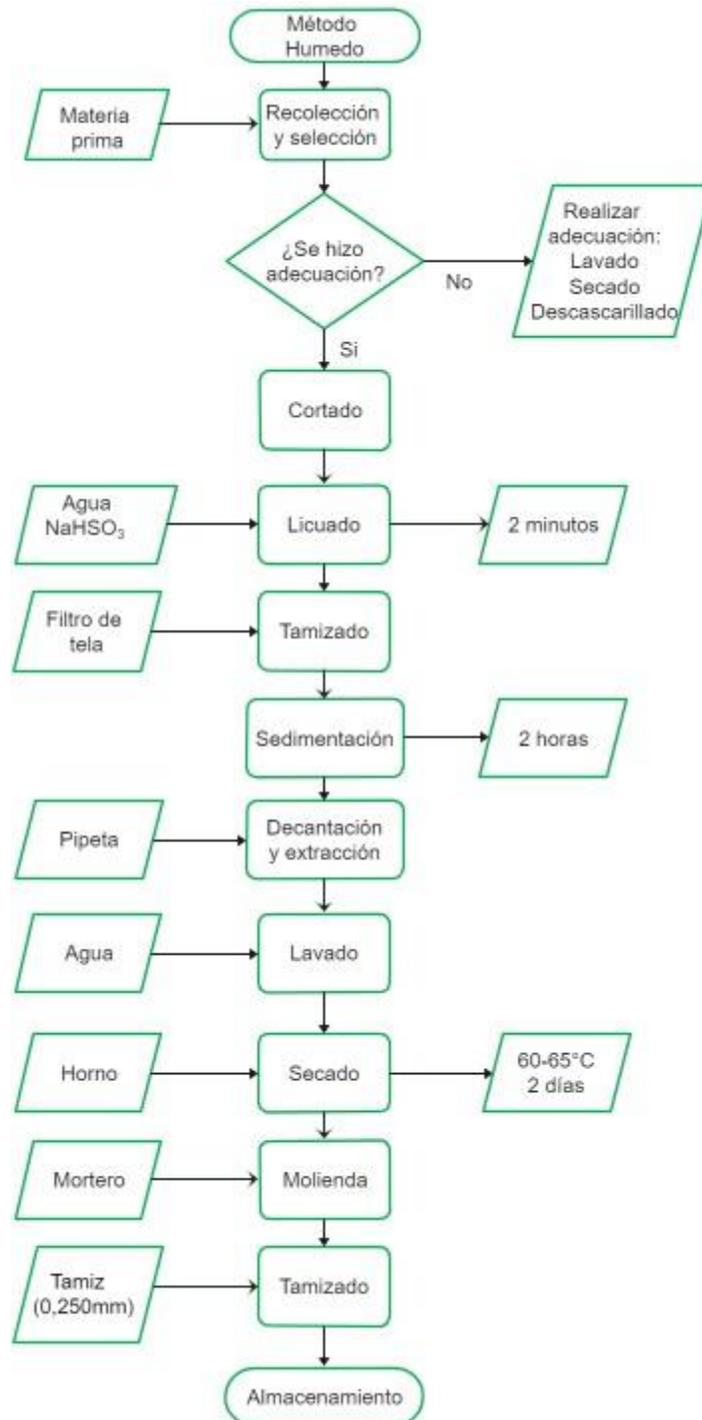
	Bisulfito de sodio (g)		
Tiempo de licuado (min)	2	5	10
2	BS1	BS2	BS3

Nota. Diseño de experimentos para la obtención de almidón a partir del método húmedo variando la cantidad de bisulfito de sodio

Teniendo en cuenta el diseño de experimentos planteado se determina que se hará una réplica por cada formulación con el fin de corroborar los datos obtenidos. A partir del siguiente diagrama se puede evidenciar cada una de las etapas a considerar en este método.

Figura 16

Proceso de extracción de almidón semillas de aguacate método húmedo



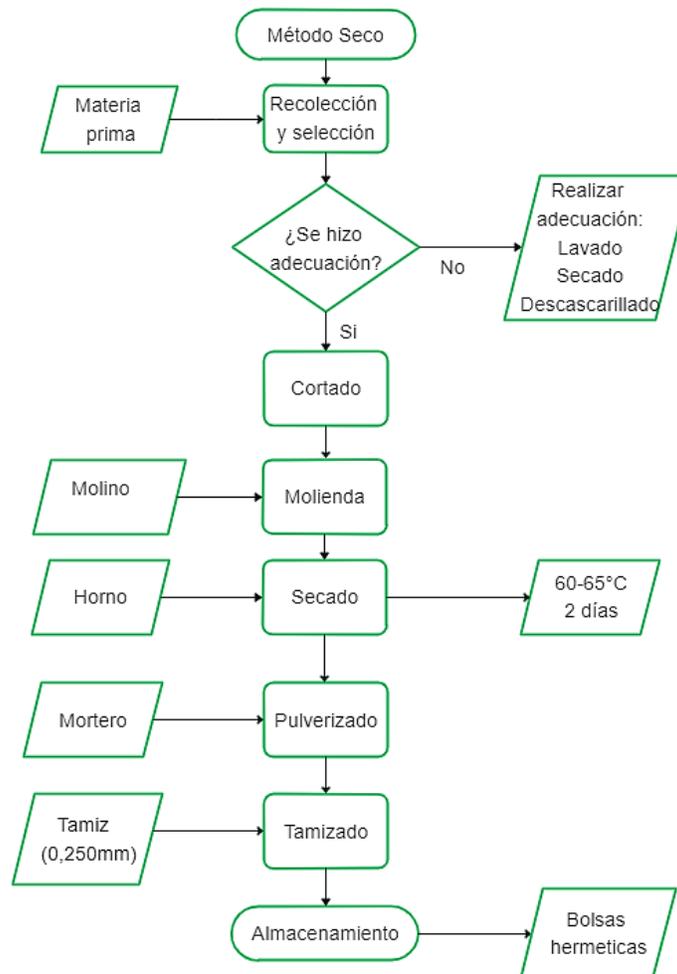
Nota. La figura presenta el proceso a seguir para lograr la extracción de almidón de semillas de aguacate a través de un método húmedo.

2.3.5 Método seco

Para el método seco se procesaron 1000 g de semillas de aguacate y se llevó a cabo la metodología que se describe en el diagrama 6, en el cual se desarrolló un procedimiento similar al método húmedo, pero omitiendo las etapas de filtrado, sedimentación y decantación. En este se inicia también con la adecuación de la materia prima hasta el cortado, después de esto el almidón se muele para homogeneizar la mezcla y se seca a una temperatura de 65° C por 2 días en un horno, luego de esta etapa el material obtenido es pulverizado y tamizado.

Figura 17

Proceso de extracción de almidón semillas de aguacate



Nota. La figura presenta el proceso a seguir para lograr la extracción de almidón de semillas de aguacate a través de un método seco.

Este procedimiento da como resultado un almidón con una consistencia menos refinada en comparación a la observada en un almidón comercial. Como se puede observar en la siguiente tabla 10, se observa la materia prima de la que fue extraída el almidón y las características visuales del producto obtenido, de igual forma, en base a las metodologías descritas en este capítulo.

A partir de las siguientes tablas, se puede observar el producto obtenido siguiendo la metodología descrita en el diagrama anterior para el método húmedo y seco:

Figura 18

Resultados extracción de almidón método húmedo 2g bisulfito de sodio (Anexo 1)

MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN DE SEMILLAS	PRODUCTO
		

Nota. En la tabla se evidencia una comparación entre la materia prima empleada (imagen izquierda y central) y el producto obtenido mediante el proceso anteriormente explicado imagen derecha).

En la tabla anterior, se puede apreciar el almidón obtenido a partir del método húmedo iniciando con una cantidad de bisulfito de sodio de 2g (BS1). Asimismo, en la siguiente tabla se observa como infiere la variación de este reactivo en la extracción del almidón, dado que se usaron 5g (BS2).

Figura 19

Resultados extracción de almidón método húmedo 5g bisulfito de sodio (Anexo 1)

MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN DE SEMILLAS	PRODUCTO
		

Nota. En la tabla se evidencia una comparación entre la materia prima empleada (imagen izquierda y central) y el producto obtenido mediante el proceso anteriormente explicado (imagen derecha)

A medida que se aumenta la cantidad de bisulfito de sodio en el licuado se puede observar que el rendimiento del almidón aumenta ya que se obtiene una mayor proporción, para verificar este comportamiento se decide realizar otra formulación en la que se añaden solo 10 g (BS3) de este reactivo al proceso con el fin de observar cómo incide este sobre nuestro producto de interés en esta etapa.

Cabe destacar que el proceso para todas las variaciones realizadas es el mismo y la relación de los demás reactivos utilizados sigue siendo la misma. Los resultados se pueden evidenciar a partir de la tabla 12, que se tiene a continuación:

Figura 20

Resultados extracción de almidón método húmedo 10g bisulfito de sodio (Anexo 1)

MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN DE SEMILLAS	PRODUCTO
		

Nota. En la tabla se evidencia una comparación entre la materia prima empleada (imagen izquierda y central) y el producto obtenido mediante el proceso anteriormente explicado imagen derecha)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede evidenciar que el bisulfito de sodio es un agente antioxidante e inhibidor de procesos de fermentación y crecimiento microbiano, además este reactivo contribuye en el blanqueamiento del almidón con la eliminación de taninos que se obtendrá al finalizar la extracción [48]. Asimismo, el bisulfito permite neutralizar el exceso de agentes oxidantes, puede prevenir la reacción de pardeamiento y además rompe los enlaces disulfuro de las proteínas, lo cual facilita la liberación de almidón. Esto debido a que, los iones de bisulfito (HSO_3^-) reaccionan con H^+ para formar lo que se conoce como SO_2 . Este compuesto es muy importante dado a que, es un agente reductor que se encarga de romper los enlaces disulfuro que rodean los gránulos de almidón, este rompimiento permite liberar el almidón. Adicionalmente, este compuesto también puede crear condiciones favorables para el crecimiento de bacterias del ácido láctico (*Lactobacillus*). Este ácido contribuye con la separación del almidón y aumenta la cantidad producida del mismo. Asimismo, puede aumentar el ablandamiento de la semilla ocasionado que las proteínas del endospermo se disuelven y debilitan sus paredes celulares.

El resultado de este proceso es un almidón mucho más refinado y con una coloración clara, lo que concederá una mejor textura a la película bioplástica obtenida empleado

este tipo de almidón, este resultado se puede observar en las tablas 10,11 y12.

Figura 21

Resultado extracción de almidón método seco (Anexo 1)

MATERIA PRIMA	EXTRACCIÓN DE SEMILLAS	PRODUCTO
		

Nota. En la tabla se evidencia una comparación entre la materia prima empleada (imagen izquierda y central) y el producto obtenido mediante el proceso anteriormente explicado imagen derecha)

Con base a la tabla y a la figura anterior se puede evidenciar que el método seco presenta mayores rendimientos y menores porcentajes de pérdidas lo que en términos de números representa valores significativos; no obstante, su calidad puede ser apreciada y valorada cuando la muestra pasa por pequeños tamices. Por el contrario, según los resultados del método húmedo este presenta un mayor porcentaje de pérdidas, esto se atribuye a la eficiencia de los lavados y tamizados que se le realizan a la muestra para separar el almidón de los demás componentes; Cabe resaltar que aun cuando su porcentaje de perdidas es mayor y posee menor rendimiento; su calidad física se aprecia que tiene mejor consistencia y forma ya que pierde en el proceso la mayoría de componentes como fibra, proteínas entre otros componentes.

A partir de la tabla anterior, se definió que el método seco presenta mayor rendimiento, es decir hubo mayor cantidad de almidón al finalizar el proceso de extracción. Sin embargo, se desarrolla la experimentación teniendo en cuenta el almidón de mejor rendimiento en el método húmedo.

2.4 Rendimiento del almidón

El rendimiento es aquella utilidad o resultado que se obtiene de un proceso, se calcula con base a la relación existente entre la cantidad inicial presente. Para tener una idea más clara de la rentabilidad y eficiencia del proceso de extracción de almidones, se debe tener en cuenta la cantidad de materia prima empleada (semillas de aguacate) para el cálculo del porcentaje. Este se calcula a partir del porcentaje de fracción que resulta después de cada operación unitaria; iniciándose con la recepción de la materia prima al 100% [49]. Se realiza la siguiente ecuación para medir el rendimiento de los métodos Húmedo y seco:

Ecuación 1

Porcentaje de rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{\text{Peso final de almidón}}{\text{Peso inicial de materia prima}} \right) \times 100$$

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del rendimiento en la muestra frente a la cantidad de materia prima empleada [45]. Tomado de: L. N. Avendaño Rojas, “*Evaluación De La Síntesis De Una Película Bioplástica A Escala Laboratorio A Partir De Residuos De Mango (Mangífera Índica)*,” Fundación Universidad de América, Bogotá, 2022. Accessed: Oct. 01, 2022. [Online]. Available: https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8828/1/616_2928-2022-1-IQ.pdf

Cabe resaltar que el rendimiento varía de acuerdo con la metodología empleada para su extracción ya que, resulta más eficiente usar un método de licuado en el cual se puede observar un rendimiento mayor en comparación al método de molienda en el cual las pérdidas de materia prima son significativas [50].

Así mismo, otro factor importante para obtener mayores rendimientos de almidón es el grado de madurez del fruto, ya que si se encuentra en condiciones adecuadas el contenido de almidón es mayor y diferente, mientras que a medida que avanza el proceso de maduración el almidón se convierte en azúcares [50].

Con base a lo descrito anteriormente, en el proceso de extracción de almidón es de vital importancia los porcentajes de rendimiento dado que, estos resultados nos permiten realizar un análisis de viabilidad de los procesos ejecutados, cabe señalar que este rendimiento se basa en la relación de la cantidad de materia prima usada inicialmente para la extracción.

En la tabla 14, se estable el resultado de rendimiento de almidón extraído empleando los métodos que fueron descritos anteriormente, en estos se puede evidenciar que para la misma cantidad total de semillas (g), el peso del almidón que fue extraído varía considerablemente y, en consecuencia, el porcentaje de rendimiento también lo hace.

Tabla 4*%Rendimiento almidón extraído por dos métodos.*

Materia prima	Método húmedo				
	Peso semillas (g)		Peso almidón (g)	%Rendimiento	
	BH	BS		BH	BS
Semilla de aguacate (2g BS)	1000	934	63,4	6,34	6,79
Semilla de aguacate (5g BS)	1000	962	77,7	7,77	8,08
Semilla de aguacate (10g BS)	1000	932	104	10,4	11,16
Materia prima	Método seco				
	Peso semillas (g)		Peso almidón (g)	%Rendimiento	
	BH	BS		BH	BS
Semilla de aguacate	1000	928	213	21,30	22,5

Nota. La tabla evidencia los resultados del cálculo de porcentajes de rendimiento de almidones teniendo en cuenta la cantidad inicial de materia prima empleada, usando la ecuación 1.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se evidencia que la metodología con mayor rendimiento y con más aprovechamiento de los residuo de aguacate es el método seco debido a que sus etapas de producción son más simples y la cantidad de almidón encontrado es bastante alta; de igual manera, se evidencia que el rendimiento más bajo de producción de almidón lo tiene el método húmedo, ya que las etapas de este proceso de acondicionamiento y extracción son más largas y tediosas, por tal motivo los residuos que se obtienen de cada una son altos ocasionado que el rendimiento sea más bajo.

A partir de estos resultados se evidencia que el método seco presenta un rendimiento mayor del 22,5% respecto al método Húmedo con un rendimiento del 11,16%. Esto se debe a que, en la etapa de licuado la mezcla obtenida contenía gran cantidad de agua, por lo que en el momento de llevar a deshidratar el producto tardaría más tiempo en hacerlo; lo cual implica mayor gasto de energía, por tal motivo, se decidió que en el método seco se omitiría la etapa de licuado, sedimentación, decantación y lavado pasando inmediatamente a su deshidratación.

Según fuentes consultadas para la extracción de almidón a partir de las semillas de

aguacate se puede evidenciar que el rendimiento obtenido en peso húmedo es del 4,5% con base al artículo “Aprovechamiento de la semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) tipo Hass para la extracción de almidón” en el cual se parte inicialmente de 580g de semillas de aguacate [51]. Asimismo, según Silva, Al. se puede obtener un rendimiento del 11,36% para la extracción partiendo de 10 kg de materia prima [52]. Mientras que en los resultados del artículo de Guerrero Ch. este obtuvo un rendimiento del 19,99% [53]. Teniendo en cuenta la tesis “Generación de bioplástico a base del almidón producido por la semilla del aguacate” se puede observar que a partir de 15839g de semillas de aguacate tan solo se obtiene un rendimiento de aproximadamente 6,29%[15]. A diferencia del método seco que según la bibliografía permite obtener rendimientos mucho más altos.

Comparando los resultados, se infiere que estamos dentro de los valores ya obtenidos en otras fuentes y se concluye que este valor depende del tipo de aguacate usado y su grado de madurez.

2.5 Caracterización del almidón

Para caracterizar el almidón se realizarán tres pruebas, se hallará el porcentaje de humedad, se hará la prueba de cenizas y por último la prueba de yodo, cada una de ellas se explicarán a continuación:

2.5.1 Porcentaje de humedad en la etapa de secado

El contenido de humedad en el almidón de las semillas de aguacate variedad lorena, influye bastante respecto a la relación humedad/ cenizas, ya que, tienen un comportamiento inversamente proporcional a mayor concentración de humedad presente, menor será el porcentaje de cenizas [50]. Para comprobar la efectividad del proceso es importante tener en cuenta el método de la AOAC y el grado de humedad resultante luego del paso del almidón por el equipo dispuesto para el secado, el contenido de humedad determina la aceptabilidad, frescura y durabilidad del material [54].

Ecuación 2

Determinación del porcentaje humedad

$$\%Humedad = \left(\frac{MRAU(g) - MRAS(g)}{MAU(g)} \right) \times 100$$

Donde

MRAU = Masa en gramos del recipiente y la muestra

húmeda MRAS = Masa en gramos del recipiente y la

muestra seca MAU = Masa en gramos de la muestra

húmeda

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del porcentaje de humedad de la muestra [55]. Tomado de: S. H. F. Martins, K. V. Pontes, R. L. Fialho, and F. M. Fakhouri, "Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications," *J. Agric. Food Res.*, vol. 8, p. 100303, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JAFR.2022.100303.

Para su determinación, se inicia con el peso de los recipientes vacíos limpios y secos, posteriormente se adicionan las diferentes muestras de almidón a cada uno de ellos, y se llevan al horno de bandejas que opera a 65°C hasta que se sequen para su posterior análisis gravimétrico. Después de este periodo de tiempo, las muestras se retiran y se colocan en el desecador hasta que se enfríen para luego pesar cada lote en la balanza analítica. El objetivo de este análisis es secar la muestra para obtener de 85 a 95% de materia seca, para su cálculo se usa la ecuación anterior.

El porcentaje de humedad obtenido se puede observar a través de la siguiente tabla, estos valores fueron calculados a partir de lo enunciado en el ítem anterior en donde se describe la ecuación 2 a utilizar, para esta se tiene en cuenta el peso del fruto inicial en g que se toma como la masa de la muestra húmeda sin el peso del recipiente y el peso de la muestra seca que corresponde al valor obtenido después del proceso de secado, a partir de estos resultados se evidencia que para la primer etapa de secado el método húmedo tiene un porcentaje de humedad promedio del 8,27% mientras que, el método seco tiene un valor inferior del 7,85%. Asimismo, en el segundo secado el método seco

presenta un porcentaje de humedad menor del 64,64% respecto al método Húmedo con un valor promedio del 80,51% para el segundo secado.

Tabla 5

%Humedad almidón extraído por dos métodos

Materia prima y método	Peso sólido húmedo (g)		Peso sólido seco (g)		%Humedad	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
Semilla de aguacate (Método húmedo, 2g BS)	1028	338	934	65	9,14	80,77
Semilla de aguacate (Método húmedo, 5g BS)	1030	541	962	77,8	6,60	85,62
Semilla de aguacate (Método húmedo, 10g BS)	1025	445	932	110,6	9,07	75,15
Semilla de aguacate (Método seco)	1007	856	928	302,7	7,85	64,64

Nota. La tabla muestra los resultados del cálculo de porcentajes de humedad de cada almidón extraído, empleando la ecuación 2.

2.5.2 Caracterización cuantitativa de cenizas

El contenido de cenizas es un residuo que resulta de la quema de materia orgánica, su importancia radica en que permite determinar la calidad y la resistencia de un material. se puede calcular en función de la reducción del peso de las muestras durante el proceso de combustión a temperaturas altas según el método de la AOAC 2002 [56].

Las muestras obtenidas en la extracción de almidón fueron colocadas en crisoles previamente pesados, estos son llevados nuevamente al desecador para posteriormente ponerlos en una mufla, en la cual se incinerarán las muestras a una temperatura de 500°C – 600°C por aproximadamente 3 horas. Análogamente, fueron retiradas de la mufla y finalmente pesadas para la determinación de cenizas por diferenciación a partir

de la siguiente ecuación:

Ecuación 3

Determinación de la cantidad de cenizas

$$\%Cenizas = \left(\frac{MRAC(g) - MR(g)}{MA(g)} \right) \times 100$$

Donde

MRAC = Masa en gramos del recipiente y la muestra

calcinada MR = Masa en gramos del recipiente

MA = Masa en gramos de la muestra húmeda

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del porcentaje de cenizas de la muestra [55]. Tomado de: S. H. F. Martins, K. V. Pontes, R. L. Fialho, and F. M. Fakhouri, "Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications," *J. Agric. Food Res.*, vol. 8, p. 100303, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JAFR.2022.100303.

La determinación de cenizas en una muestra permite evidenciar la pureza y el índice de calidad que tiene el almidón, además, representa la cantidad de minerales y sales remanentes que quedaron producto de la extracción y del contenido de minerales de la materia prima [57]. Por ende, Cuanto mayor sea el contenido de ceniza, mayor será el mineral contenido en el material [58].

El porcentaje de cenizas hallado experimentalmente para cada una de las pruebas se puede ver en la tabla 16.

Tabla 6

% Cenizas de almidón extraído por los dos métodos

Materia prima y método	Peso crisol (g)	Masa final (g)	Temperatura °C	%Cenizas	Imagen
---------------------------	--------------------	-------------------	----------------	----------	--------

Semilla de aguacate (Método húmedo, 2g BS)	70,726	70,737	500	0,28%	
Semilla de aguacate (Método húmedo, 5g BS)	76,893	76,913	500	0,5%	
Semilla de aguacate (Método húmedo, 10g BS)	81,854	81,880	500	0,65%	
Semilla de aguacate (Método seco)	78,982	79,080	500	2,45%	

Nota. La tabla muestra los resultados de los cálculos de porcentajes de cenizas de cada almidón extraído, empleando la ecuación 3.

A partir de los resultados obtenidos en fuentes bibliográficas, el contenido de cenizas encontrado en el almidón extraído es de $2,26 \pm 0,23$ % según los datos reportados por Ejiófor [59]. Mientras que, el valor encontrado por Cornelia es de 0,97% [60]. Esta comparación indica la menor cantidad de residuo inorgánico que se encuentra en la muestra, este se compone principalmente de minerales. Para este trabajo, el porcentaje obtenido de cenizas experimentalmente corresponde a 0,28%, 0,5% y 0,65% siendo menor a los encontrados en la literatura lo que indica que el almidón es de buena calidad, dado que tiene una cantidad mínima de residuos inorgánicos a diferencia del almidón extraído por el método seco ya que se tiene un valor de 2,45% debido a que no solo contiene almidón. Por último, es importante mencionar que para todas las pruebas se tomó una muestra de 4 gramos de almidón y el porcentaje de cenizas se calculó con la ecuación descrita en el apartado anterior.

2.5.3 Prueba de verificación de almidón (Prueba de Yodo)

Es una prueba cualitativa a partir de una solución de yodo y yoduro potásico, donde al reaccionar el yodo con el almidón toma un color azul profundo o azul violeta [42]. Es básicamente una reacción química que se usa para determinar la presencia de almidón u otras alteraciones de este mismo. La reacción que se produce es el resultado de la formación de cadenas de poliyoduro partiendo de la reacción del almidón con el yodo presente en la solución del reactivo conocido como Lugol. La amilosa (componente del almidón) presenta un color azul oscuro a negro cuando forma hélices a las cuales se unen las moléculas de yodo [61].

Para llevar a cabo la prueba de yodo, inicialmente se toma una muestra de almidón resultante de las dos etapas anteriores extracción de almidón por el método húmedo (Alcalina) y extracción de almidón por el método seco y se adicionan a un vidrio de reloj. Posteriormente, a la muestra que se extrajo anteriormente, se le adiciona unas gotas de disolución de yodo con la finalidad de obtener un color púrpura, con esto se evidencia que la muestra es almidón. Cabe resaltar, que antes de se puede hacer una disolución con agua destilada. Con base en los siguientes resultados, se observa si el producto extraído de las semillas de aguacate es realmente almidón, para esto se toma una muestra de 3 g de almidón y se disuelve en 10 ml de agua destilada la cual se precalentado, luego se dejó enfriar la solución y se agregaron cuatro gotas del reactivo yodo-yoduro potásico, obteniendo los siguientes resultados:

Figura 22

Prueba de Lugol para cada uno de los almidones extraídos

<u>Materia prima y método</u>	<u>Tiempo</u>	<u>Resultado</u>	<u>Color Imagen</u>
Semilla de aguacate (Método húmedo, 2g BS)	Inmediato	Positivo	
Semilla de aguacate (Método húmedo, 5g BS)	Inmediato	Positivo	
Semilla de aguacate (Método húmedo, 10g BS)	Inmediato	Positivo	
Semilla de aguacate (Método seco)	Inmediato	Positivo	

Nota. La tabla muestra los resultados de la prueba de almidón usando yodo como reactivo.

En la tabla anterior, se puede evidenciar el cambio de coloración que tienen las muestras de almidón de semilla de aguacate las cuales tomaron un color azul oscuro, esta variación nos indica un resultado positivo en cuanto a la presencia de almidón en las muestras. Cabe aclarar, que el color depende de los componentes principales del almidón como lo son la amilosa y la amilopectina, la primera de ellas tiene cadena lineal y forma hélices donde se unen las moléculas de yodo y se forma el color azul oscuro a negro. De modo que, el almidón obtenido con las diferentes formulaciones de bisulfito de sodio tiene mayor presencia de amilosa que de amilopectina dado que si fuera mayor el

contenido de este último, el color que se obtendría sería un azul violeta.

A través de la revisión bibliografía se seleccionó cuál de los métodos de extracción de almidón era el más adecuado, la matriz de PUGH se realizó teniendo en cuenta parámetros como disponibilidad de equipos, costos del proceso, rendimiento, uso del método en la industria, peligrosidad entre otros. Al finalizar se le dio un peso a cada una de estas variables lo que arrojó un valor de 9 para el método húmedo y de 7 para el método seco siendo estos dos los más favorables y eficientes.

La extracción del almidón de la semilla del aguacate se hizo con el fin de aprovechar al máximo lo que se considera como un residuo y el cual es normalmente desechado al consumir la pulpa. A través de los dos métodos seleccionados para la extraer el almidón, se pudo evidenciar que el método seco presenta un rendimiento más alto, del 22,5% en base seca en comparación a los resultados obtenidos por el método húmedo en el cual el mayor valor obtenido es de 11,16% en base seca. Es importante mencionar que en el método húmedo se hizo una variación de la cantidad de Bisulfito de sodio en el rango de 2g a 10g con la finalidad de observar cómo influía este en la cantidad de almidón obtenido.

El obtener un mayor rendimiento con el método seco se le atribuye a que este no requiere de muchas operaciones unitarias lo cual disminuye la cantidad de desperdicios, logrando un mayor aprovechamiento de la materia prima. Otra de las pruebas realizadas para caracterizar el almidón fue el cálculo del porcentaje de humedad, en el cual se infiere que el método seco presenta un valor del 64,64%, mientras que el menor valor obtenido de las tres formulaciones del método húmedo es de 75,15% siendo mucho mayor para este último debido a la cantidad de lavados a la que es sometida la muestra. Asimismo, también se calculó el porcentaje de cenizas para cada uno de ellos, arrojando 2,45% para el método seco y el mayor valor reportado del método húmedo es de 0,65% siendo este mucho menor que el primero debido a que el almidón tiene una mejor pureza. Por último, se realizó la prueba de Lugol o yodo con el fin de corroborar la presencia de almidón en las muestras lo que arrojó un color azul oscuro o negro que indica que la prueba es positiva.

3. SÍNTESIS DE LA BIOPELÍCULA USANDO EL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA SEMILLA DE AGUACATE

Mediante una revisión bibliográfica exhaustiva se realizó una comparación entre los diferentes procesos encontrados para la obtención de una biopelícula, empleando cualquier material orgánico como materia prima. Para este capítulo, luego de evaluar cada proceso y seleccionar uno de ellos, se procura establecer las etapas, parámetros y variables que afecten directamente el proceso de obtención de una biopelícula, y con esto, encontrar la formulación más adecuada que relacione la composición de almidón, el contenido de aditivos y demás componentes que pueden ser determinantes para las características finales de la película esperada.

En este capítulo se realizan diferentes formulaciones y se hace un análisis bibliográfico de los aditivos más usados para la elaboración de una biopelícula, para su obtención se usará el método “casting” o vaciado en la caja que consiste en verter el líquido en un molde almacenado a ciertas condiciones para poder formar el material rígido que toma la misma forma del molde a utilizar. Las ventajas de este método es que hay una distribución uniforme del espesor, las biopelículas tendrían una excelente planitud y estabilidad dimensional, por otro lado, se escogió este procedimiento dado que se puede realizar con facilidad sin necesidad del uso de equipos industriales, para esto se tiene en cuenta la metodología planteada por A. Chapuel y J. Reyes [7].

3.1 Proceso de obtención de Biopelícula Casting o proceso tradicional

Es un método tradicional también conocido como método Casting es el más simplificado de los estudiados pues no requiere ninguna alteración química del almidón, ni controles de condiciones de temperatura o presión, es decir, puede ser considerado un proceso prácticamente artesanal; en el cual luego de que se tiene preparada la solución de los componentes de la biopelícula, se realiza la evaporación del solvente a temperatura y humedad controladas [45].

Asimismo, a partir de este método se pueden obtener películas con menores valores de permeabilidad al vapor de agua y de solubilidad, propiedades que son apetecibles

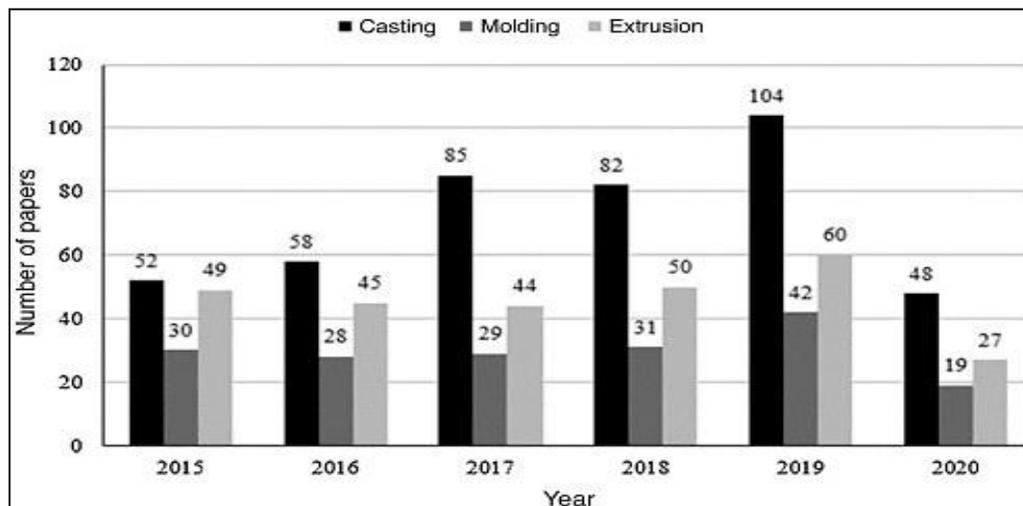
cuando las películas se quieren utilizar en contacto con alimentos cuya humedad se pretende mantener constante. Sin embargo, el problema principal de los distintos prototipos desarrollados por este método es el agrietamiento de las láminas [62].

Esta técnica utiliza un molde al cual se le añade una mezcla hasta obtener una consistencia rígida que se acopla a la forma del recipiente. Este método tiene dos pasos fundamentales; el primero la mezcla del almidón de la semilla de aguacate (materia prima) con el agua (hidratante y plastificante) y el segundo es la mezcla con los demás plastificantes (glicerol, agua) y además un modificador químico con el fin de promover el rompimiento de las cadenas de amilopectina y de este modo otorgarle al producto propiedades físicas y mecánicas [26]. Cabe resaltar, que durante el proceso se debe agitar la mezcla manualmente y aumentar la temperatura hasta favorecer la gelatinización.

A partir de la siguiente figura se puede inferir que el método más usado en los últimos años es el casting dado que, requiere de menos equipos [63].

Figura 23

Comparación de tres métodos de producción de biopelículas



Nota. Esta figura permite evidenciar el comportamiento de tres métodos de producción de biopelículas entre 2015 y 2020. Tomado de: L. do Val Siqueira, C. I. La Fuente Arias, B. Chierigato Maniglia, and C. C. Tadini, "Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 38, pp. 122–130, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.COFS.2020.10.020.

Teniendo en cuenta los diferentes estudios en los que se aplica este método, se puede evidenciar que la producción de la biopelícula no requiere de equipos de alta gama, lo que facilita su obtención a nivel de laboratorio. De la misma manera, se encuentra que el tiempo promedio para su elaboración es de 15 a 30 minutos aproximadamente a diferencia del secado que tarda entre 36 y 48 horas a temperatura ambiente.

3.2 Aditivos para biopelículas

Los aditivos son aquellos materiales que se añaden a la formulación de las biopelículas con el fin de modificar y mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y de proceso entre otras características especiales. Dentro de ellos se pueden encontrar los siguientes:

3.2.1 *Plastificantes*

Son sustancias estables y no volátiles con un alto punto de ebullición. Estos compuestos tienen como finalidad suavizar la estructura rígida de los biopolímeros y son primordiales en la formación de biopelículas dado que estas afectan tanto las propiedades mecánicas como la permeabilidad, modificando la estructura y la movilidad de la cadena y los coeficientes de difusión de gases y agua al disminuir las fuerzas intermoleculares e intramoleculares. Por otro lado, los plastificantes brindan beneficios al proceso debido a que aumenta la flexibilidad. El principal compuesto que se utiliza como plastificante es el glicerol [64].

3.2.1.a Glicerol. Es un alcohol con tres grupos hidroxilos con un coeficiente de viscosidad alto, no tiene color, es fácilmente soluble en agua el cual se descompone en ebullición. Es el plastificante más usado dado que reduce la fragilidad y ayuda a mejorar la flexibilidad de la película. Además, es de bajo peso molecular y un buen modificador de interacciones entre macromoléculas ya que ayuda a aumentar la movilidad de las cadenas de los polímeros, sin embargo, esto afectaría la permeabilidad de vapor de agua y gases por lo cual es hidrófilo e higroscópico [65].

Es un agente suavizante para los almidones y es efectivo para plastificar debido a que su estructura posee cadenas cortas y es de bajo peso molecular, por ende, se consideran

apropiados para dicha función en comparación a los que tienen cadenas largas o pesos moleculares altos. La concentración del glicerol es una variable importante en la solubilidad de las películas dado que es una molécula hidrofílica y es compatible con los biopolímeros así que, a mayor concentración, la solubilidad se favorece [17].

3.2.1.b Sacarosa. La sacarosa se caracteriza por ser un disacárido formado por glucosa y fructosa, su fórmula molecular es $C_{12}H_{22}O_{11}$ es una sustancia soluble en agua y sus propiedades químicas más destacables son las siguientes: no es reductora y se hidroliza rápidamente [66]. Suele usarse como plastificante para biopelículas a partir de almidón ofreciendo los siguientes resultados, disminuye la resistencia a la tensión, aumenta la elongación y las películas son menos permeables al vapor [67].

3.2.1.c Sorbitol. Es un alcohol poli hídrico que sirve como endulzante al igual que la sacarosa, se puede encontrar en muchos vegetales y frutas, pero industrialmente se obtiene a través de la reducción de glucosa [68]. Es usado como plastificante, a medida que se aumenta la proporción de sorbitol, aumenta la rugosidad y consigo las imperfecciones presentes, así como la separación de fases y aumento de gránulos de almidón, en otras palabras, se muestra una superficie altamente heterogénea anti plastificante [69].

3.2.1.d Ácidos Carboxílicos. Los ácidos carboxílicos tienen facilidad de formar puentes de hidrogeno por su grupo funcional carboxilo (COOH), dentro de estos podemos encontrar el ácido oxálico, succínico y adípico los cuales tienen diferentes tamaños en su cadena carbonada. Se suelen emplear como plastificantes de biopelículas, en donde el tamaño de la cadena de ácidos influyó en las propiedades térmicas y estructurales de las películas, siendo el ácido succínico el más reactivo ya que, tiene una mayor interacción con el almidón [70].

Cuando la cadena carbonada tiene un solo grupo carboxilo se llaman ácidos grasos y se obtienen por hidrolisis de las grasas, estos disminuyen la permeabilidad al agua de las películas debido a su naturaleza apolar y ayudan a retardar el envejecimiento del material [67].

3.2.2 Antioxidantes

Para prevenir la degradación termo-oxidativa en un plástico o película biodegradable que dan como resultado grietas, marcas, cambios de color y pérdida de propiedades físicas, es necesario utilizar antioxidantes, que actúan de una forma específica para prolongar el tiempo de vida útil del material y evitar su degradación [71]. A continuación, se muestran los antioxidantes más utilizados:

3.2.2.a Ácido ascórbico. El ácido ascórbico es una vitamina esencial también conocida como Vitamina C, se sintetiza químicamente a partir de la glucosa y es un importante agente antioxidante. Su fórmula molecular es $C_6H_8O_6$ y su forma natural es un isómero L, tiene propiedades acidas y altamente reductoras [72].

En la fabricación de plásticos ayuda a generar la reacción química que produce el plástico ya que permite ensamblar cadenas más rápidamente y con menos residuos [73].

3.2.2.b Ácido cítrico. Se considera un buen conservante y antioxidante natural que se añade como aditivo, su fórmula empírica es $C_6H_8O_7$, se suele usar como aditivo ya que posee varios grupos carboxilos que pueden interactuar con los hidroxilos del almidón y así mejorar sus propiedades de barrera con el agua, también se puede prevenir la recristalización y la retrogradación.

El ácido cítrico también disminuye la rugosidad superficial y grietas de las películas ya que promueve la fragmentación y disolución de los gránulos de almidón, que con ayuda de las condiciones de cizalla y el glicerol le dan una apariencia más homogénea y menos frágil [74].

3.2.2.c Metabisulfito de sodio. Es un polvo blanco ligeramente cristalino con fórmula molecular $Na_2S_2O_5$, se caracteriza por ser un compuesto inorgánico muy usado en la industria de alimentos como aditivo, puede ser un antioxidante o conservante y ayuda a prevenir la rancidez, se suele usar en para el tratamiento de alimentos, frutas y almidones. En la industria de plásticos se suele emplear como coagulante [7].

3.2.3 Conservantes

Son sustancias utilizadas para minimizar la presencia de moho, bacterias, microorganismos y

levaduras se suelen emplear en la industria de alimentos como aditivos para su conservación.

3.2.3.a Sorbato de potasio. Es un agente microbiano capaz de retrasar la formación de microorganismos en los alimentos ayuda a conservar su color, textura y valor nutricional, posee una solubilidad mayor que la del agua se conoce industrialmente como sal de ácido sórbico su fórmula molecular es $C_6H_7KO_2$ [7]. Reduce los niveles de humedad y agua, pero aumenta la acidez latente.

3.2.3.b Ácido acético. Es el componente principal del vinagre, su fórmula empírica es CH_3COOH se denomina ácido etanoico, se encuentra en estado líquido y es de gran relevancia debido a las propiedades conservativas que brinda por su grado de acidez permitiendo así prolongar por más tiempo los alimentos, ya que frena el crecimiento de los microorganismos.

Permite descomponer la amilopectina de los almidones, para que el almidón quede con largas cadenas rectas que permiten obtener un buen plástico [7]. Esta sustancia también disminuye el tamaño de los gránulos de almidón y estabiliza el PH de la película biodegradable.

3.2.4 Copolímeros

Los copolímeros son macromoléculas que se componen de dos o más unidades (monómeros) repetitivas, los cuales se pueden unir de diferentes maneras por enlaces químicos, para películas biodegradables se suelen usar copolímeros hidrofílicos como el polivinilalcohol y acetato de vinilo, donde su principal función es actuar como agente de compatibilidad. Se estima que el almidón tarda alrededor de 40 días para su degradación y la biopelícula de 2 a 3 años [37]. Por otro lado, el ácido acrílico y etileno le aportan las siguientes propiedades a las biopelículas, flexibilidad y degradabilidad con resistencia a la exposición del aire durante un tiempo determinado [75].

3.3 Materias primas

Para la elaboración de una biopelícula, ya sea a escala piloto o a nivel de laboratorio, hay que tener en cuenta que estos procesos tienen una gran influencia en la obtención de otras materias primas, para este caso en particular el componente principal es el almidón obtenido de la semilla de aguacate con el cual al final se espera obtener una biopelícula de alta calidad. Por esta razón, al momento de extraer este material es

importante tener en cuenta las condiciones de operación ya que de esto depende la calidad de nuestro producto deseado. Teniendo en cuenta lo anterior, se debe tener un control riguroso al estudiar las condiciones de operación óptimas para cada uno de los procesos involucrados en la extracción y síntesis de este y con esto, se espera al final reducir las pérdidas que se pueden generar al tener en cuenta la cantidad usada inicialmente.

3.3.1 Almidón de semilla de aguacate

El almidón que se empleara para la elaboración de la película biodegradable es el extraído de la semilla de aguacate por medio del método húmedo como se muestra en la Tabla 8. A continuación se especificaran los aditivos que se usaran para la elaboración de esta.

- Plastificantes: Glicerina y agua.
- Conservantes: Ácido acético.
- Antioxidantes: Ácido cítrico.

3.4 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas con semilla de aguacate

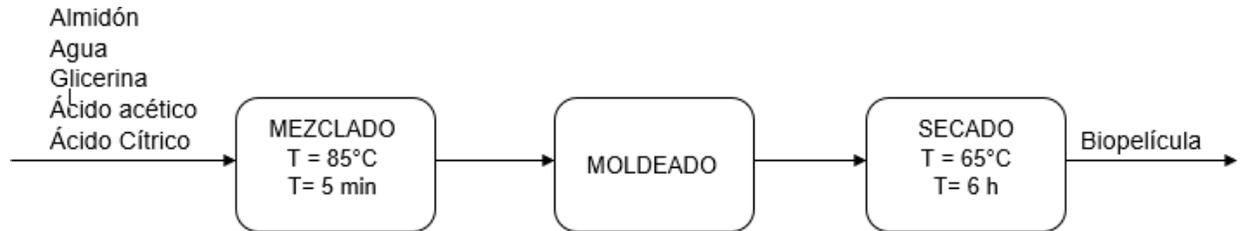
Las pruebas preliminares para la elaboración de la biopelícula se realizaron con la finalidad de evaluar las concentraciones de almidón de semilla de aguacate, el porcentaje de agua, glicerina, ácido acético y ácido cítrico. Asimismo, se realizan con el objetivo de evidenciar cuál de ellas presenta mejores condiciones y forma, es decir, no se cuartea ni se forman grumos característicos importantes para definir las variables óptimas para el diseño de experimentos.

Para el proceso de elaboración de las biopelículas se adaptó el método de vaciado que

se puede representar mediante la siguiente figura:

Figura 24

Representación del método de vaciado para la elaboración de la biopelícula



Nota. La figura muestra las etapas del método seleccionado para la elaboración de la biopelícula a partir del almidón extraído de la pepa de aguacate.

Para la elaboración de la película es necesario tener en cuenta, las siguientes etapas:

- Gelatinización de almidón: Se pesa cierta cantidad de almidón de semilla de aguacate y esta se mezclará con agua destilada, ácido acético, ácido cítrico y el glicerol en un vaso precipitado, con agitación constante. La mezcla pasará a un proceso de baño termostático con agitación constante hasta que se pueda observar una consistencia pastosa a una temperatura de 85°C [76].
- Secado: La mezcla se coloca en papel de horno extendiendo una capa bastante fina para dejar secar en estufa a 65°C por 6 horas.
- Almacenamiento: Una vez secas y con una temperatura inferior a los 65°C Se desmolda con cuidado para almacenar la lámina del plástico.

Para la formulación de una biopelícula que tenga características comparables a las de un polímero convencional es fundamental tener en cuenta la temperatura a la que se alcanza la gelatinización ya que esta tiene una relación directamente proporcional a la concentración de almidón a emplear en cada muestra. Además, con el fin de suplir cualquier falencia que se presente en la estructura del material polimérico se busca un material que refuerce sus propiedades, como el uso de conservantes y antioxidantes.

En el proceso de gelatinización de la mezcla, es conveniente tener en cuenta que la agitación se hace de forma manual y continua, con el propósito de facilitar la evaporación

del agua que se encuentra formando parte de las mezclas realizadas previamente y además, asegurar la homogenización de todos los materiales que forman parte del biopolímero; por tal motivo, se debe garantizar el control del tiempo de gelatinización en las diferentes formulaciones establecidas, la temperatura a la que se someterá la mezcla, y las condiciones a las que se secará el producto, todo esto con el fin de garantizar la evaporación total del agua y que el porcentaje de humedad sea realmente bajo para poder tener una biopelícula con propiedades capaces de resistir pruebas de tracción y dureza.

Para la elaboración de biopelículas, es primordial incluir en la formulación un plastificante que genere cohesión en las cadenas poliméricas y aumente la movilidad molecular reforzando las propiedades mecánicas dado que las películas por lo general son frágiles, poco elásticas y quebradizas [77]. Los plastificantes tienen la capacidad de crear puentes de hidrógeno en las cadenas poliméricas de estas reduciendo las limitaciones anteriormente mencionadas.

Para la formulación de la biopelícula basada en almidón de la semilla de aguacate se utiliza glicerol dado que es un agente suavizante para los almidones y es efectivo para plastificar debido a que su estructura posee cadenas cortas y es de bajo peso molecular, por ende, se consideran apropiados para dicha función, además, es un plastificante hidrofílico compatible con el material polimérico de la película y confiere la capacidad de absorber moléculas polares [67]. Por otra parte, para reforzar el almidón se utilizaron dos aditivos más como lo es el ácido acético y el ácido cítrico dado a que se utilizan como agentes orgánicos de reticulación para películas de almidón puesto que forman enlaces de hidrógeno con el almidón para mejorar la estabilidad térmica de la biopelícula.

El trabajo experimental fue dividido en dos etapas. En la primera se buscó una formulación apropiada a partir de las materias primas ya mencionadas para ello se evaluaron las siguientes formulaciones, cabe aclarar que el punto de partida para la primera formulación se tuvo en cuenta las cantidades que se agregaron en el artículo "Preparation and characterization of citric acid crosslinked starch based Bioplastic" [78].

Además, se hizo un estudio bibliográfico y se escogió las formulaciones de los trabajos de grado en la cuales se obtuvieron mejores resultados [79]. Para seleccionar la

biopelícula con una mejor textura, apariencia física y buena elasticidad como se evidencia a continuación:

Tabla 7

Formulaciones preliminares para elaborar las películas biodegradables

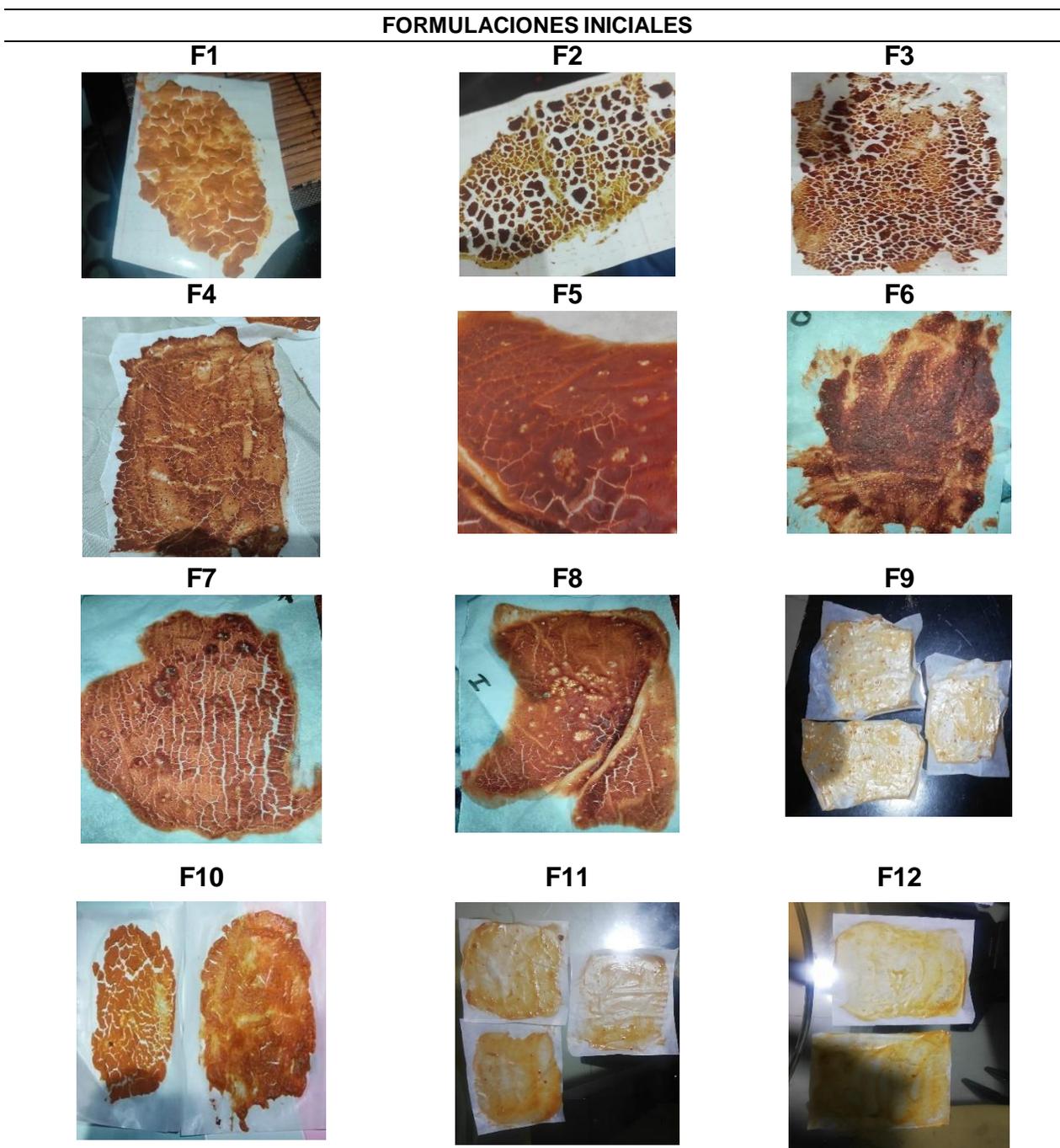
Formulación	Almidón de semilla de aguacate (g)	Agua (g)	Ácido acético 5% (g)	Glicerol 99% (g)	Ácido cítrico (g)	Alcohol polivinílico (g)
F1	18	200	3	5	-	-
F2	18	200	-	5	3	-
F3	15	100	25	10	-	-
F4	30	198	19,8	19,8	-	-
F5	20	198	21	25	-	10
F6	30	60	10	20	-	20
F7	20	120	10	20	-	10
F8	20	125	10	15	-	5
F9	10	100	10	10	-	-
F10	9	100	7	3	-	-
F11	10	100	15	20	-	-
F12	8	100	30	10	5	-

Nota. La tabla muestra las doce formulaciones preliminares diferentes para elaborar la biopelícula.

A partir de las formulaciones planteadas se procede a realizar las biopelículas, los resultados obtenidos se pueden evidenciar en la tabla 19.

Figura 25

Resultados de las pruebas preliminares para la obtención de las biopelículas



Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos con las formulaciones preliminares para la obtención de las biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate.

Para las formulaciones F1, F2, F3, F4, F5, F7, F8 y F10 los resultados no fueron

satisfactorios dado que la formación de las biopelículas no fue estable, no tuvieron facilidad de moldeo y no existió una estabilidad en ellas debido a las altas concentraciones de agua. En comparación con las formulaciones F6 en la cual se obtuvo una mejor consistencia, pero en ciertas partes de la película había grumos de alcohol polivinílico que no se disolvió correctamente en la mezcla. En cuanto a las formulaciones F9, F11 y F12 se puede evidenciar que son las películas de mejor textura, en estas se tienen concentraciones de almidón de 8% y se observa que al mantener valores inferiores del 10% se obtienen formulaciones con mejor consistencia y sin agrietamientos.

En la segunda etapa se tomó como base la mejor biopelícula obtenida en la primera fase, que fue la que presentó mejor consistencia y no se cuarteó, a partir de esta se realiza el diseño experimental.

3.4.1 *Diseño de experimentos*

Teniendo en cuenta los procesos revisados previamente para la formulación y los cuales se toman como base de referencia para realizar este tipo de estudio, indican que se deben realizar diferentes pruebas con la finalidad de determinar a partir del diseño de experimentos cuál de las formulaciones permite obtener una mejor biopelícula teniendo en cuenta las cuatro pruebas de caracterización, de esta manera se encuentra que, en algunos de ellos evalúan el efecto que tiene la variación de factores como el contenido de ácido acético y glicerina; al terminar cada una de las formulaciones, se tiene como fin hacer diferentes pruebas de resistencia mecánica a las películas obtenidas con el objetivo de analizar si estos productos podrían ser aptos para ser empleados en la industria y de este modo evidenciar cuál de las formulaciones aplicadas es la de mejores características.

Por lo tanto, para tener más claro el proceso de preparación de la película de bioplástico a partir de almidón extraído de semillas de aguacate, se plantea un diseño de experimentos de dos factores, tres niveles y una réplica por cada experimento realizado (con el fin de tener resultados representativos para cada análisis), en el cual se toma como primera variable controlable la concentración de glicerina y la segunda variable la concentración de ácido acético en la biopelícula, obteniendo como variable de respuesta

la formación de la biopelícula (g). En la siguiente tabla se presenta el diseño de experimento establecido para las nuevas formulaciones. En este las variables independientes se varían en un rango de 20 a 30 g y se realizan las diferentes combinaciones entre cada una de ellas dando como resultado nueve formulaciones.

Tabla 8

Diseño de experimentos final para la elaboración de las biopelículas

Glicerol 99% (g)	Ácido acético 5% (g)		
	20	25	30
20	F11A	F11B	F11C
25	F11D	F11E	F11F
30	F11G	F11H	F11I

Nota. la tabla permite evidenciar el diseño de experimentos establecido para las formulaciones finales

A partir del diseño realizado anteriormente, se especifican cada uno de los parámetros para tener en cuenta en las formulaciones finales como se evidencia en la tabla 9. En este, se mantiene constante la temperatura, el agua, almidón y la cantidad de ácido cítrico variando únicamente las variables ya indicadas.

Tabla 9

Nuevas formulaciones para la elaboración de la película biodegradable

Formulación	Temperatura (°C)	Almidón (g)	Glicerol 99% (g)	Agua (g)	Ácido acético 5%(g)	Ácido cítrico (g)
F11A	85	8	20	100	20	5
F11B	85	8	20	100	25	5
F11C	85	8	20	100	30	5
F11D	85	8	25	100	20	5
F11E	85	8	25	100	25	5
F11F	85	8	25	100	30	5
F11G	85	8	30	100	20	5
F11H	85	8	30	100	25	5

F11I

85

8

30

100

30

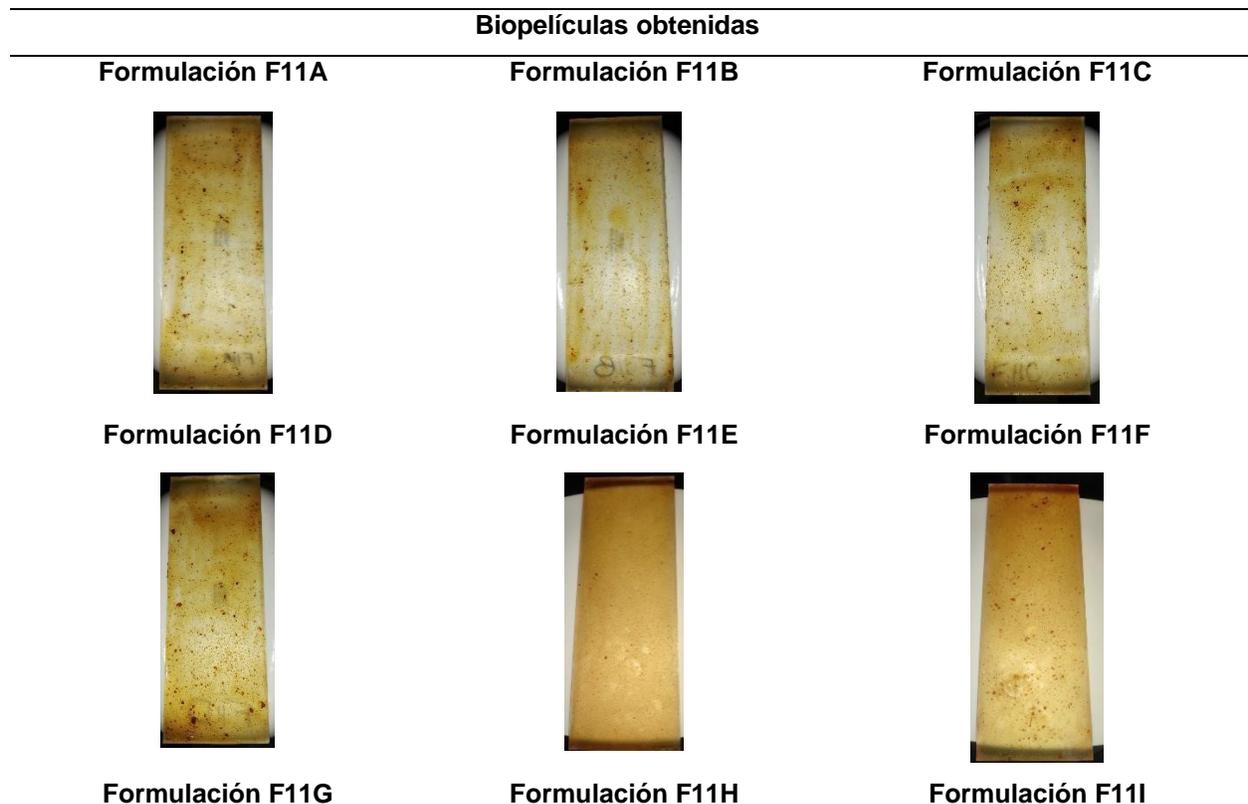
5

Nota. La tabla muestra las formulaciones finales para la elaboración de las biopelículas

Luego de pesar cada una de las cantidades descritas, se procede a formar una mezcla final a temperatura ambiente, para luego poner en la placa de calentamiento y aumentar su temperatura durante un tiempo específico hasta lograr su completa homogenización, durante este proceso de calentamiento se mantiene agitación manual, la cual puede ser magnética y se mide constantemente la temperatura por aproximadamente tres minutos hasta alcanzar la gelatinización de la mezcla.

Figura 26

Biopelículas resultantes a partir del diseño de experimentos





Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de cada una de las formulaciones establecidas a partir del diseño de experimentos

Análogamente, el material resultante se distribuye sobre placas de acrílico las cuales permiten un completo secado de las muestras extraídas, Además, estas placas posteriormente facilitarán el desmoldado de las probetas obtenidas una vez alcanzado el tiempo óptimo de secado, este proceso se realizó inicialmente a una temperatura de 40°C por un tiempo aproximado de 7 a 8 horas.

De esta manera, las variaciones en la composición y la ejecución de cada una de las muestras se evidencian en la tabla 18 y los resultados de las diferentes placas de plástico obtenidas a partir del almidón extraído se muestran en la siguiente tabla anterior.

A partir de la tabla 22, se puede observar que con el almidón extraído por el método húmedo se obtiene una película de bioplástico con una textura menos rugosa dado que las operaciones unitarias a las que se somete este almidón hacen que se obtenga un producto mucho más fino, debido a que el procesamiento del almidón fue más cauteloso, dando como resultado una película biodegradable que posee características similares a los que son comúnmente comercializados.

Por otra parte, en la elaboración de las biopelículas se debe tener en cuenta que la temperatura juega un papel importante en cada una de las etapas realizadas durante la producción de este material, puesto que a partir de esta se evalúa el tiempo que tarda la mezcla en alcanzar el punto de gelatinización y, por ende, la eliminación parcial de la humedad del polímero, igualmente, gracias al efecto que tiene el mismo se evalúa cuánto tarda este producto en secar completamente.

Luego de su obtención y secado, las probetas se deben someter a análisis de las

propiedades físicas y mecánicas como lo son los ensayos mecánicos que se aplican comúnmente a este tipo de materiales teniendo en cuenta las normas ASTM que regulan las propiedades de este tipo de materiales.

3.5 Caracterización de las biopelículas

Para desarrollar e implementar las biopelículas es importante conocer las propiedades mecánicas y físicas que estas poseen, logrando obtener un bioplástico apto y de aplicación industrial.

3.5.1 Propiedades físicas

Las propiedades físicas permiten conocer el comportamiento de las películas frente a condiciones de manipulación que pudieran suscitar.

3.5.1.a Espesor. Las biopelículas son en su mayoría recubrimientos comestibles hidrofílicos, en el cual se ha encontrado una relación positiva entre la permeabilidad al vapor y el espesor de las películas. Se cree que a medida que aumenta el espesor, aumenta la resistencia a la transferencia de masa de este, de igual manera genera un aumento en la presión parcial del vapor de agua en equilibrio en la superficie inferior de la biopelícula [80]. Con la ayuda del calibrador pie de rey se determinó el valor del espesor de la película en varios puntos, además, los datos se corroboraron con la ayuda de un micrómetro para esto se tomaron las muestras de las probetas las cuales tienen una medida de 1cm x 27 cm.

Tabla 10

Espesor promedio de las biopelículas obtenidas

Formulación	Espesor promedio (mm)
F11A	0,370
F11B	0,580
F11C	0,360
F11D	0,490

F11E	0,430
F11F	0,350
F11G	0,560
F11H	0,540
F11I	0,400

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos al medir el espesor de cada una de las muestras con sus respectivas replicas.

A partir de los datos reportados en la bibliografía se puede concluir que estamos dentro del rango establecido por la norma ASTM y dentro de los resultados encontrados en otras experimentaciones en el cual se establece un valor de 0,42 mm [81], lo cual indica que cuanto mayor es el espesor, más resistentes a la tracción son las películas y mayor será su permeabilidad. Además, se puede evidenciar que los valores no varían significativamente dado que las cantidades de almidón usadas es la misma para todas las formulaciones pues el espesor de la película depende de la relación amilosa/amilopectina, asimismo, el obtener este parámetro nos permite tener una homogeneidad y uniformidad del material obtenido, dado que el espesor del bioplástico influye en la tensión del material y varía según su aplicación industrial.

3.5.1.b Densidad. Para determinar la densidad de las biopelículas inicialmente se tomó una muestra de cada una de ellas de aproximadamente 2,5 g para posteriormente ser introducidas en un vaso precipitado de 50ml, el cual contiene 25 ml de agua destilada, el valor del volumen se determina a partir del valor registrado una vez subió el nivel del agua, siendo este dato el volumen de la película en mililitros [82]. Para el cálculo de la densidad se tiene en cuenta la relación que hay entre la masa y el volumen como se evidencia a continuación:

Ecuación 4

Determinación de la densidad.

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

Nota. La ecuación presentada permite calcular la densidad de una biopelícula[83]. Tomado de: "Determinación de las densidades de un sólido y de un líquido, utilizando la balanza de Jolly." Accessed: Dec. 01, 2022. Available: [https://personales.unican.es/lopezqm/fbe/laspracticass/experim_201415/D_Balanzajolly\(mer\)14_15.pdf](https://personales.unican.es/lopezqm/fbe/laspracticass/experim_201415/D_Balanzajolly(mer)14_15.pdf)

Según los datos de la literatura, se evidencia que los valores de densidad obtenidos para biopelículas a partir de semillas de aguacate oscilan entre un valor de 0,342 g/ml con base a los datos reportados por Armijos, A. Mientras que, otro de los valores registrados es de 1.52 ± 0.06 g/ml [84].

Tabla 11*Densidad de las películas obtenidas a partir del diseño*

Formulación	Masa (g)	Volumen (ml)	Densidad (g/ml)
F11A	2,5	1,7	1,471
F11B	2,5	2,0	1,250
F11C	2,5	2,2	1,136
F11D	2,5	3,4	0,735
F11E	2,5	3,6	0,694
F11F	2,5	3,8	0,658
F11G	2,5	4,2	0,595
F11H	2,5	4,6	0,543
F11I	2,5	4,8	0,521

Nota. La tabla muestra los resultados de densidad obtenidos para cada una de las formulaciones realizadas a partir del diseño de experimentos.

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente se puede inferir que las formulaciones que obtuvo mayor valor de densidad es la F11A, mientras que las muestra F11I reportan un valor inferior, lo que indica que una biopelícula con menor densidad tendría un menor peso, favoreciendo así sus condiciones de comercialización. según la FAO (2007) establece una referencia del 1,560 g/mL, esto se ve influenciado por el tamaño de partícula, ya que mientras mayor sea el número de partículas finas mayor será la densidad que presentará el almidón, por lo tanto, los valores obtenidos se encuentran por debajo de lo recomendado. Sin embargo, estamos dentro de los datos obtenidos por otros autores.

Además, la densidad de los plásticos suele ser menor que la de otros materiales, por esto para su medición se utiliza el mismo método que con un material sólido en donde se mide la masa de una porción del sólido y se mide el volumen que esta desplaza en un líquido para saber su densidad [85].

La densidad de la película es menor y similar a la de algunos de los plásticos convencionales (Tabla 25) lo que indica que el bioplástico obtenido si puede llegar a reemplazar y competir con algunos de ellos debido a sus características.

Tabla 12*Densidad típica de plásticos convencionales*

Denominación DIN	Densidad típica (g/cm ³)
Poliamida PA (Ertalon / Nylatron / Tecast / Tecamid)	1,150
Polióxido de Metilo POM C Poliacetal - Acetal (Ertacetal / Tecaform)	1,410
Tereftalato de Polietileno Polyester PET (Arnite /Tecadur / Ertalyte)	1,380
Polietileno PE (Cestilene / Tecafine / PE-UHMW / PE- HD)	0,950
Polipropileno PP (Tecafine)	0,910
Cloruro de Polivinilo PVC rígido	1,420
Cloruro de Polivinilo PVC flexible	1,240
Metacrilato de Polimetilo PMMA (Tecacryl / Plexiglas / Resalit)	1,200
Policarbonato PC (PC1000 / Lexan / Makrolon / Tecanat)	1,200
Politetrafluoretileno PTFE (Tecaflon / Hostaflon)	2,180
Fluoruro de Polivinilideno PVDF (Tecaflon / Solef / Kynar)	1,780
Polietercetona PEEK (ketron Peek / Tecapeek / Victrex)	1,320 - 1,500
Polisulfona PSU (Tecason / Udel / Ultrason)	1,240
Polietersulfona PES (Tecason / Radel / Ultrason)	1,370
Polieterimida PEI (Ultem / Tecapei)	1,270
Poliimida PI (Vespel / Sintimid)	1,430 - 1,600
Polisulfuro de Fenileno PPS (Tecatron / Forton)	1,430
Polifenilsulfona PPSU (Tecason / Radel)	1,290
Polibenzimidazole PBI (Celazole PBI)	1,300
Poliamidaimida PAI (Torlon PAI / Ensinger PAI)	1,410

Nota. La tabla muestra las densidades que tienen cada uno de los plásticos convencionales de la industria. Tomado de: A. Garces and Y. Hernandez, "evaluación de películas poliméricas basadas en almidon de maíz, ácido poliláctico y polivinil alcohol como alternativa para la sustitución de polimeros convencionales a nivel laboratorio," Fundacion Universidad de America, Bogota , 2020. Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7790/1/6132199-2020-1-IQ.pdf>

3.5.1.c Solubilidad en agua. Determinar esta propiedad física es importante al momento de trabajar con biopelículas debido a que esta indica la capacidad de descomposición que posee al entrar en contacto con el agua, sin presentar una solubilidad alta no será resistente al líquido [86]. De igual manera, el estudio de la solubilidad de los polímeros en diferentes disolventes es muy importante a la hora de determinar su resistencia a determinados ambientes, así como en aplicaciones donde el polímero está en solución.

Por ende, el gran tamaño de las moléculas y la solubilidad de los polímeros es más compleja que la de los compuestos de bajo peso molecular. La forma de proceder la disolución es ya diferente y será más propensa a degradarse. Conocer esta propiedad permite establecer el uso final de la biopelícula y si se podrá aplicar como recubrimiento en alimentos con humedades bajas o altas [86]. De igual manera si la biopelícula presenta una solubilidad baja el potencial de ser usada como empaque o plástico de un solo uso será mayor

Ecuación 5

Determinación del porcentaje de solubilidad.

$$\%Solubilidad = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial seco}} * 100\%$$

Nota. La ecuación presentada muestra las variables para tener en cuenta para el cálculo del porcentaje de solubilidad. Tomado de: H. Palma-Rodríguez, R. Salgado-Delgado, D. Páramo-Calderón, A. Vargas-Torres, and M. Meza-Nieto, "Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche," *Scielo*, vol. 27, no. 1, pp. 26–33, Mar. 2017, doi: 10.15174/AU.2017.1215.

Para realizar la prueba de solubilidad en agua se utilizaron muestras de 1cm x 3cm y se registraron sus pesos iniciales, posteriormente se colocaron en un vaso de precipitado con 80mL de agua destilada por una hora y luego se secan en un horno con una temperatura de 90°C por 2 horas. Después de esto fueron secadas y pesadas para determinar el porcentaje de materia soluble, el cual se calculó con la ecuación descrita anteriormente en la cual se debe tener el peso inicial seco y el peso final seco que es el peso de la muestra recuperada después de 1 hora de inmersión, finalmente el porcentaje de solubilidad se expresa como la pérdida de peso.

Tabla 13*Porcentajes de solubilidad para cada ensayo*

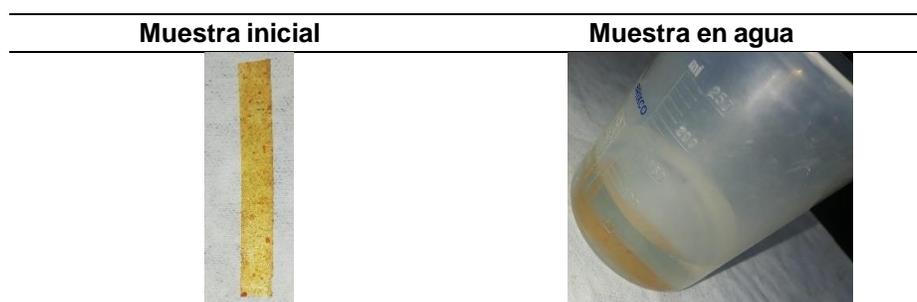
Formulación	Peso inicial seco (g)	Peso final seco (g)	% Solubilidad	Representación
F11A	0,556	0,302	45,683	
F11B	0,876	0,407	53,539	
F11C	0,762	0,444	41,732	
F11D	0,956	0,439	54,079	
F11E	0,602	0,339	43,688	
F11F	0,782	0,433	44,629	
F11G	0,834	0,551	41,006	
F11H	0,755	0,446	40,927	
F11I	0,772	0,454	41,192	

Nota. La tabla muestra la solubilidad en agua de cada una de las muestras estudiadas.

En la siguiente tabla se puede evidenciar algunas de las etapas para obtener la solubilidad en agua.

Figura 27 *Etapas de la prueba de solubilidad en agua*

Etapas de la prueba de solubilidad en agua



Nota. La tabla muestra las etapas iniciales para realizar la prueba de solubilidad en agua (Muestra inicial y muestra en agua).

En la imagen anterior, se evidencia un registro fotográfico de las primeras etapas, muestra inicial e inmersión de esta en agua las cuales son necesarias para el cálculo del porcentaje de solubilidad junto con la etapa de secado que se evidencia en la tabla 26.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 26, se observa que la biopelícula con un mayor porcentaje de solubilidad es F11D, mientras que la formulación F11H presenta un menor valor. De acuerdo con la bibliografía estudiada los valores de solubilidad para una película biodegradable a partir de semillas de aguacate son de $39,39\% \pm 8.75$ [84], por lo cual se puede inferir que estamos dentro del rango encontrado en la literatura.

El almidón, influye mayoritariamente en la solubilidad de la película, dado que, a mayor contenido de almidón, mayor solubilidad, sin embargo, se produce lo contrario con el plastificante, ya que, a mayor concentración de glicerina, existirá menor solubilidad. Asimismo, el índice de solubilidad en agua indica la cantidad de amilosa que se libera del interior del gránulo de almidón cuando comienza a perder su estructura por efecto del agua [84].

3.5.2 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material describen la manera en la que este se comporta bajo la acción de fuerzas externas o cargas continuas o discontinuas, dentro de estas propiedades se puede encontrar la elasticidad, plasticidad, maleabilidad,

dureza, fragilidad y otras que facilitan la caracterización de los materiales que son sometidos a las pruebas respectivas, a continuación, se describen las pruebas que se realizarán para cada una de las biopelículas.

3.5.2.a Resistencia a la tracción. Como se observó anteriormente, se planteó un diseño de experimentos que permitió la obtención de 9 formulaciones de biopelículas con diferentes composiciones de ácido acético y glicerina. Por lo tanto, cada una de ellas tienen diferentes características y texturas motivo por el que, se decide realizar esta prueba con el objetivo de identificar cuál de las probetas obtenidas es la más adecuada para sustituir un material de plástico sintético siendo competitivo frente a estos.

La resistencia a la tracción o elongación a la ruptura es la relación entre la longitud cambiada y longitud inicial después de la rotura de la probeta de ensayo. Expresa la capacidad de un material para resistir cambios de forma y sin formación de grietas. Para la medición en un material de tipo elastómero, se requiere utilizar un extensómetro para ejecutar con mayor precisión la elongación o estiramiento durante la fuerza aplicada; la prueba consiste en sujetar cada extremo de la muestra y se procede a estirla a una velocidad constante hasta quebrar la probeta. A medida que se ejerce el estiramiento se va midiendo la fuerza necesaria para el mismo.

Al ser un material plástico se deben estudiar fenómenos de deformación y tensión, para llevar a cabo la ejecución de esta prueba se tomaron probetas de dimensiones establecidas bajo la norma ASTM D-882 la cual establece el método de ensayo estándar de las propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas [88]. La norma sugiere que las probetas empleadas en el ensayo tengan dimensiones de 10 mm x 270 mm y que sus condiciones de espesor sean de 1 mm o menos este tipo de ensayo se realizó en una máquina universal de ensayos Modelo WDW-30, se puede apreciar en la figura 14.

Figura 28

Maquina Universal de ensayos



Nota. La imagen corresponde a la máquina de ensayo universal empleada durante la evaluación de las probetas que se obtuvieron de las distintas formulaciones. Tomado de: Máquina de prueba universal WDW series. [En línea] <https://www.directindustry.es/prod/jinan-hensgrand-instrument-co-ltd/product-197061-1976329.html> [Acceso diciembre 1.2022]

El ensayo aplicado para las probetas obtenidas en el laboratorio se realizó a condiciones normales de temperatura y humedad, es decir, a las condiciones a las que se encuentra el medio, se registraron datos de desplazamiento a ruptura, esfuerzo a fuerza máxima, deformación a ruptura y módulo de elasticidad de cada una de las muestras analizadas. De este modo, en la Tabla 28 se muestran los resultados para cada una de las probetas analizadas.

A partir de esto, se infiere que en su gran mayoría las formulaciones planteadas en el diseño de experimentos de este trabajo pueden llegar a resistir altos niveles de esfuerzo,

los cuales, para este caso en particular, son los valores de esfuerzo máximo aplicados en sus extremos por el equipo de ensayos universal, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 14

Resultados estrés máximo y porcentaje tensión máxima para cada ensayo

Formulación	Max_Force (N)	Max_Stress (N/mm ²)	Max_Strain (%)	Max_Disp (mm)
F11A	2,551	2,551	184,335	184,235
F11B	7,546	7,546	190,574	420,847
F11C	3,546	3,546	165,148	420,584
F11D	6,657	6,657	195,462	480,695
F11E	4,521	4,521	160,478	467,487
F11F	3,002	3,002	150,341	405,275
F11G	5,035	5,035	175,981	440,452
F11H	8,546	8,546	171,736	424,230
F11I	7,487	7,847	170,478	226,547

Nota. Resultados de los ensayos de resistencia a tracción y elongación bajo la norma ASTM D882 para cada una de las probetas.

Con relación a lo presentado en la tabla anterior en la donde se organizan los resultados registrados por la máquina de ensayos universal, en las figuras 8 y 9 se evidencia la manera en la que fueron aplicados los ensayos de tensión para una de las probetas debido a que el ensayo se realiza de manera similar en cada una de las probetas, además en las figuras 10 se puede observar las probetas que obtuvieron un alto grado de resistencia.

Es importante mencionar que se hizo una sola replica para las pruebas de obtención de las biopelículas y caracterización de cada una de ellas. Además, para evidenciar mejor el comportamiento de los datos obtenidos anteriormente se procede a realizar su respectiva gráfica.

Figura 29

Ensayo de tensión en probetas

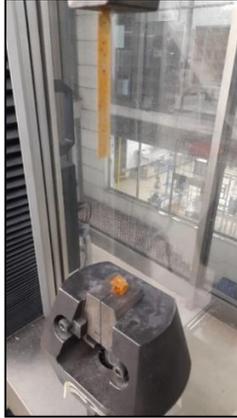


Nota. En la figura se puede identificar la probeta de la biopelícula durante el ensayo de resistencia a tracción y elongación.

A partir de la siguiente figura se puede evidenciar los resultados obtenidos en una de las probetas la cual no resistió y presentó ruptura.

Figura 30

Ensayos de tensión a probeta con fallo



Nota. La figura muestra el ensayo de tensión de una de las probetas que presentó fallos en su estructura durante la aplicación de este.

Con base a la figura 10, se puede observar que la probeta presenta un alto grado de elongación dado que, presenta una alta resistencia a la tracción por ende no presenta ruptura como se puede evidenciar a continuación:

Figura 31

Ensayos de tensión a probeta con alto grado de elongación



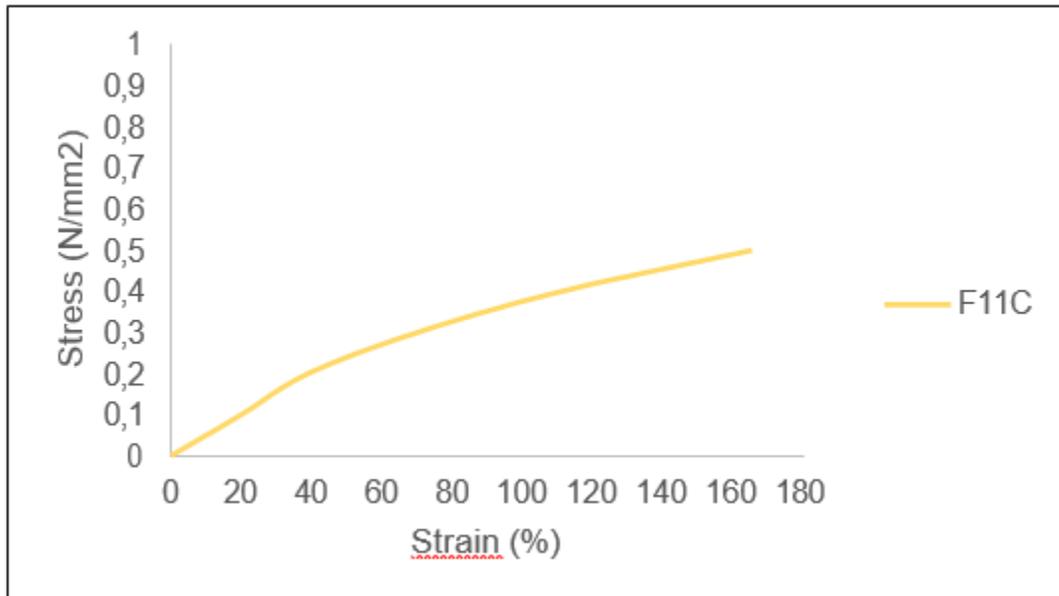
Nota. La figura muestra el alto grado de resistencia a tracción y elongación que presentaron algunas probetas.

Al realizar los ensayos de las pruebas mecánicas y registrar los datos que genera la

maquina universal, se puede determinar que cuatro de las formulaciones de estudio no resistieron a la fuerza a la que fueron sometidas por la máquina de ensayo, estas muestras corresponden a la F11A, F11C, F11F, F11E donde la fuerza máxima soportada fue de un valor de 2,551 N, 3,546 N, 4,521 N, 3,002N, respectivamente. Por otra parte, la formulación que obtuvo una mayor resistencia a lo largo del ensayo es la formulación F11H la cual soporto una fuerza máxima de 8,546 N seguida de la F11B con 7,546 N como se observa en la *Tabla 28*. Se puede inferir que las pruebas que no resistieron elevadas fuerzas de tracción tienen un módulo de elasticidad menor en comparación a las demás formulaciones, por otro lado, aquellas que tienen un módulo de elasticidad mayor tienen una buena resistencia a la deformación debido a las propiedades de los aditivos que componen la mezcla. A continuación, se ilustran las gráficas de deformación con respecto a la fuerza a la que se somete cada una de las probetas que obtuvieron una mejor resistencia (*Anexo 2*).

Figura 32

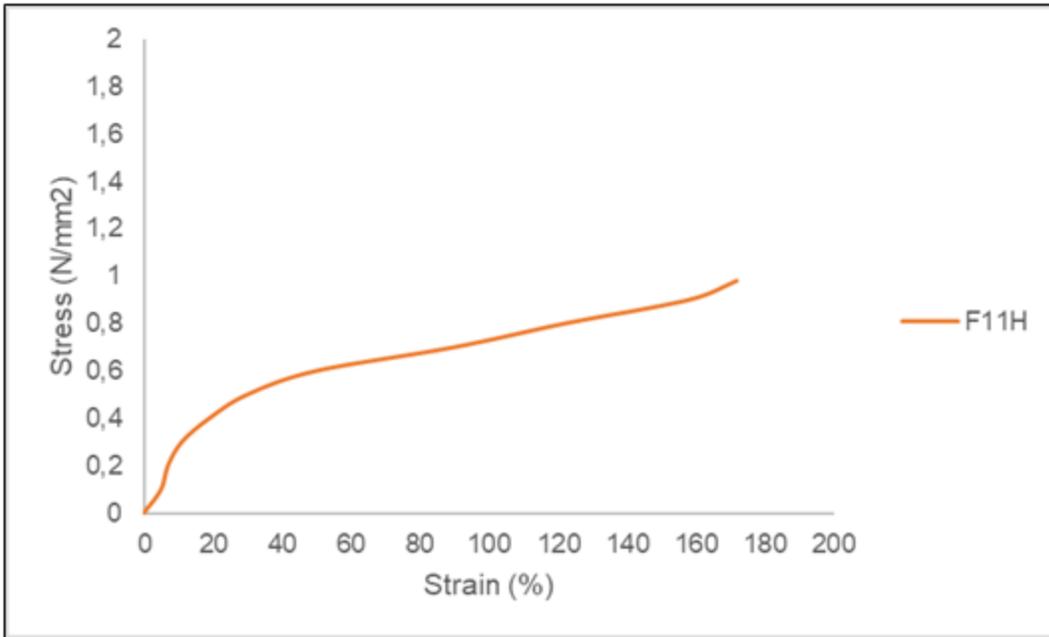
Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta con generación de ruptura



Nota. La gráfica muestra el punto máximo de la formulación F11C en la relación de desplazamiento de la probeta y la fuerza aplicada para una de las probetas que no resistió la máxima cantidad de fuerza ejercida durante el ensayo, la cual generó ruptura

Figura 33

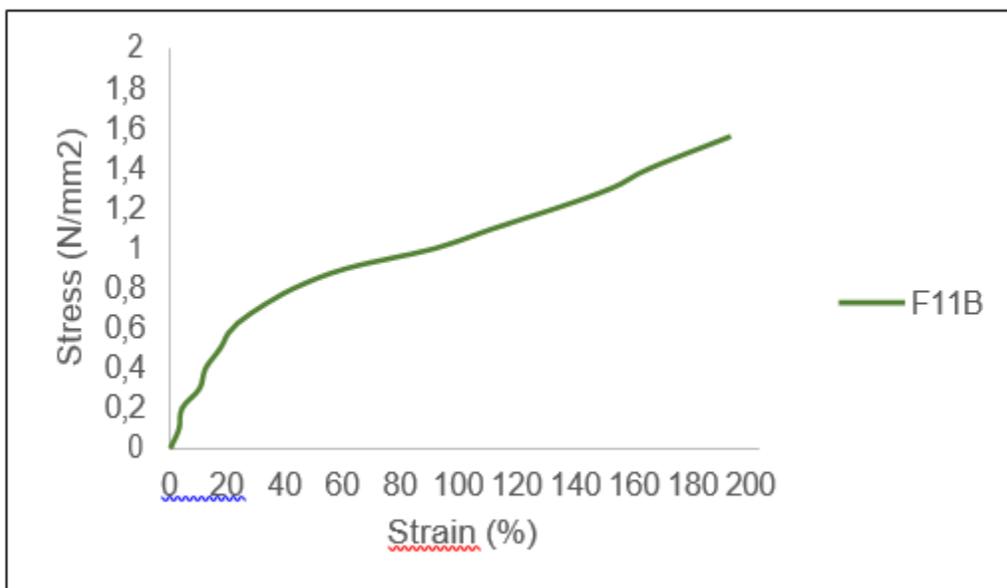
Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta sin generar ruptura F11H



Nota. La gráfica muestra el punto máximo de la formulación F11H en la relación de desplazamiento de la probeta y la fuerza aplicada para una de las probetas que resistió la máxima cantidad de fuerza ejercida durante el ensayo, la cual no generó ruptura

Figura 34

Gráfica de la fuerza máxima soportada por la probeta sin generar ruptura F11B



Nota. La gráfica muestra el punto máximo de la formulación F11B en la relación de desplazamiento de la probeta y la fuerza aplicada para una de las probetas que resistió la máxima cantidad de fuerza ejercida durante el ensayo, la cual no genero ruptura

Con los resultados se puede analizar que las formulaciones más resistentes son aquellas que contienen una concentración alta tanto en ácido acético como en glicerina dado a que, a mayor cantidad de estos aditivos la cantidad de almidón que se utiliza en el proceso es menor. Por otra parte, el ácido acético, el ácido cítrico y la glicerina se utilizan como un agente orgánico de reticulación y plastificante para biopelículas de almidón. Por lo tanto, estos aditivos le conceden a la mezcla propiedades como las descritas anteriormente. Al realizar una comparación de la carga máxima de ruptura de los plásticos convencionales se encuentra que los resultados obtenidos se asemejan al Butadieno-estireno y Butadieno-acrilonitrilo con un valor de 4-21 Mpa y de 5 Mpa [45].

Para la elaboración de la biopelícula se realizaron doce pruebas preliminares con el fin de evidenciar cuál de ellas tenía una mejor contextura siendo la F11 la de mejor consistencia y a partir de la cual se realizó el diseño de experimentos 3² en el cual las

variables controlables era la cantidad de glicerol y la cantidad de ácido acético. Una vez realizadas todas las formulaciones se observa que la biopelícula con mejores características es la F11B evidenciando que al usar cantidades mayores a 10g de almidón las películas tendrían a ser más frágiles. También es importante mencionar que la temperatura tiene un efecto significativo durante la preparación de la mezcla final, siendo 85°C la que permitía tener películas más resistentes y a la cual se alcanza el punto de gelatinización. Para realizar la caracterización de la biopelícula se tuvieron en cuenta propiedades físicas como el espesor, la densidad y la solubilidad en agua. Arrojando valores que oscilan alrededor de los 0,4 mm y que están dentro del rango establecido por la norma ASTM, además, los valores obtenidos para la densidad son mayores para la formulación F11A con un valor de 1,471 g/ml dato que se encuentra dentro de los reportados en la literatura. Por otra parte, los datos arrojados de solubilidad en agua son menores para aquellas formulaciones que contienen mayores contenidos de ácido acético y glicerina los cuales le confieren propiedades plastificantes y disminuye la solubilidad de las muestras.

Por último, los resultados de tracción realizados fueron satisfactorios la formulación que obtuvo una mayor resistencia a lo largo del ensayo es la formulación F11H la cual soporto una fuerza máxima de 8,546 N siendo esta una de las biopelículas con mayor cantidad de glicerol a lo cual se le atribuye su plasticidad seguida de la F11B.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en las pruebas para la mejor biopelícula F11B corresponden a 0,580 mm, 1,250 g/ml, 53,539% de solubilidad y 7,546 N, seguida de la F11H con 0,540, 0,543 g/ml, 40,927 % de solubilidad y 8,546 N, en la cual destacamos que la de mejor apariencia, contextura y la que más se asemeja a los plásticos convencionales es la F11B.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA BIOPELÍCULA

Una vez determinado el método de extracción que se evaluará en el proyecto, es necesario establecer cuáles son los equipos necesarios en el proceso de extracción del almidón por el método húmedo para una cantidad específica de materia y a su vez los equipos necesarios para la elaboración de la película biodegradable.

En este capítulo se define el diseño básico conceptual para la elaboración de la biopelícula con su respectivo, diagrama BFD y PFD, balance de materia y energía, la descripción de los equipos y herramientas utilizadas a una escala piloto para la producción de 1 ton de almidón y 10 ton de biopelícula capacidad que fue elegida con base a la mejor formulación obtenida F11B. La base de cálculo que se tuvo en cuenta para el desarrollo de este capítulo fue la capacidad del secador (equipo que se encuentra al final del proceso) porque este limita la cantidad de biopelícula que se puede secar para finalizar el proceso.

4.1 Diagramas del proceso para la producción de biopelículas

A través de los diferentes diagramas de proceso se busca representar desde un enfoque general hacia uno más específico el proceso de elaboración de biopelículas con las semillas de aguacate variedad Lorena por el método casting, en estos es posible evidenciar las condiciones de operación, el comportamiento del proceso y las corrientes de entrada y de salida de cada una de las operaciones unitarias especificadas para la obtención del producto de interés.

4.1.1 Diagrama global del proceso

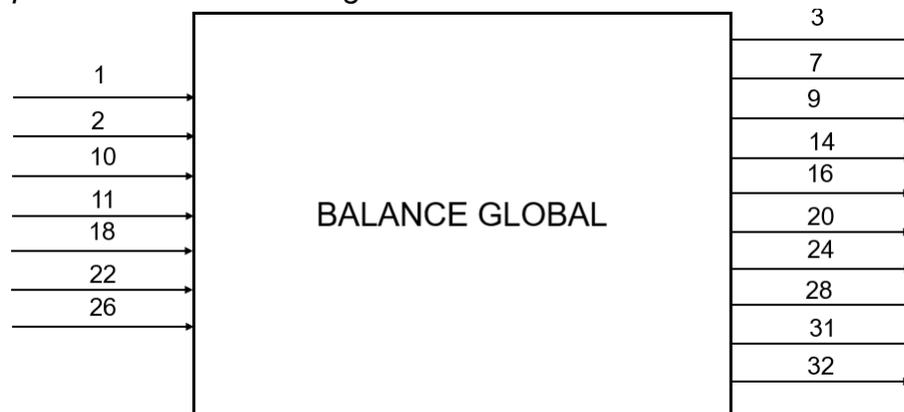
A partir del diagrama global se representa de forma general el proceso, en este se realiza un volumen de control que abarca todas las operaciones unitarias del proceso como un modelo de caja negra, esto se elaborará con el fin de definir cuáles son las corrientes de entrada y de salida del proceso, en este se omiten las operaciones unitarias que hay

entre cada una de ellas.

En la figura 21, se puede observar el esquema global del proceso junto a las corrientes de entrada y de salida utilizadas para la elaboración de la biopelícula.

Figura 35

Diagrama global del proceso de elaboración de la biopelícula a partir del método casting.



Nota. La figura muestra las corrientes de entrada y salida para la elaboración de nuestro producto de interés

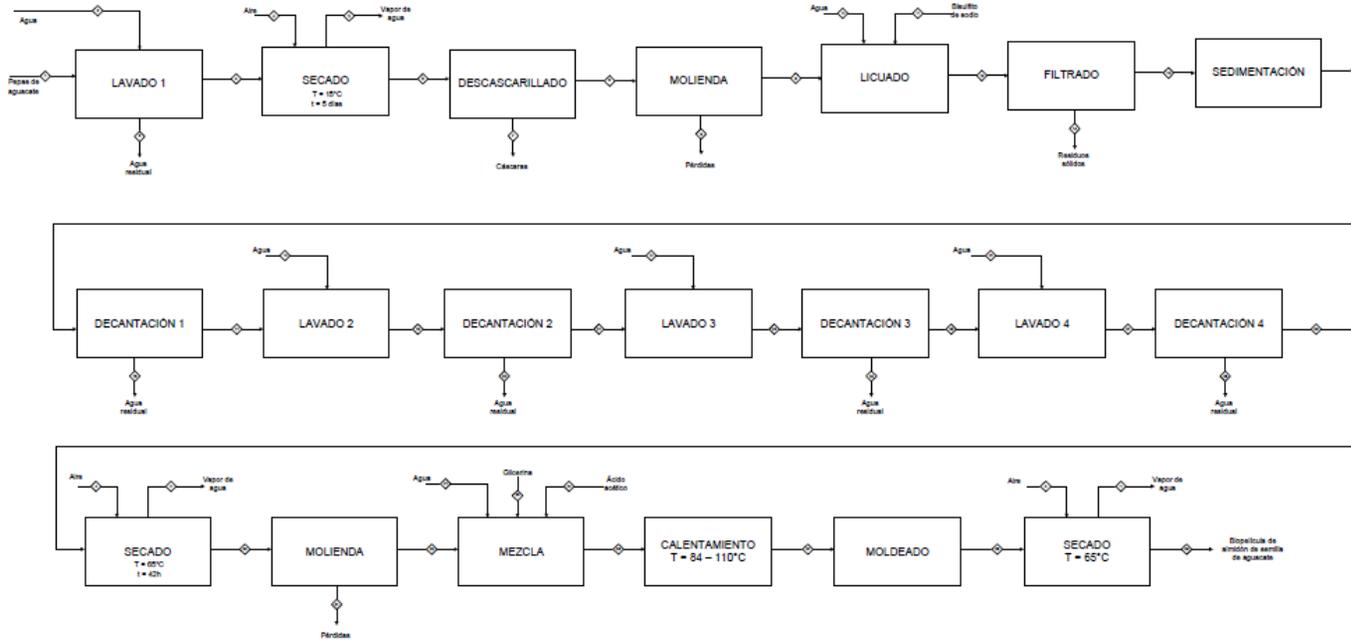
4.1.2 Diagrama de bloques del proceso

Este diagrama permite observar los flujos de entrada y de salida de un proceso y conocer cómo estos están conectados. Asimismo, a partir de este se puede determinar cuáles son las cantidades o flujos de las materias primas necesarias para realizar el proceso y las condiciones de operación de los equipos.

Las condiciones operativas para el proceso de lavado deben ser condiciones ambientes, mientras que el deshidratado o secado manejará una temperatura entre 65°C a una presión estándar.

Figura 36

Diagrama BFD para la producción de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate



TRABAJO FIN DE GRADO
ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE DE LA VARIEDAD LORENA

ENCARGADOS			
DIBUJO	Swelin Paola Tamez Espinoza	Ingeniero Químico	31100502
DISEÑO	Carolina Aguirre Heredia	Ingeniero Químico	31100502

SUSTANCIAS
SEMILLAS DE AGUACATE
AGUA
BISULFITO DE SODIO
ÁCIDO ACÉTICO
GLICERINA
ÁCIDO CÍTRICO

PLANOS DE REFERENCIA
ELABORACIÓN PROPIA

VERSIÓN	ANEXO
1	A

NOTAS
1. Diagrama BFD Para la producción de Biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate
Línea de Flujo de Proceso →

Nota. El diagrama representa el BFD para la producción de las películas biodegradables con sus respectivas operaciones unitarias

Figura 37

Lista de corrientes en el proceso

Lista de corrientes	
Numero	Descripción
1	Pepas de aguacate con cáscara y residuos
2	Agua potable
3	Agua con residuos
4	Pepas de aguacate con cáscara y humedad.
5	Pepas de aguacate con cáscara y secas
6	Pepas de aguacate sin cáscaras y secas
7	Cáscaras de la semilla de aguacate
8	Pedazos de pepas de aguacate
9	Pérdidas de pepa de aguacate
10	Agua potable
11	Bisulfito de sodio
12	Producto del licuado
13	Líquido del filtrado
14	Residuos sólidos del filtrado
15	Producto de la sedimentación
16	Agua residual de la primera decantación
17	Almidón de la primera decantación
18	Agua potable
19	Primer lavado del almidón
20	Agua residual de la segunda decantación
21	Almidón de la segunda decantación
22	Agua potable
23	Segundo lavado del almidón
24	Agua residual de la tercera decantación
25	Almidón de la tercera decantación
26	Agua potable
27	Tercer lavado del almidón
28	Agua residual de la cuarta decantación
29	Almidón de la cuarta decantación
30	Almidón seco
31	Pérdidas de la molienda
32	Almidón en polvo
33	Glicerina
34	Ácido acético
35	Agua
36	Mezcla de almidón con aditivos
37	Mezcla a 85°C
38	Mezcla a 40°C
39	Biopelículas en moldes
40	Biopelícula después del secado

Nota. Corrientes de entrada y salida para la obtención de almidón usando el método húmedo

En la tabla 29, se podrán evidenciar las corrientes de entrada y salida de nuestro proceso para la obtención del almidón ya que esta es la fase inicial del proceso, para posteriormente obtener nuestra biopelícula.

4.1.3 Diagrama PFD (Process Flow Diagram)

Los diagramas de flujo de proceso (PFD) son básicamente una esquematización del proceso, en el cual se evidencia sus condiciones de operación normal y su control básico. Estos permiten tener la información clara, ordenada y concisa de todos los pasos que componen los distintos procesos industriales.

Inicialmente, se definen las principales operaciones unitarias para la elaboración de la biopelícula como se evidencia en la siguiente tabla:

Figura 38

Listado de operaciones en el proceso de obtención de biopelícula

Lista de operaciones	
Nombre	Descripción
L-001	Lavado 1
S-001	Secado 1
D-001	Descascarillado
T-001	Triturado
Li-001	Licuada
F-001	Filtrado
Se-001	Sedimentación
De-001	Decantación 1
L-002	Lavado 2
De-002	Decantación 2
L-003	Lavado 3
De-003	Decantación 3
L-004	Lavado 4
De-004	Decantación 4
S-002	Secado 2
M-001	Molienda
Me-002	Mezcla
E-001	Calentamiento
E-002	Enfriamiento
Mo-001	Moldeado
D-002	Secado 3

Nota. En esta tabla se evidencia, las principales operaciones unitarias para la obtención de la película biodegradable

4.1.4 Balance de materia

Como fue mencionado anteriormente para realizar el balance de materia se utilizará una cantidad total de aguacate variedad Lorena de 1 tonelada, este será el flujo de entrada del proceso y el punto de partida para desarrollar los balances de materia (*Anexo 3*).

Tabla 15*Balance de materia del proceso de la corriente 1 hasta la 10*

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	9615	57692	57452	9856	8962	8760	202	8577	183	17154
Flujo másico componentes (kg/h)										
Semillas de aguacate	8279	-	-	8760	8760	8760	-	8577	-	-
Cáscara	202	-	-	202	202	-	202	-	-	-
Residuos	240	-	240	-	-	-	-	-	-	-
Agua	894	57692	-	894	-	-	-	-	-	17154
Pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	183	-
Agua residual	-	-	57002	-	-	-	-	-	-	-
Bisulfito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almidón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glicerina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Nota. La tabla muestra el balance de las primeras corrientes del proceso***Tabla 16***Balance de materia del proceso de la corriente 11 hasta la 20*

Corrientes	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	96	25827	19711	6115	19711	11510	8201	2019	10202	5596
Flujo másico componentes (kg/h)										

Semillas de aguacate	-	8577	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáscara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuos	-	-	-	6115	-	-	-	-	-	-
Agua	-	17154	-	-	-	-	-	2019	2019	-
Pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	11510	-	11510	11510	-	-	-	5596
Bisulfito de sodio	96	96	-	-	-	-	-	-	-	-
Almidón	-	-	8201	-	8201	-	8201	-	8201	-
Glicerina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. La tabla muestra el balance de las primeras corrientes 11 a 20 del proceso

Tabla 17*Balance de materia del proceso de la corriente 21 hasta la 30*

Corrientes	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	65
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	4606	2019	6625	2058	4510	2019	6529	2202	4279	1063
Flujo másico componentes (kg/h)										
Semillas de aguacate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáscara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	-	2019	2019	-	-	2019	2019	-	-	-
Pérdidas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	2058	-	-	-	2202	3215	-
Bisulfito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almidón	4606	-	4606	-	4510	-	4510	-	4279	3215
Glicerina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido acético	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. La tabla muestra el balance de las primeras corrientes 21 a 30 del proceso**Tabla 18***Balance de materia del proceso de la corriente 31 hasta la 40*

Corrientes	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	25	84	25	25	25
Presión (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Flujo másico (kg/h)	63	1000	445	3000	5555	10000	10000	10000	10000	10000
Flujo másico componentes (kg/h)										
Semillas de aguacate	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cáscara	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Residuos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Agua	-	-	-	-	5555	5555	5555	5555	5555	5555
Pérdidas	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua residual	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bisulfito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Almidón	-	1000	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000
Glicerina	-	-	445	-	-	445	445	445	445	445
Ácido acético	-	-	-	3000	-	3000	3000	3000	3000	3000

Nota. La tabla muestra el balance de las primeras corrientes 31 a 40 del proceso

Figura 39

Diagrama PFD para la producción de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

TRABAJO FIN DE GRADO

ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULA A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE DE LA VARIEDAD LORENA

ENCARGADOS

DIBUJÓ	Suelen Paola Talled Espinoza	INGENIERO	31120202
DISERÓ	Carolina Angarita Rangel Rojas	INGENIERO	31120202

SUSTANCIAS

SEMILLAS DE AGUACATE
AGUA
BISULFITO DE SODIO
ACIDO ACÉTICO
GLICERINA
ACIDO CÍTRICO

PLANOS DE REFERENCIA

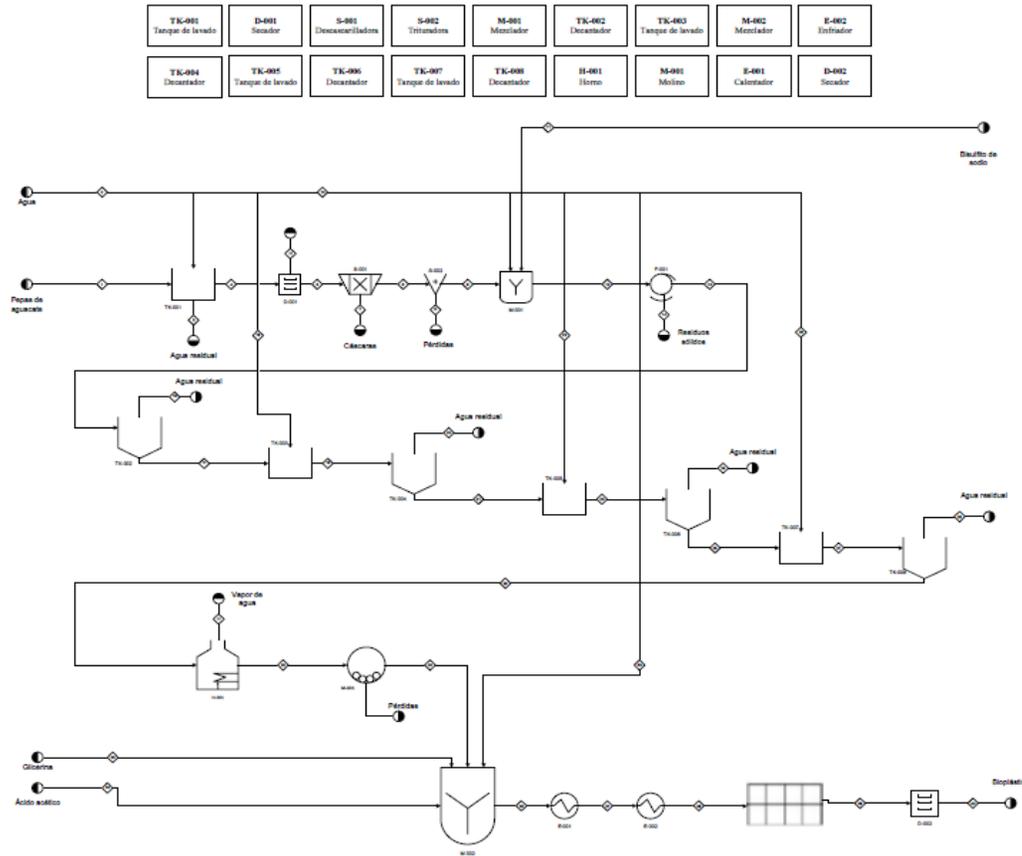
ELABORACIÓN PROPIA

VERSIÓN	ANEXO
1	B

NOTAS

1. Diagrama PFD Para la producción de Biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate

← Línea de Flujo de Proceso →



Carrilerías										Carrilerías										Carrilerías										Carrilerías									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Temperatura (°C)										Temperatura (°C)										Temperatura (°C)										Temperatura (°C)									
Presión (bar)										Presión (bar)										Presión (bar)										Presión (bar)									
Flujo másico (kg/h)										Flujo másico (kg/h)										Flujo másico (kg/h)										Flujo másico (kg/h)									
Semillas de aguacate										Semillas de aguacate										Semillas de aguacate										Semillas de aguacate									
Cáscara										Cáscara										Cáscara										Cáscara									
Residuos										Residuos										Residuos										Residuos									
Agua										Agua										Agua										Agua									
Pectinas										Pectinas										Pectinas										Pectinas									
Agua residual										Agua residual										Agua residual										Agua residual									
Bisulfito de sodio										Bisulfito de sodio										Bisulfito de sodio										Bisulfito de sodio									
Almidón										Almidón										Almidón										Almidón									
Glicerina										Glicerina										Glicerina										Glicerina									
Acido acético										Acido acético										Acido acético										Acido acético									

Nota. El diagrama representa el PFD para la producción de las películas biodegradables con sus respectivas unitarias

Los valores de entrada muestran la cantidad que se tiene que agregar de diferentes reactivos en cada etapa. El proceso para realizar la obtención de almidón es el mismo en caso de querer variar la cantidad de bisulfito a utilizar. Requerimientos escala laboratorio

En este apartado, se hará una breve descripción de las materias primas y de los equipos empleados experimentalmente para la ejecución de nuestro proyecto

4.1.5 Materias primas

Las semillas de aguacate son la principal materia prima o insumo del proceso debido a que es un residuo de los procesos de la industria alimenticia no tendría ningún costo para la empresa.

El tratamiento de las semillas de aguacate se debe realizar cinco días después, es decir, luego del secado para evitar la contaminación por agentes microbianos (hongos) y la descomposición o pérdidas de estas.

Figura 40

Ficha técnica del aguacate variedad Lorena

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	AGUACATE			
FOTO	ESPECIE		PERSEA AMERICANA	
	RAZA		ANTILLANA	
	VARIEDAD		LORENA	
	DESCRIPCION GENERAL			
<ul style="list-style-type: none"> • Fue originada hacia el año 1957 en la finca Lorena, ubicada en el municipio de Palmira, Valle del Cauca. • Se les conoce como aguacates “Papelillos” debido al poco grosor de la cáscara. • Son de forma alargada, ligeramente oblicuos, de tamaño grande alcanzando pesos entre 400 a 600 gramos, la corteza es lisa, la pulpa contiene grasa en un 7 a 9% y fibra en un 4,61% 				

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del aguacate de variedad Lorena

Figura 41

Ficha técnica de la glicerina de grado técnico

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	GLICERINA GRADO TECNICO			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Es un producto de alta pureza con la mayoría de sus contaminantes removidos. • Está libre de metanol, jabones, sales y otros componentes extraños. • Su principal compuesto es el glicerol, el cual tiene las siguientes propiedades: soluble en agua, inodoro a suave, punto de ebullición 290°C, punto de fusión 17,9°C y peso molecular 92,1g/mol. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la glicerina de grado técnico empleada como plastificante en este proceso.

Figura 42

Ficha técnica del bisulfito de sodio

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	BISULFITO DE SODIO			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • El bisulfito de sodio es un preservativo utilizado para retrasar o inhibir el proceso de manchas negras por oxidación (melanosis). • Además de su acción contra los microorganismos, los sulfitos actúan como antioxidantes, inhibiendo especialmente las reacciones de oscurecimiento producidas por ciertos enzimas en vegetales y crustáceos. • El límite permitido es de 100 ppm en una porción comestible. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del bisulfito de sodio.

Figura 43

Ficha técnica del Ácido acético

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISAD O POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	ACIDO ACETICO			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Formula química: CH₃COOH • Forma: Líquido • Color: Incoloro, claro • Olor: Fuerte como a vinagre • Masa molar: 60,05g/mol • Punto de fusión: 16,6°C • Punto de ebullición: 118°C • Solubilidad: Infinitamente soluble 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del ácido acético como reactivo

4.1.6 Equipos empleados en el laboratorio

Figura 44

Ficha técnica del horno binder

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	HORNO BINDER			
FOTO	MODELO	EED53		
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de temperatura: Desde 5°C por encima de la temperatura ambiente hasta 300°C. • Convección forzada. • Rejilla de aire regulable. • Controlador con funciones de temporizador. • 2 rejillas cromadas. • El aislamiento térmico reduce los costes operativos. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del horno binder

Figura 45

Ficha técnica de la licuadora Hamilton beach

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	LICUADORA HAMILTON BEACH			
FOTO	MODELO	56206		
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Potente triturado de hielo con cuchillas patentadas para hielo. • Vaso de vidrio de 40oz. • 5 funciones de licuado más pulsador. • 700 watt de potencia máxima. • Tapa, cuchillas y vaso resistente al lavavajillas, • Motor perdurable. • Compartimiento para cable 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la licuadora Hamilton beach

Figura 46

Ficha técnica de la balanza digital

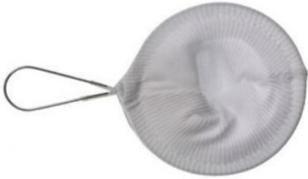
FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	BALANZA DIGITAL OHAUS			
FOTO	MODELO	SCOUT PRO-2001		
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Platos de acero inoxidable. • Indicador LCD de alto contraste. • Interruptor de bloqueo. • Gancho para pesar por debajo. • Indicador de estabilización. • Está fabricada bajo las normas ISO 9001 Registered Quality Management System. • Alcance máximo de 2000g • Unidades de pesaje: g, kg, oz, lb, ozt, dwt. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la balanza digital

4.1.7 Instrumentos empleados en el laboratorio

Figura 47

Ficha técnica del filtro de tela

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	FILTRO DE TELA			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Estilo cono. • Rendimiento aceptable. • Sin olores o sabores extraños impartidos por el filtro. • Fabricadas en fibra natural. • Debe estar libre de materiales extraños, agujeros, errores que pueda afectar el rendimiento del producto. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del filtro tela

Figura 48

Ficha técnica de la espátula metálica

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	ESPATULA METALICA			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja metálica. • Mango de madera. • Vida útil: 3 a 24 meses. • Dimensiones de la espátula: 150*25mm • Dimensiones del mango: 110*18mm 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la espátula metálica

Figura 49

Ficha técnica del vaso duran

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	VASO DURAN			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Cuenta con graduación de fácil lectura. • Campo para rotular de grandes dimensiones. • Con pico para un trabajo limpio. • Debido al espesor de la pared resulta idóneo para calentar medios. • Capacidad de 600 ml • Dimensiones: altura 70mm y diámetro 38mm 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del vaso duran

Figura 50

Ficha técnica del vidrio de reloj

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS			
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1
EVELIN TELLEZ			
NOMBRE	VIDRIO DE RELOJ DURAN		
	DESCRIPCIÓN GENERAL		
	<ul style="list-style-type: none"> • Vidrio de reloj borde requemado • Dimensiones: diámetro 40 mm. • Temperatura máxima de 121°C 		

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del vidrio reloj duran.

Figura 51

Ficha técnica del Cuchillo de chef

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS			
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1
EVELIN TELLEZ			
NOMBRE	CUCHILLO DE CHEF		
	DESCRIPCION GENERAL		
	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de acero inoxidable • Mango de polipropileno fijado con remaches de aluminio • Filo liso. • Longitud de hoja 15 cm. 		

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del cuchillo de chef

Figura 52

Ficha técnica de la pipeta

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	PIPETA			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta Pasteur es similar a un utensilio de gotero. • Fabricadas en plástico de polietileno de baja densidad. • Está formada por un tubo y un bulbo, sirve para hacer transferencia de pequeñas cantidades de líquido. • Graduaciones precisas en versiones de 1, 3, 5 y 10 ml. • Bomba de llenado integral que elimina la contaminación asociada con las peras de goma. • Excelente transparencia con espesor uniforme. • Cumple normas MDD e ISO 9001 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del cuchillo de chef

Figura 53

Ficha técnica de las bolsas plásticas herméticas

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	BOLSAS PLASTICAS HERMÉTICAS			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricadas de polietileno de baja densidad. • Posee cierre hermético • Es apta para el contacto con materiales y alimentos. • Bolsa reutilizable para contener muestras químicas. • Disponible en diferentes dimensiones y espesores 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de las bolsas plásticas herméticas.

Figura 54

Ficha técnica del colador

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO EVELIN TELLEZ		04/12/2022	1	
NOMBRE	COLADOR			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Colador de 24 cm de diámetro. • Diámetro con 2 asas para facilitar el escurrido. • Las asas pueden reposar en cualquier recipiente de un tamaño similar. • Base plana para una estabilidad perfecta a la hora de verter. • Pueden ser utilizados como un tamizador, colador y cuenco. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características del colador.

Figura 55

Ficha técnica de la varilla de agitación

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO EVELIN TELLEZ		04/12/2022	1	
NOMBRE	VARILLA DE AGITACION			
	DESCRIPCION GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Fino cilindro macizo de vidrio • Son piezas de 5-7 mm de diámetro • Tiene una longitud de 20 a 50 cm de longitud 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la varilla de agitación.

Figura 56

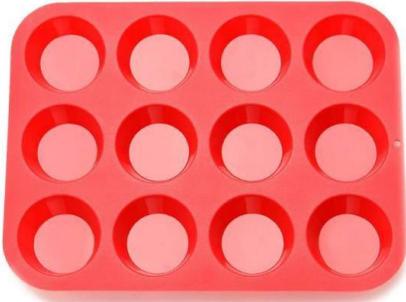
Ficha técnica de las planchas de calentamiento

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	PLANCHA DE CALENTAMIENTO BOECO			
FOTO	MODELO	MSH – 130		
	DESCRIPCIÓN GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético con perilla para regular velocidad y temperatura • Placa superior de aluminio para calentamiento y agitación de los reactivos químicos de forma simultánea. • Rango de velocidad: 250 – 1500 rpm 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de la plancha de calentamiento boeco.

Figura 57

Ficha técnica de los moldes de silicona

FICHA TÉCNICA MATERIAS PRIMAS				
PREPARADO POR	REVISADO POR	FECHA	VERSION	
DANIELA RENGIFO		04/12/2022	1	
EVELIN TELLEZ				
NOMBRE	MOLDE DE SILICONA			
FOTO	MODELO	SILI MOLDES		
	DESCRIPCIÓN GENERAL			
	<ul style="list-style-type: none"> • Alto 32,7 cm. • Diámetro 3 cm. • Apto para horno. • Forma irregular. • Apto para lavavajillas. 			

Nota. La tabla muestra la descripción general y demás características de los moldes de silicona.

4.1.8 Costos de producción de la biopelícula a escala laboratorio

Tabla 19

Inversión de equipos para la elaboración de la película

Cantidad	Equipos	Precio x unidad	Precio total
1	Horno binder	\$33.940.000	\$ 33.940.000
2	Licuadora	\$940.000	\$ 1.880.000
2	Balanza	\$3.318.833	\$ 6.637.666
2	Filtro de tela	\$3.000	\$ 6.000
2	Espátula metálica	\$38.408	\$ 76.816
5	Vaso Durán	\$25.000	\$ 125.000
2	Vidrio de reloj	\$6.500	\$ 13.000
2	Cuchillo de chef	\$20.000	\$ 40.000
2	Pipeta	\$8.000	\$ 16.000
10	Bolsas herméticas	\$700	\$ 7.000
2	Colador	\$10.000	\$ 20.000
2	Varillas de agitación	\$3.000	\$ 6.000
2	Plancha de calentamiento	\$2.200.000	\$ 4.400.000
2	Moldes de silicona	\$15.000	\$ 30.000
TOTAL			\$47.197.482

Nota. La tabla muestra los costos por unidad y precio total de cada uno de los equipos.

Para llevar a cabo la producción de biopelículas a escala laboratorio o a escala piloto es necesario conocer los costos de los equipos a utilizar junto con los precios de las materias primas.

Para la elaboración de la biopelícula a partir del almidón de la semilla de aguacate a escala laboratorio el costo de los instrumentos y materiales que se necesitan para llevar a cabo el proceso es equivalente al valor de \$47.197.482.

Tabla 20

Inversión de insumos para la elaboración de la biopelícula

Insumo	Cantidad (kg)	Precio COP/kg	Precio total
Semillas de aguacate	1	\$0	\$0
Bisulfito de sodio	10	\$3.816	\$38.160
Agua	84.78	\$23	\$1.950
Glicerina	2.45	\$11.844	\$29.017
Ácido acético	1.5	\$3.339	\$5.009

Nota. La tabla muestra los costos de las materias primas necesarias para la elaboración de las biopelículas

En cuanto a los insumos, el valor total para cada lote en la producción de biopelículas corresponde a \$74.136 cabe resaltar que la semilla de aguacate es un residuo agroindustrial por lo tanto el costo es \$0.

4.2 Producción de biopelículas a escala Piloto

Para la extracción del almidón y la elaboración del bioplástico se utilizaron varios equipos, donde se realiza un análisis acerca de su uso y sus características principales. Estos equipos se muestran a continuación:

Tabla 21

Equipos necesarios en la planta piloto para la elaboración de las biopelículas

Imagen	Nombre del equipo	Unidad	Descripción
 <p>Nota. Imagen tomada de loyal industrial [89].</p>	Lavador	5	Lavador fabricado en acero inoxidable 304 para eliminar las impurezas que afecten la calidad del producto Capacidad:300 – 3000 kg/h Consumo energético: 1,1 Kw
 <p>Nota. Imagen tomada de Maquipres [90].</p>	Secador	4	Disminuye el porcentaje de humedad mediante aire caliente en una cámara de secado Capacidad: 420kg Consumo energético: 73,21Kw Calibre 18
 <p>Nota. Imagen tomada de alibaba [91].</p>	Descascarilladora	4	Elimina las cascara de la semilla de aguacate Capacidad: 2000 kg/h Consumo energético: 15,75kW



Nota. imagen tomada de Satrind tech [92].

Triturador

1

Disminuye el tamaño de partícula de las semillas de aguacate para aumentar el área superficial mejorando el rendimiento de la extracción del almidón
Capacidad: 100 – 300kg/h
Consumo energético: 7,5kW



Nota. Imagen tomada de palamatic process [93].

Mezclador

1

Facilita la mezcla entre las fases sólidas y líquidas para obtener mezclas viscosas
Capacidad: 50 – 5000L
Consumo energético: 6kW



Nota. Imagen tomada de screenmeshne [94].

Filtro – malla

1

Filtro industrial que facilita la separación líquido-sólido en el manejo de alimentos. Por cada extracción de almidón se usa una malla la cual será ajustada al tanque de sedimentación.



Nota. Imagen tomada de palamatic process [95].

Molino

1

Permite reducir el tamaño de partícula de un sólido por medio de la trituración en materiales como semillas de almidón.
Capacidad: 3600 kg/h
Consumo energético: 75kW



Mezclador con control de temperatura

1

Permite realizar un mezclado líquido-sólido con control de la temperatura en la mezcla.
Capacidad: 500L Consumo energético: 0,75kW

Nota. Imagen tomada de alibaba [96].



Decantador

4

Es un elemento fundamental para separar compuestos pesados y semipesados por medio de la suspensión de una mezcla, como es el caso del almidón y el agua.
Capacidad: 4000kg Consumo energético: 35kW

Nota. Imagen tomada de alibaba [97].



Tanque

1

Equipo utilizado para la sedimentación en la cual las partículas más densas precipitan por gravedad. Capacidad: 20.000L/h Consumo energético: 0,55kW

Nota. Imagen tomada de alibaba [98].

Nota. La tabla muestra los equipos a utilizar en la planta piloto para la elaboración de las biopelículas.

4.3 Consumo energético

Luego de definir los equipos que se implementaran en el proceso de elaboración de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate, se debe identificar el consumo energético de estos teniendo en cuenta variables como el tiempo que se necesita para cada proceso.

4.3.1 Consumo energético para el proceso de lavado 1

El consumo energético de la lavadora según la *Tabla 55* es de 1.1 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total de la lavadora de frutas por medio de la siguiente expresión.

$$1,1 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 1 \text{ día} = 95.040kJ$$

4.3.2 Consumo energético para el proceso de secado 1

El consumo energético del proceso de secado según la *Tabla 55* es de 73.21kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 5 días, se puede calcular el consumo total del deshidratador por medio de la siguiente expresión.

$$73,21 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 5 \text{ días} = 31.626.720kJ$$

4.3.3 Consumo energético para el proceso de descascarillado

El consumo energético del proceso de descascarillado según la *Tabla 55* es de 15.75kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total de la descascarilladora por medio de la siguiente expresión.

$$15,75 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 1 \text{ día} = 1.360.800kJ$$

4.3.4 Consumo energético para el proceso de trituradora

El consumo energético de la trituradora según la *Tabla 55* es de 7.5kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total de la descascarilladora por medio de la siguiente expresión.

$$7,5 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 día} * 1 día = 648.000kJ$$

4.3.5 Consumo energético para el mezclador centrifugo

El consumo energético del mezclador centrifugo según la *Tabla 55* es de 7.5kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total del mezclador centrifugo por medio de la siguiente expresión.

$$6 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 día} * 1 día = 518.400kJ$$

4.3.6 Consumo energético para el tanque de decantación 1, 2, 3 y 4

El consumo energético del tanque de decantación según la *Tabla 55* es de 35kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 2 horas, se puede calcular el consumo total de los cuatro decantadores por medio de la siguiente expresión.

$$6 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * 2h = 43.200kJ$$

4.3.7 Consumo energético para el proceso de lavado 2, 3, 4

El consumo energético de la lavadora según la *Tabla 55* es de 1.1 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 5 minutos, se puede calcular el consumo total de los tanques lavadores por medio de la siguiente expresión.

$$1,1 \frac{kJ}{s} * \frac{60s}{1min} * 5 min = 330kJ$$

4.3.8 Consumo energético para el proceso de secado 2

El consumo energético de secado según la *Tabla 55* es de 73.21 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 2 días, se puede calcular el consumo total del deshidratador por medio de la siguiente expresión.

$$73,21 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 2 \text{ días} = 12.650.688kJ$$

4.3.9 Consumo energético para el proceso de molienda

El consumo energético del proceso de molienda según la *Tabla 55* es de 75 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total del molino por medio de la siguiente expresión.

$$75 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 1 \text{ día} = 6.480.000kJ$$

4.3.10 Consumo energético para el proceso de mezcla con control de temperatura

El consumo energético de mezclado según la *Tabla 55* es de 0.75 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 1 día, se puede calcular el consumo total del mezclador por medio de la siguiente expresión.

$$0,75 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 \text{ día}} * 1 \text{ día} = 64.800kJ$$

4.3.11 Consumo energético para el proceso de secado 3

El consumo energético del proceso de secado según la *Tabla 55* es de 73.21 kW, se debe tener en cuenta que el proceso se lleva a cabo durante 5 días, se puede calcular el consumo total del deshidratador por medio de la siguiente expresión.

$$1,1 \frac{kJ}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{24h}{1 d} * 5 días = 475.200kJ$$

4.3.12 Análisis de costo de equipos e insumos a escala piloto

A continuación, se realizará un análisis de los precios de los equipos e insumos necesarios para la producción de la biopelícula a escala piloto

Tabla 22

Costos de equipos para la elaboración de la biopelícula a escala piloto

Cantidad	Equipos	Precio x unidad	Precio total
5	Lavador	\$11.697.924	\$58.489.620
4	Secador	\$27.852.200	\$111.408.800
4	Descascarilladora	\$23.839.150	\$95.356.600
1	Triturador	\$15.266.720	\$15.266.720
1	Mezclador centrifugo	\$7.734.000	\$7.734.000
5	Filtro - malla	\$90.700	\$453.500
1	Molino	\$8.500.600	\$8.500.600
1	Mezclador con control de temperatura	\$13.534.500	\$13.534.500
4	Decantador	\$77.340.000	\$309.360.000
1	Tanque	\$50.279.576	\$50.279.576

Nota. La tabla muestra el costo de equipos por unidad y el total para la elaboración de la película.

Para la elaboración de la biopelícula a partir del almidón de la semilla de aguacate el costo de los equipos que se necesitan para llevar a cabo el proceso es equivalente al valor de \$670.383.916, al realizar la comparación entre los costos de la maquinaria a escala laboratorio y a escala piloto se puede observar que los costos totales de los equipos son mayores a escala piloto debido a la capacidad de producción que se estableció anteriormente.

Tabla 23*Inversión de insumos para la planta piloto*

Insumo	Cantidad (kg)	Precio COP/kg	Precio total
Semillas de aguacate	9.615	\$0	\$0
Bisulfito de sodio	96,153	\$3.816	\$366.920
Agua	86.459	\$23	\$1.988.557
Glicerina	445	\$11.844	\$5.270.580
Ácido acético	3000	\$3.339	\$10.017.000

Nota. La tabla muestra el precio total que se necesita de materias primas para la planta piloto.

En cuanto a los insumos, el valor total para cada lote en la producción de biopelículas corresponde a \$17.643.057 cabe resaltar que la semilla de aguacate es un residuo agroindustrial por lo tanto el costo es \$0.

De acuerdo con la descripción del proceso desde la extracción del almidón hasta la elaboración de la biopelícula se identificaron las diferentes operaciones unitarias involucradas para organizar dicha información en primera instancia en el diagrama BFD en el cual se identificaron las condiciones de operación para cada etapa. Posteriormente, se realizó el diagrama PFD el cual involucra los equipos necesarios y la cantidad que se requiere de cada uno de ellos para la ejecución del proyecto teniendo como meta de producción 10.000 toneladas de biopelícula, cabe resaltar, que para la producción de dicha cantidad se necesitan procesar aproximadamente nueve toneladas de semilla de aguacate. Por otra parte, se hizo una aproximación en cuanto a los costos tanto a escala laboratorio como a escala piloto resaltando el valor de los equipos y los insumos para cada caso, para la escala laboratorio se obtiene un costo de materiales y equipos con un total de \$47.197.482 e insumos de \$74.136, mientras que a escala piloto se obtiene un costo total de equipos de \$670.383.916 e insumos de \$17.643.057.

Para cada uno de los equipos se debe tener en cuenta la capacidad ya que es un dato importante que nos ayuda a determinar el número de unidades que se necesita del mismo. Adicionalmente, es importante conocer el consumo energético de las máquinas y el tiempo de operación para cada proceso para determinar el balance de energía de cada etapa de la elaboración de biopelículas a partir del almidón de la semilla de aguacate.

5. CONCLUSIONES

Por medio de la literatura se escogieron tres métodos para extraer el almidón, esto se hizo a través de la matriz PUGH en la cual se le dio un peso a cada una de las variables escogidas, obteniendo que el método húmedo y seco son los mejores con un total de 9 y 7.

Dentro de los resultados obtenidos uno de los más importantes es el rendimiento arrojando valores de 22,5% en base seca para el método seco y de 11,16% en base seca para el método húmedo. Además, dentro de los resultados arrojados para la caracterización del almidón extraído se obtuvo un porcentaje de humedad de 75,15% para el método húmedo y de 64,64% para el seco, este último es inferior debido a que no presenta lavados dentro de sus operaciones unitarias. En cuanto al porcentaje de cenizas se tiene un valor de 0,65% y 2,45% respectivamente. La última prueba realizada fue la Lugol obteniendo un resultado positivo.

Para escoger la mejor formulación para la biopelícula se hicieron unas pruebas preliminares presentando mejor contextura la F11 a partir de la cual se realizó el diseño de experimentos 3^2 , luego de realizar cada formulación con su réplica la de mejor apariencia fue la F11B que contenía 10g de almidón, 100g de agua, 5g de ácido cítrico, 20 g de glicerol y 25 de ácido acético. Cabe destacar que, los valores de espesor están alrededor de los 0,4 mm y la mayor densidad obtenida es de 1,471 g/ml para la formulación F11A siendo cercana al polisulfuro de fenilo que cuenta con una densidad de 1,430 g/ml y a la poliimida con un valor entre 1,430 a 1,600 g/ml. Por otro lado, dentro de los resultados arrojados en la prueba de solubilidad del agua se tiene 41,006, 40, 927 y 41,192 siendo estos los que presentan un menor valor y los cuales corresponden a las formulaciones F11G, F11H y F11I respectivamente. Finalmente, a cada una de las biopelículas obtenidas se les hizo el ensayo de tracción con el fin de conocer la máxima fuerza que pueden soportar, obteniendo mejores resultados para la formulación F11H la cual soportó 8,546N. Por último, se realiza el diseño básico conceptual de 10 toneladas de bioplástico para el cual fue desarrollado el diagrama BFD y PFD del proceso con sus respectivos balances de materia y consumo energético de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Mosquera, "Investigación de mercados para determinar la viabilidad y comercializar bolsas biodegradables fabricadas a partir de residuos naturales y reciclados," Universidad autónoma de Colombia, Santiago de Cali, 2019. Accessed: Feb. 22, 2022. [Online]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10876/T08467.pdf;jsessionid=9635CD388EE83B6122AFF25A7E8CE39E?sequence=5>
- [2] Francisco Maria, "¿Cuánto tarda en descomponerse una bolsa de plástico?," 2022. <https://okdiario.com/ciencia/cuanto-tarda-descomponerse-bolsa-plastico-8484164> (accessed Feb. 22, 2022).
- [3] J. Pineda, "Impacto Ambiental Bolsas De Plástico, Problema Contaminación," 2022. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/bolsas-de-plastico/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [4] "Datos sobre el uso de bolsas plásticas en Colombia - Medio Ambiente - Vida - ELTIEMPO.COM," *El Tiempo*, jul. 05, 2021. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/datos-sobre-el-uso-de-bolsas-plasticas-en-colombia-600388> (accessed Feb. 23, 2022).
- [5] "Guía Técnica Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos A Través De Metodologías De Compostaje Y Lombricultura," Bogotá. Accessed: Apr. 27, 2022. [Online]. Available: https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- [6] J. Carter and B. Guzzone, "Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte," Dec. 2017. Accessed: May 01, 2022. [Online]. Available: <http://www.cec.org/files/documents/publications/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
- [7] A. Chapuel and J. Reyes, "Obtención De Una Película Biodegradable A Partir De Los Almidones De Semilla De Aguacate (Persea americana Mill) Y BANANO (Musa acuminata AAA) para el recubrimiento de papaya.," Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2019. Accessed: Mar. 08, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39933/1/401-1355> - Obtenc película

biodegradable partir almidones semilla de aguacate.pdf

- [8] F. Ávila and K. Guerrero, "Obtención de un conservante natural a partir de la semilla de aguacate variedad hass (Persea Americana Mill)," Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019. Accessed: Mar. 29, 2022. [Online]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7627/1/6112706-2019-2-IQ.pdf>
- [9] J. A. Olaeta, "Industrialización Del Aguacate: Estado Actual Y Perspectivas Futuras," pp. 749–754, 2003, Accessed: Aug. 25, 2022. [Online]. Available: http://www.avocadosource.com/wac5/papers/wac5_p749.pdf
- [10] "Cadena productiva Aguacate," *Minagricultura*, Mar. 2021, Accessed: Feb. 23, 2022. [Online]. Available: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/2021-03-31CifrasSectoriales.pdf>
- [11] "Razas del Cultivo de Aguacate | Intagri S.C.," *INTAGRI*, 2018, Accessed: Aug. 25, 2022. [Online]. Available: <https://www.intagri.com/articulos/frutales/razas-del-cultivo-de-aguacate?p=registro>
- [12] J. Bernal and C. Díaz, "Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate." Agrosavia, Mosquera, 2020. Accessed: Aug. 25, 2022. [Online]. Available: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/view/162/142/1115-1>
- [13] L. M. Álvarez Forero and J. S. Moreno Corredor, "Diseño De Un Rubor Apartir De Residuos Agroindustriales Generados Durante La Transformación Del Aguacate," Universidad EAN, Bogotá, 2021. Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10789/MorenoJuan2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [14] J. Bernal and C. Diaz, "Generalidades del cultivo," *Agrosavia*. Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/162/145/1>

120-1?inline=1?inline=1

- [15] L. Marcela and M. Torres, "Generación de bioplástico a base del almidón producido por la semilla del aguacate," Universidad distrital francisco José de caldas, Bogotá, 2021. Accessed: Apr. 29, 2022. [Online]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/28699/MonguíTorresLinamarcaMarcela2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] "Tipos de aguacate: ¿Cuáles se cultivan en Colombia?," *Mundo Husqvarna Colombia*, 2020. <https://www.mundohusqvarna.com.co/tipos-de-aguacate-cuales-se-cultivan-en-colombia> (accessed Apr. 06, 2022).
- [17] "El Cultivo De Aguacate Persea Americana En El Occidente De Antioqui," *Serv. Nac. Aprendiz.*, 2018, Accessed: Mar. 29, 2022. [Online]. Available: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5243/cultivo_aguacate_persea_americana_occ_antioquia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [18] A. F. Melo and N. A. Mora, "Evaluación Técnico-Financiera Para El Proceso De Obtención De Aceite Vegetal A Partir De Aguacate (Persea Americana) Variedad Lorena.," Fundación Universidad de América, Bogotá, 2018. Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6947/1/6131983-2018-2-IQ.pdf>
- [19] G. Rojas, "Análisis Preliminar En Procesos De Almidón Termoplástico Para La Generación De Bioplástico A Partir De Tres Semillas Aguacate, Mango Y Tamarindo," Universidad Antonio Nariño, Bogotá, 2021. Accessed: Feb. 01, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/5008/1/2021AndreaGeraldineRojasMedina.pdf>
- [20] "Producción y Zonas de producción," 2019. Accessed: Mar. 30, 2022. [Online]. Available: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.finagro.com.co%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fnode%2Fbasic->

page%2Ffiles%2F3_aguacate_produccion.docx&wdOrigin=BROWSELINK

- [21] J. Segura, "Diseño Para La Obtención De Aceite Esencial Con Base Al Aprovechamiento De La Semilla Del Aguacate Utilizando Diferentes Especies," Fundación Universidad De América, Bogota, 2022. Accessed: Oct. 09, 2022. [Online]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9100/1/6142418-2022-2-IQ.pdf>
- [22] M. Calvo, "Estructura Del Almidon," *Bioquimica De Los Alimentos*. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html> (accessed Apr. 25, 2022).
- [23] M. Santiago, "Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado," Universidad Veracruzana, México, 2015. Accessed: Apr.19, 2022. [Online]. Available: <https://1library.co/document/qmw69k7z-elaboracion-caracterizacion-peliculas-biodegradables-obtenidas-almidon-nanoestructurado.html>
- [24] L. Sánchez, "Estudio de los plastidios en células in vitro de *Tagetes erecta* L., mediante microscopía óptica, electrónica y tratamiento digital de imágenes," Instituto Politécnico Nacional, Yautepec, 2008. Accessed: Aug. 28, 2022. [Online]. Available: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3571/ESTUIDOPLASTIDIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [25] J. A. García-Fajardo, M Del, R. Ramos-Godínez, and ; J Mora-Galindo, "Estructura De La Semilla De Aguacate Y Cuantificación De La Grasa Extraída Por Diferentes Técnicas Avocado Seed Structure And Quantification Of Fat Extraction By Differenttechniques," *Rev. Chapingo Ser. Hortic.*, vol. 5, pp. 123–128, 1999, Accessed: Aug. 28, 2022. [Online]. Available: http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p123.pdf
- [26] J. Holguín, "Obtención De Un Bioplástico A Partir De Almidón De Papa," Fundación Universidad De América, Bogotá, 2019. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online].

Available: <http://52.0.229.99/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>

- [27] G. Avilés, "Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca," *Ing. y Cienc.*, vol. 2, Sep. 2006, Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83520401>
- [28] J. Meneses, M. Valencia, and C. Corrales, "Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca," *Scielo*, 2007, Accessed: Apr. 26, 2022. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#\(fig1\)](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006#(fig1))
- [29] J. Meré, "Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente," UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2009. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10823/PFC_Javier_Mere_Marcos.pdf?sequence=1
- [30] H. E. Salazar, "Efecto de amilosa, Amilopectina y sus derivados oxidados sobre la biodegradabilidad y propiedades en espumas de poliuretano," Centro de investigación en química aplicada, Saltillo. Accessed: Apr. 30, 2022. [Online]. Available: https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/203/1/Hugo_Eduardo_De_Alva_Salazar%2C_Doctorado.pdf
- [31] A. David and P. Otero, "Biopolímeros a base de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), para uso de la industria alimentaria en Colombia," 2021. Accessed: Mar. 22, 2022. [Online]. Available: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41710/adpertzoz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [32] P. Rodríguez, D. López, and C. Horta, "BIOPOLÍMEROS," *Inf. Técnico*, vol. 83, Oct. 2019, Accessed: Mar. 30, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/M-Alvarado-2/publication/355437634_Variables_influyentes_en_la_elaboracion_de_bioplastic

os_a_partir_del_name/links/617035c0750da711ac5d33d3/Variables-influyentes-en-la-elaboracion-de-bioplásticos-a-partir-del-name.pdf#

- [33] D. F. Quintero and J. Ramírez, “Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca,” Universidad de los Andes, Bogotá, 2013. Accessed: Apr. 25, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/25051/u627276.pdf?sequence=1#:~:text=La gelatinización es un proceso irreversible de transición,temperatura y a la aplicación de esfuerzos cortantes.>
- [34] G. Ruiz, “Obtención de un biopolímero a partir de harina de plátano de desecho (Musa x paradisiaca),” Instituto Tecnológico De Villahermosa, Tabasco, 2019. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/1301/1/GRISELDA_RUIZ_GARCIA_TESIS.pdf
- [35] M. Charro, “Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata,” Universidad Central Del Ecuador, Quito, 2015. Accessed: Mar. 30, 2022. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>
- [36] V. Solano, “Elaboración Y Caracterización De Biopelículas A Partir De Almidón De Yuca,” Instituto Politécnico Nacional, México, 2010. Accessed: Mar. 29, 2022. [Online]. Available: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25079/Elaboración_y_caracterización_de_biopelículas_a_partir_de_almidón_de_yuca_%28Manihot_esculenta_crantz%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [37] J. A. Escobar, “Elaboración Y Caracterización De Biopelículas Elaboradas Con Quitosano Y Adicionadas Con Partículas De Almidón,” Universidad Autónoma del estado de México, México, 2020. Accessed: Mar. 30, 2022. [Online]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109321/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [38] H. Villada, H. Acosta, and R. Velasco, “Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables,” 2007. Accessed: Aug. 28, 2022. [Online]. Available:

<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/temasagrarios/article/view/652/768>

- [39] M. Valero, Y. Ortegón, and Y. Uscategui, "Biopolímeros: Avances Y Perspectivas Biopolymers: Progress And ProspectS," *Red Rev. Científicas América Lat. el Caribe, España y Port.*, vol. 80, pp. 171–180, 2013.
- [40] M. Ramos-García, Romero Claudia, and S. Bautista, "Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas," *Rev. Iberoam. Tecnol. Post*, 2018, Accessed: Aug. 28, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- [41] G. Ramírez, "Extracción Con Ultrasonido Y Su Efecto Sobre Las Propiedades Funcionales Y Estructurales Del Almidón De Frutos De Guanábana (*Annona muricata* L.)," Universidad Autónoma de Nayarit, Nayarit, 2020. Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2317/EXTRACCIÓN CON ULTRASONIDO YSU EFECTO SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DEL ALMIDÓN DE FRUTOS DE GUANÁBANA%28Annonamuricata L.%29_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [42] P. Osorio and Rubiano Karen, "Desarrollo De Una Biopelícula Partiendo De Cáscara De Banano Y Fibra Natural Como Agente De Refuerzo A Nivel Laboratorio," Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019. Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7594/3/6131074-2019-2-IQ.pdf>
- [43] A. Mogrovejo, "Determinación De La Influencia De Dos Métodos Distintos En La Obtención De Almidón A Partir De La Oca (*Oxalis Tuberosa* Molina) Variedad Amarilla," Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2019. Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17712/1/UPS-CT008394.pdf>
- [44] L. Carrasco, "Extracción De Almidón," Chota, jun. 2018. Accessed: Sep. 09, 2022. [Online]. Available: <https://es.calameo.com/read/005193087c8fe3b2314cf>

- [45] L. N. Avendaño Rojas, "Evaluación De La Síntesis De Una Película Bioplástica A Escala Laboratorio A Partir De Residuos De Mango (Mangífera Índica)," Fundación Universidad de América, Bogotá, 2022. Accessed: Oct. 01, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8828/1/6162928-2022-1-IQ.pdf>
- [46] A. Camargo and C. A. Escobar, "Diseño De Un Banco De Pruebas Para La Determinación+ De Las Pérdidas De Carga Con Variación De Temperatura En Agua," Fundación Universidad de América, Bogotá, 2019. Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7694/1/4162167-2019-2-IM.pdf>
- [47] "Frutas Frescas. Aguacate. Variedades Mejoradas. Especificaciones," ICONTEC, Oct. 2003, Accessed: Sep. 04, 2022. [Online]. Available: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20448/81657_58737.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [48] J. Saavedra García, "Obtención Y Caracterización Del Almidon De La Almendra Del Mango (Mangif era indica L.) VARIEDAD CRIOLLA," Universidad Nacional de San Martín, Perú, 2000. Accessed: Oct. 11, 2022. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/287328184.pdf>
- [49] D. Arzapalo Quinto, K. Huamán Córdor, M. Quispe Solano Clara Espinoza Silva, M. Quispe Solano, and C. Espinoza Silva, "Extracción Y Caracterización Del Almidón De Tres Variedades De Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) Negra Collana, Pasankalla Roja Y Blanca Junín Extraction And Characterized Starch Three Varieties Of Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) Black Collana, Red Pasankalla And White Junín," *Rev Soc Quím Perú Scielo*, vol. 81, no. 1, 2015.
- [50] J. Palacio Rodríguez and Y. Peñata, "aumento del rendimiento en la extracción del almidon a partir del grano de maiz y la influencia del carbonato de ácido sodico en las propiedades fisico-quimicas del slurry ," Universidad Nacional Abierta Y A Distancia – UNAD , Barranquilla, 2012. Accessed: Oct. 01, 2022. [Online]. Available:

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/1668/72286651.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [51] V. Correa, L. Vallencilla, K. Cárdenas, and M. Guaricha, “Aprovechamiento de la semilla de aguacate (*Persea americana* Mill.) tipo Hass para la extracción de almidón,” Dec. 23, 2019. Accessed: Apr. 22, 2022. [Online]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=IFME&u=googlescholar&id=GALE%7CA612929149&v=2.1&it=r&sid=IFME&asid=237876aa>
- [52] I. R. Alves Silva, F. S. M. De Albuquerque, J. De Souza Aquino, And V. Queiroga Neto, “efeito da modificação química por reação de cross-linking nas propriedades do amido de semente de abacate (*Persea americana* Mill),” *Bol. do Cent. Pesqui. Process. Aliment.*, vol. 31, no. 2, pp. 295–308, 2013, Accessed: Oct. 31, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/34852>
- [53] L. Chel-Guerrero, E. Barbosa-Martín, A. Martínez-Antonio, E. González-Mondragón, and D. Betancur-Ancona, “Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 86, pp. 302–308, May 2016, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2016.01.052.
- [54] N. Dios-Avila *et al.*, “Caracterización estructural y fisicoquímica de almidones de semilla de aguacate modificados mediante hidrólisis ácida a alta temperatura | Revista Bio Ciencias,” *Revista Bio Ciencias*, 2022. Accessed: Oct. 01, 2022. [Online]. Available: <https://revistabiociencias.uan.edu.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/e1272/pdf>
- [55] S. H. F. Martins, K. V. Pontes, R. L. Fialho, and F. M. Fakhouri, “Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications,” *J. Agric. Food Res.*, vol. 8, p. 100303, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.JAFR.2022.100303.
- [56] M. H. S. Ginting, R. Hasibuan, M. Lubis, F. Alanjani, F. A. Winoto, and R. C. Siregar, “Supply of avocado starch (*Persea americana* mill) as bioplastic material,” *IOP Publ. Ltd*, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012098.

- [57] A. Vera Bravo and M. A. Chavarria, "Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca," *Revista de ciencia y tecnología*, Aug. 31, 2020. Accessed: Nov. 11, 2022. [Online]. Available: <https://www.camjol.info/index.php/elhigo/article/view/10550/12292>
- [58] B. Marquez, "Cenizas Y Grasas," Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa, 2014. Accessed: Nov. 11, 2022. [Online]. Available: <Http://Repositorio.Unsa.Edu.Pe/Bitstream/Handle/Unsa/4188/lamasibm024.Pdf?SeQuence=1&lsa>
- [59] N. C. Ejiofor, E. Ezeagu, M. Ayoola, And E. Arinze, "Determination Of The Chemical Composition Of Avocado (*Persea Americana*) Seed," *Adv. Food Technol. Nutr. Sci.*, Feb. 2018, Doi: 10.17140/Aftnsoj-Se-2-107.
- [60] M. Cornelia and A. Christianti, "Utilization Of Modified Starch From Avocado (*Persea Americana* Mill.) Seed In Cream Soup Production," *Iop Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 102, P. 12074, 2018, Doi: 10.1088/1755-1315/102/1/012074.
- [61] M. Ajcip, "Evaluación Del Comportamiento De La Electrorreología Del Almidón A Través De Campos Eléctricos Inducidos Por Una Corriente Eléctrica," Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2017. Accessed: Sep. 01, 2022. [Online]. Available: [http://www.repositorio.usac.edu.gt/6453/1/Marvin Danilo Ajcip Xuyá.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/6453/1/Marvin%20Danilo%20Ajcip%20Xuy%C3%A1.pdf)
- [62] D. Escobar, A. Sala, C. Silvera, R. Harispe, and R. Márquez, "Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base a aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador," *Rev. DEL Lab. Tecnológico Del Uruguay*, 2009, Accessed: oct. 03, 2022. [Online]. Available: https://catalogo.latu.org.uy/opac_css/doc_num.php?explnum_id=462#:~:text=Un ejemplo es el método, controladas%2C formándose así la película
- [63] L. do Val Siqueira, C. I. La Fuente Arias, B. Chierigato Maniglia, and C. C. Tadini, "Starch-based biodegradable plastics: methods of production, challenges and future perspectives," *Curr. Opin. Food Sci.*, vol. 38, pp. 122–130, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.COFS.2020.10.020.

- [64] I. Pilla, "Desarrollo De Un Material Termoplástico Obtenido A Partir De Almidón De Oca (*Oxalis Tuberosa*) Y Plastificantes Proyecto Previo A La Obtención Del Título De Ingeniero Químico," Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2017. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17060/1/CD-7643.pdf>
- [65] R. Álvarez, "Formulación De Un Recubrimiento Comestible Para Frutas Cítricas, Estudio De Si Impacto Mediante Aproximación Metabólica Y Evaluación De La Calidad Poscosecha.," 2012, Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: https://Bibliotecadigital.Udea.Edu.Co/Bitstream/10495/1618/1/Alvarezrafael_2012_Recubrimientofrutascitricas.Pdf
- [66] L. Jeréz, "Control De La Inversión De La Sacarosa En El Proceso De Elaboración De Jarabe Simple De Bebidas Carbonatadas," Universidad De San Carlos De Guatemala, Guatemala, 2008. Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: [Http://Biblioteca.Usac.Edu.Gt/Tesis/08/08_1078_Q.Pdf](http://Biblioteca.Usac.Edu.Gt/Tesis/08/08_1078_Q.Pdf)
- [66] M. Enríquez, R. Velasco, And V. Ortiz, "Composición Y Procesamiento De Películas Biodegradables Basadas En Almidón Composition And Processing Of Starch-Based Biodegradable Films. Composição E Transformação De Filmes Biodegradáveis À Base De Amido," *Biotecnol. En El Sect. Agropecu. Y Agroindustrial*, 2011, Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: [Http://www.Scielo.Org.Co/Pdf/Bsaa/V10n1/V10n1a21.Pdf](http://www.Scielo.Org.Co/Pdf/Bsaa/V10n1/V10n1a21.Pdf)
- [67] "Ficha Técnica Sorbitol," *La Despensa Del Jabón*, 2013, Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: https://www.Ladespensadeljabon.Com/Webroot/Storees3/Shops/Ec4758/53b1/3D82/61dd/2f18/3e43/Ac10/1417/2820/Ft_Sorbitol.Pdf
- [68] J. Meneses, "Estudio Para Plastificación Del Almidón De Papa: Proceso, Estructura Y Propiedades Propuesta Presentada Por," Universidad De Los Andes, Bogotá, 2022. Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: <https://Repositorio.Uniandes.Edu.Co/Bitstream/Handle/1992/56502/26577.Pdf?Seq uEnce=1>

- [69] L. C. Da Cruz, C. S. De Miranda, W. J. Dos Santosa, A. P. B. Gonçalves, J. C. De Oliveira, And N. M. José, "Development of Starch Biofilms Using Different Carboxylic Acids as Plasticizers," *Scielo Mater. Res.*, Vol. 18, Pp. 297–301, Dec. 2015, Doi: 10.1590/1516-1439.370814.
- [70] "Uso De Mezcla De Dos Antioxidantes En Polietileno," *Plast. Technol. México*, Sep. 2018, Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.pt-mexico.com/articulos/uso-de-mezcla-de-dos-antioxidantes-en-polietileno>
- [71] H. Marcelo Serra And T. Analía Cafaro, "Ácido Ascórbico: Desde La Química Hasta Su Crucial Función Protectora En Ojo Ascorbic Acid: From Chemistry To Its Crucial Protective Role In The Eye," *Redalyc Acta Bioquímica Clínica Latinoam.*, 2007, Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/535/53541410.pdf>
- [72] C. Estupiñan, "Estudio Comparativo Del Contenido De Ácido Ascórbico Del Mucílago De Aloe Vera (Aloe Barbadensis Miller.), Entre Diferentes Cultivos Del Departamento De Risaralda, Colombia. Por Cromatografía Líquida De Alta Eficiencia (Clae)," Universidad Tecnológica De Pereira, Pereira, 2012. Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/21801/64467_64990.pdf?sequence=1&isallowed=Y
- [73] S. Collazo, R. Ortega, P. Talens, And A. Chiralt, "Films Biodegradables A Base De Almidón De Maíz Y Policaprolactona: Efecto Del Ácido Cítrico Como Agente De Entrecruzamiento", Accessed: Sep. 02, 2022. [Online]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/tfm_sofia_collazo.pdf;sequence=1#:~:text=Al Adicionar Ácido Cítrico A,Entrecruzamiento Que Puede Tener El](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/tfm_sofia_collazo.pdf;sequence=1#:~:text=Al%20adicionar%20ácido%20cítrico%20a%20entrecruzamiento%20que%20puede%20tener%20el)
- [74] F. H. Otey and R. P. Westhoff, "Biodegradable Film Compositions Prepared From Starch And Copolymers Of Ethylene And Acrylacd," 837,491, Jan. 1979 Accessed: Sep. 04, 2022. [Online]. Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/69/D2/7e/1d68797e46e5ae/US4133>

784.Pdf

- [75] N. Bölgen, "Biodegradable Polymeric Micelles For Drug Delivery Applications," *Stimuli Responsive Polym. Nanocarriers Drug Deliv. Appl. Vol. 1 Types Triggers*, Pp. 635–651, Jan. 2018, Doi: 10.1016/B978-0-08-101997-9.00027-8.
- [76] M. A. Garcia, "Películas Y Cubiertas De Quitosana En La Conservación De Vegetales," *J. Contrib. Aquadoc*, 2008, Accessed: Nov. 30, 2022. [Online]. Available: [https://Aquadocs.Org/Bitstream/Handle/1834/4724/Reseñamario A..Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y](https://Aquadocs.Org/Bitstream/Handle/1834/4724/ReseñamarioA..Pdf?Sequence=1&Isallowed=Y)
- [77] I. Chakraborty *Et Al.*, "Preparation And Characterization Of Citric Acid Crosslinked Starch Based Bioplastic," *Mater. Today Proc.*, Vol. 55, Pp. 26–30, Jan. 2022, Doi: 10.1016/J.Matpr.2021.11.649.
- [78] M. L. Mendoza, "Elaboración De Biopelícula Biodegradable A Partir Del Desecho Industrial De La Semilla De Aguacate (Persea Americana), Para Sustituir Alternativamente Materiales Obtenidos De Polímeros Sintéticos," Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, 2021.
- [79] H. J. Park And M. S. Chinnan, "Gas And Water Vapor Barrier Properties Of Edible Films From Protein And Cellulosic Materials," *J. Food Eng.*, Vol. 25, No. 4, Pp. 497–507, Jan. 1995, Doi: 10.1016/0260-8774(94)00029-9.
- [80] A. Armijos, "Obtención De Bioplástico A Partir Del Almidón De Semillas De Yaca (Artocarpus Heterophyllus) Y Aguacate Hass (Persea Americana) Para Su Uso En El Recubrimiento De Alimentos," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2021. Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: [Http://Dspace.Espoch.Edu.Ec/Bitstream/123456789/16824/1/96t00729.Pdf](http://Dspace.Espoch.Edu.Ec/Bitstream/123456789/16824/1/96t00729.Pdf)
- [81] O. A. Granda, "Desarrollo De Películas Biodegradables Usando Zeolitas Impregnadas Con Plata | Avances Investigación En Ingeniería," Mar. 2021, Accessed: nov. 30, 2022. [Online]. Available: <https://Revistas.Unilibre.Edu.Co/Index.Php/Avances/Article/View/6751/6726>
- [82] "Determinación De Las Densidades De Un Sólido Y De Un Líquido, Utilizando La

Balanza De Jolly.” Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: [https://Personales.Unican.Es/Lopezqm/Fbe/Laspracticass/Experim_201415/D_BalanzaAjolly\(Mer\)14_15. Pdf](https://Personales.Unican.Es/Lopezqm/Fbe/Laspracticass/Experim_201415/D_BalanzaAjolly(Mer)14_15.Pdf)

- [83] H. Sanchez, W. Ponce, B. Brito, W. Viera, R. Baquerizo, and M. Riera, “Biofilms Production from Avocado Waste,” *Editor. Pontif. Univ. Javeriana*, vol. 25, 2021, Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/iyu/article/view/29301>
- [84] A. Garces and Y. Hernandez, “Evaluación de películas poliméricas basadas en almidon de maíz, ácido poliláctico y polivinil alcohol como alternativa para la sustitución de polimeros convencionales a nivel laboratorio,” *Fundacion Universidad de America, Bogota*, 2020. Accessed: Dec. 01, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7790/1/6132199-2020-1-IQ.pdf>
- [85] O. Neira, “Evaluación de propiedades de transporte y mecánicas de biopelículas a base de almidón de jícama,” *universidad autónoma agraria, Coahuila México*, 2015. Accessed: Nov. 30, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7679/T20666-NEIRA-ESPERICUETA%2COLGAESTEFANIA63741.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [86] H. Palma-Rodríguez, R. Salgado-Delgado, D. Páramo-Calderón, A. Vargas-Torres, and M. Meza-Nieto, “Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche,” *Scielo*, vol. 27, no. 1, pp. 26–33, Mar. 2017, doi: 10.15174/AU.2017.1215.
- [87] “The Definitive Guide to ASTM D882 Tensile Testing of Thin Plastic Film -,” *Illinois Tool Works (Instron)*. <https://www.instron.com/en/testing-solutions/astm-standards/astm-d882> (accessed Dec. 02, 2022).
- [88] “Lavadora industrial de frutas y verduras - Fiel fabricante industrial,” *Shandong Loyal Industrial*, 2022. <https://es.loyalfoodmachine.com/industrial-fruit-and-vegetable-washing-machine/> (accessed Dec. 02, 2022).

- [89] “Deshidratador de frutas, verduras, aromáticas, etc by Maquipres Col - Issuu,” *Maquipres (Maquinaria para procesos especiales)*. <https://issuu.com/deshidratador/docs/deshidratador> (accessed Dec. 02, 2022).
- [90] “Máquina Peladora De Mijo,Grano De Trigo Sarraceno,Descascarillado De Piel,Descascarador,Venta Caliente Buy Grain Sorting Machine,Seed Cleaner,Grain Cleaning Machine Product on Alibaba.com,” *Alibaba*, 2022. https://spanish.alibaba.com/p-detail/Hot-1600454470555.html?spm=a2700.7724857.topad_creative.d_image.5c834d77cmj2Zv (accessed Dec. 02, 2022).
- [91] “Triturador industrial 2 ejes serie F10,” *Satrind Tech*, 2016. <https://satrindtech.com/es/triturador-industrial-2-ejes-serie-f10/> (accessed Dec. 02, 2022).
- [92] Groupe Fideid, “Mezcladora cónica,” *PalamaticProcess*. <https://www.palamaticprocess.es/maquinas-industriales/mezclador-conico> (accessed Dec. 02, 2022).
- [93] “Malla el 127cm de nylon no tóxica del filtro poliamida de 30 micrones para la pantalla de filtro de aceite,” *screenmeshne*. <https://spanish.screenmeshnet.com/sale-11098064-non-toxic-127cm-nylon-filter-mesh-30-micron-polyamide-for-oil-filter-screen.html> (accessed Dec. 04, 2022).
- [94] Groupe Fideip, “Molino industrial,” *Palamatic Process*. <https://www.palamaticprocess.es/maquinas-industriales/molinos-industriales> (accessed Dec. 02, 2022).
- [95] “Mezclador De Tanque Industrial Con Calentador,” *Alibaba*, 2022. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/industrial-60373136789.html?s=p> (accessed Dec. 02, 2022).
- [95] “Filtros Centrífugos Industriales De Alta Eficiencia,Decantadores Centrífugos Con Sistema Diferencial De Espiral Hidráulica ,” *Alibaba*, 2022. <https://spanish.alibaba.com/p-detail/High-1600597080108.html?spm=a2700.7724857.0.0.597670cfhzqfhy&s=p>(accessed

Dec. 02, 2022).

- [96] “Tanque De Sedimentación Industrial,Sedimentador De Tubo De Placa Inclinada,Pretratamiento De Aguas Residuales,Clarificador De Láminas Wwtp ,” *Alibaba*, 2022. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/Industrial-Sedimentation-Tank-Inclined-Plate-tube-62464212061.html> (accessed Dec. 02, 2022).

GLOSARIO

Biopelícula: las películas son membranas que solidifican en condiciones ambientales o controladas y que están conformadas por polímeros orgánicos y por compuestos plastificantes como la glicerina.

Almidón: sustancia con textura de polvo, inodora y generalmente de color blanco con propiedades variadas.

Amilopectina: componente del almidón se encuentra situada en las capas exteriores, contiene enlaces glicosídicos α -1,4.

Amilosa: es una cadena lineal de monómeros de unidades de glucosa.

Acetilación: reacción química en la que un grupo acetyl se añade a otras moléculas.

Ácido acético: compuesto orgánico incoloro con olor a arce y son sabor agrio bastante marcado.

Bisulfito de sodio: sal ácida que se comporta como un agente reductor y funciona como conservante e inhibidor de crecimiento microbiano.

Glicerina: es un alcohol con tres grupos hidroxilos con un coeficiente de viscosidad alto, no tiene color, es fácilmente soluble en agua el cual se descompone en ebullición.

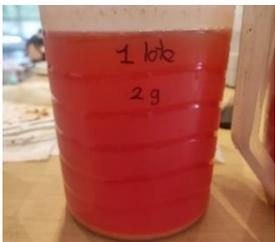
Secado: operación unitaria de conservación basada en la eliminación de agua libre del material.

Método húmedo: procedimiento que permite extraer el almidón, se inicia reduciendo el tamaño del fruto, para luego tritarlo, y con la ayuda del agua, eliminar fibra y proteína, que posteriormente se elimina el agua por decantación y al final, secar la materia, para obtener el almidón

Método Casting: proceso artesanal para la elaboración de biopelículas que consiste en una mezcla de diferentes aditivos y se realizará un moldeo para dar forma al producto de interés.

ANEXOS

**ANEXO 1
OBTENCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DEL MÉTODO HÚMEDO**

Método húmedo			
Materia prima	Descascarillado	Corte	Licuada
			
Filtrado	Sedimentación 2g BS	Sedimentación 5g BS	Sedimentación 10g BS
			
Decantación	Lavado y sedimentado 1	Decantación 1	Lavado y sedimentado 2
			
Decantación 2	Lavado y sedimentado 3		Decantación 3
			

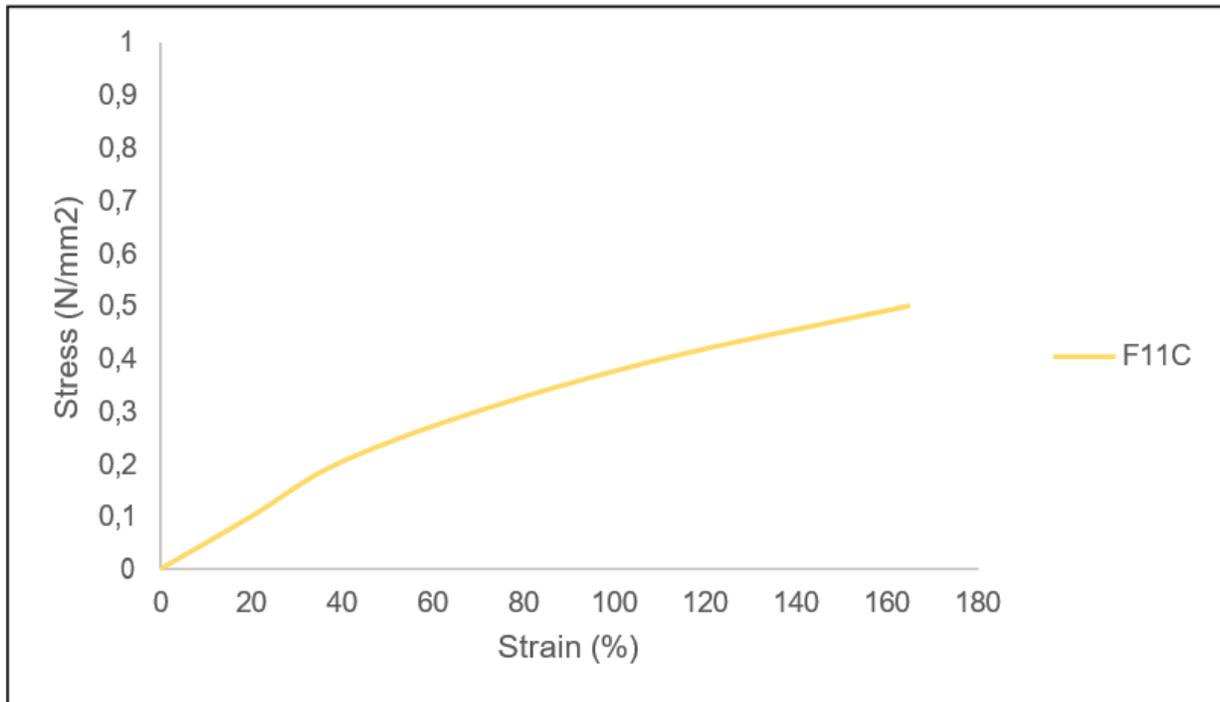
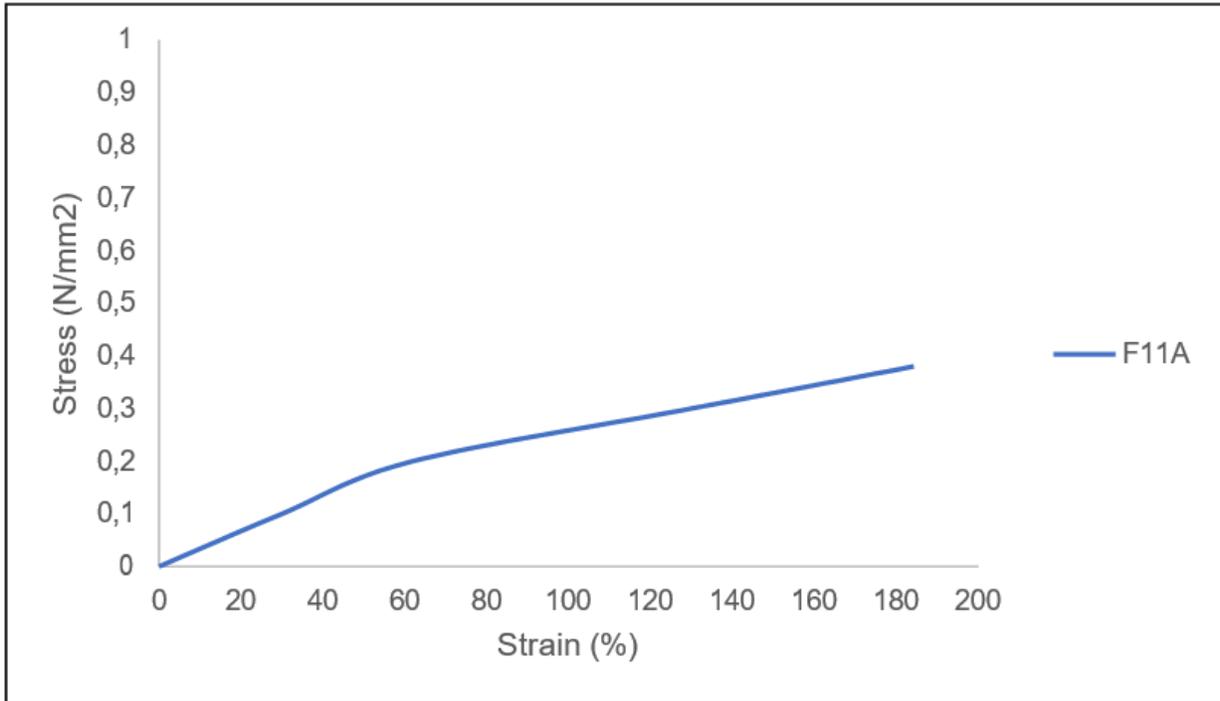
Método húmedo		
Secado 2g antes	Secado 5g antes	Secado 10g antes
		
Secado 2g	Secado 5g	Secado 10g
		
Molienda 2g	Molienda 5g	Molienda 10g
		

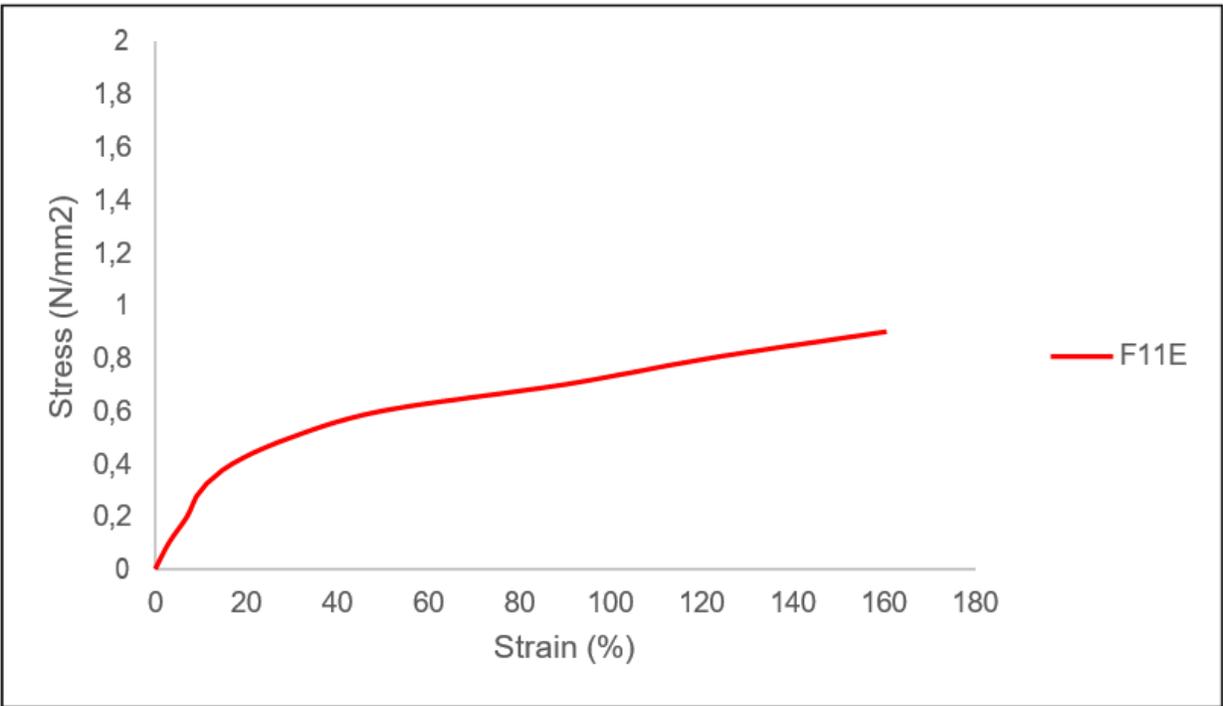
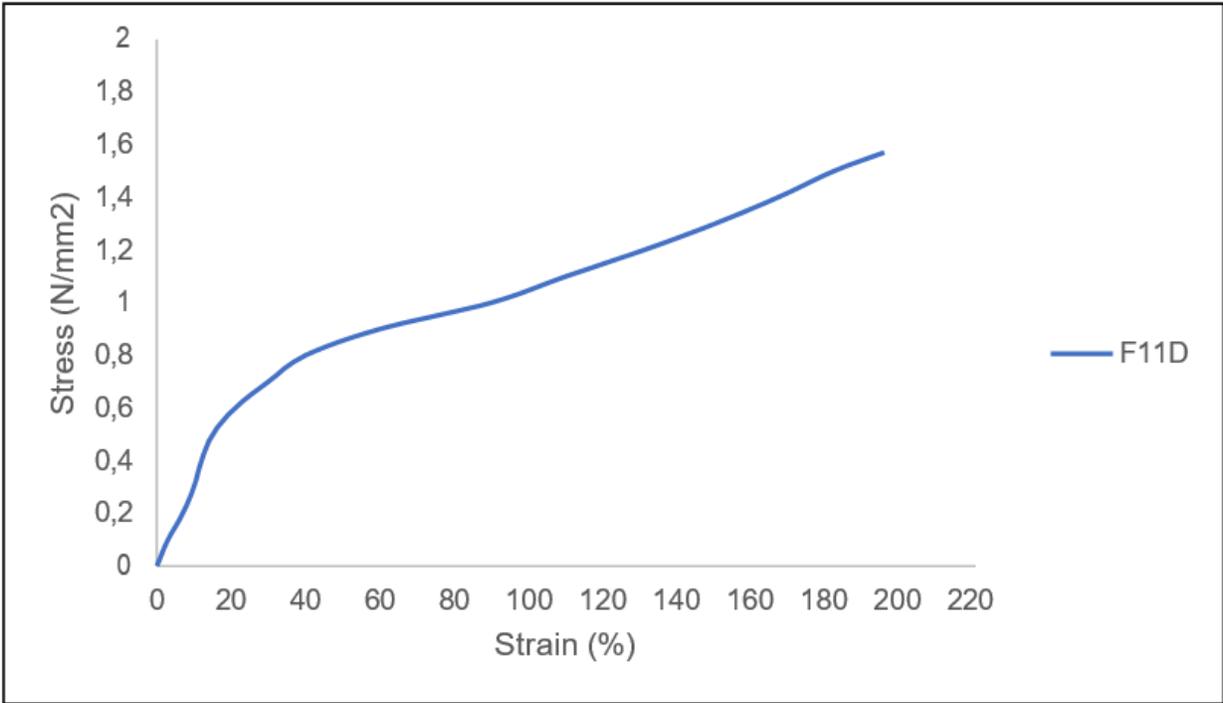
Método seco			
Materia prima	Descascarillado	Cortado	Molienda
			
Secado	Pulverizado	Tamizado	Almacenamiento

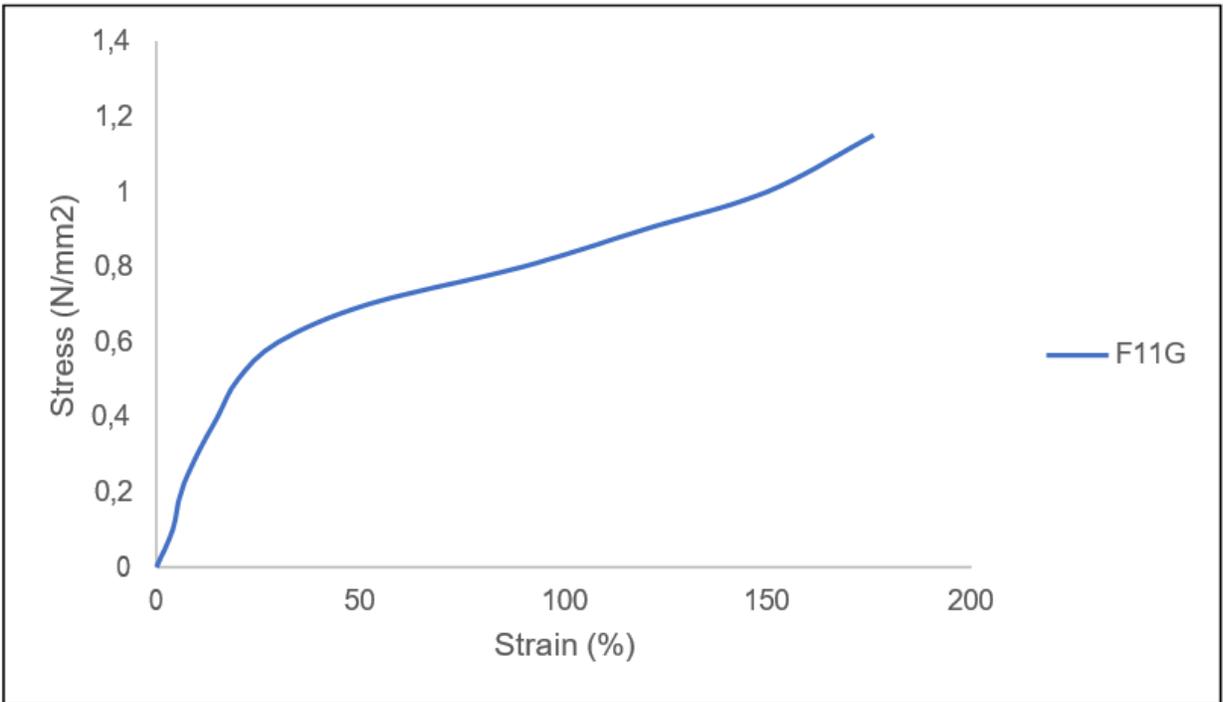
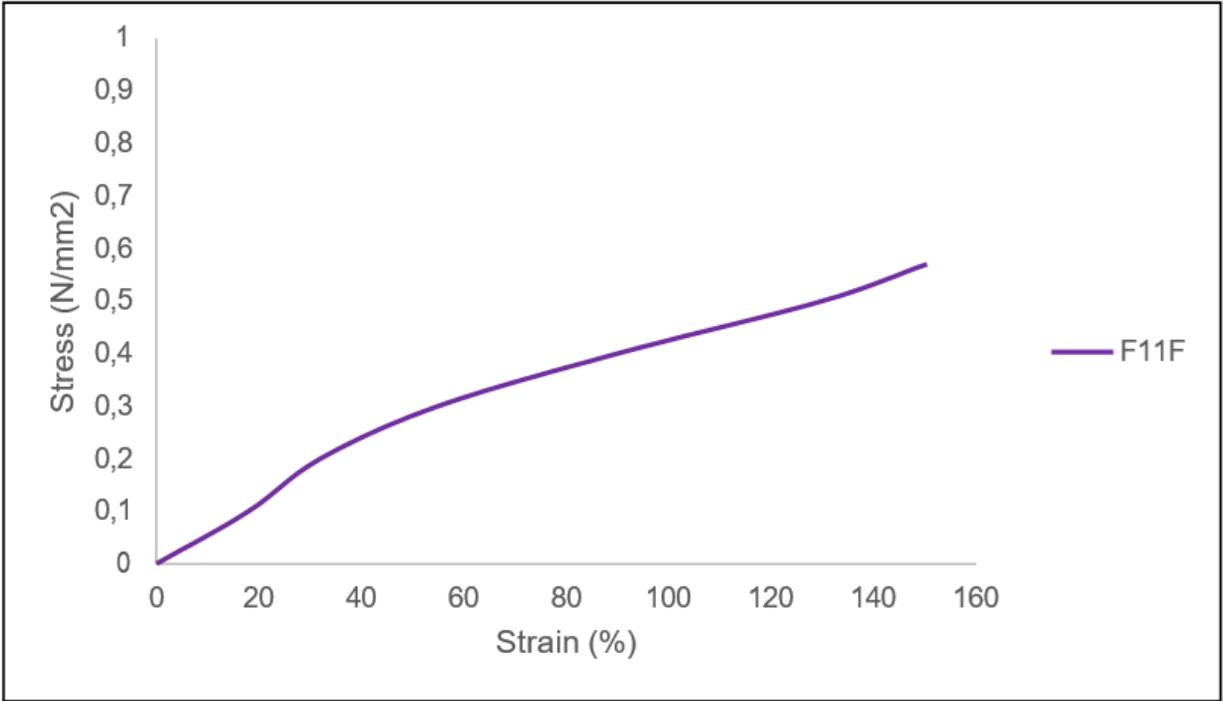


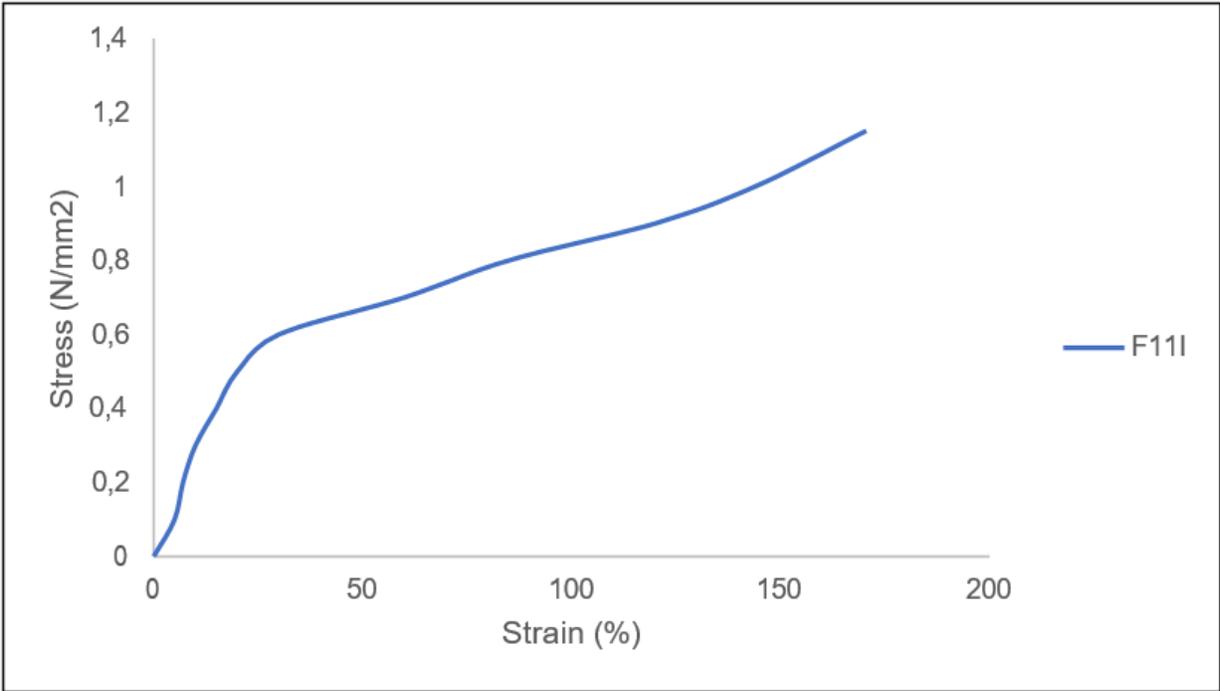
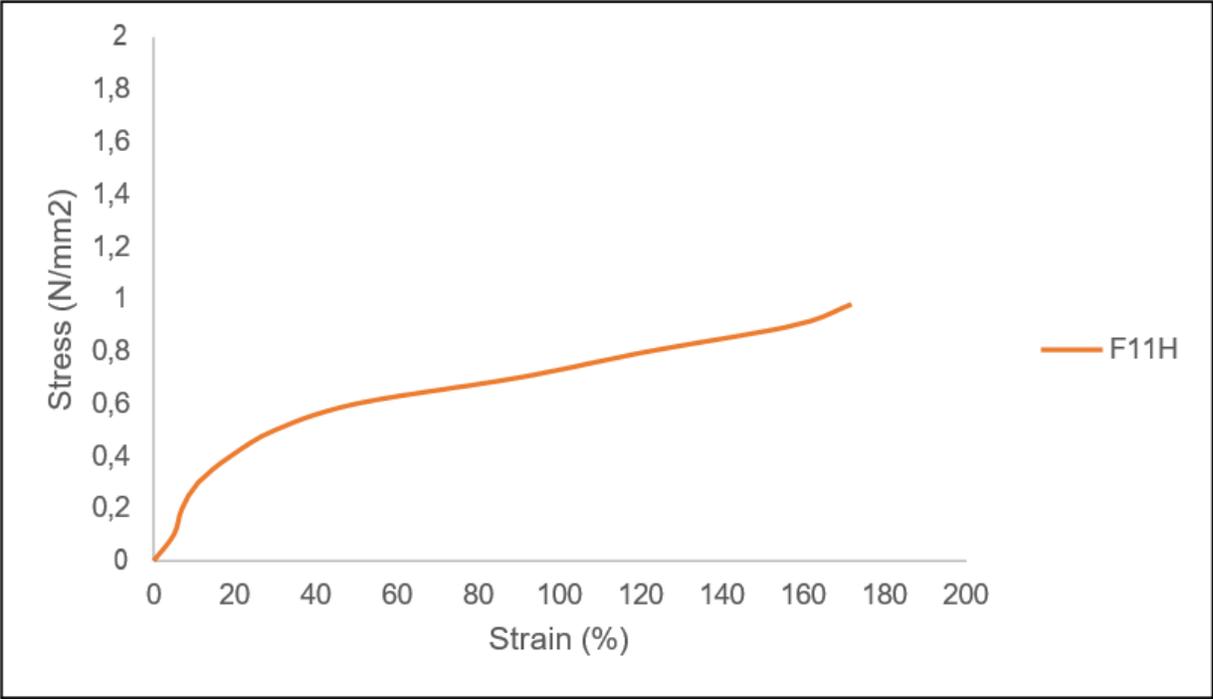
ANEXO 2.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE TRACCIÓN









ANEXO 3.

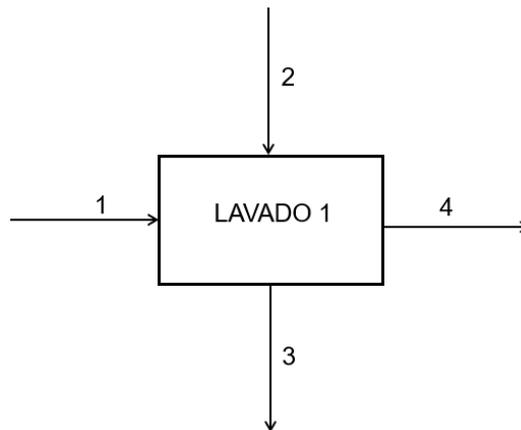
BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO POR CADA ETAPA

- **Balance de materia para la etapa de lavado**

Para la extracción de almidón la primera etapa que se debe considerar en el balance de masa es el lavado al cual ingresa agua y las semillas de aguacate extraídas para remover sus impurezas como se observa en la figura 14.

Figura 58

Volumen de control para la etapa de lavado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de lavado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_1 + m_2 - m_4 = m_3$$

$$(9615,38 + 57692,31 - 9855,77) \text{ kg} = m_3$$

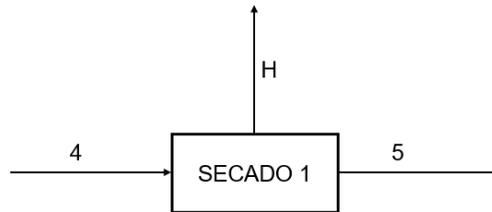
$$57451,92 \text{ kg} = m_3$$

- **Balance de materia para la etapa de secado**

Posteriormente, encontramos la etapa de secado a la cual ingresa la corriente que contiene las semillas de aguacate y agua, esta etapa se hace con el fin de remover la humedad de nuestra materia prima.

Figura 59

Volumen de control para la etapa de secado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de secado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_4 - m_5 = H$$

$$(9855,77 - 8961,54) \text{ kg} = H$$

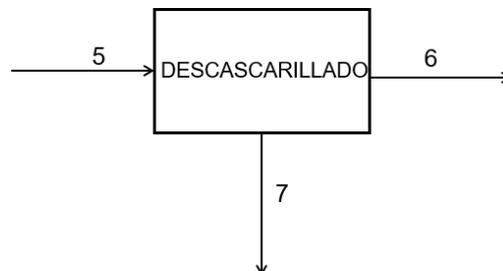
$$894,23 \text{ kg} = H$$

- **Balance de materia para la etapa de descascarillado**

En la etapa de descascarillado se elimina la cascara que cubre las semillas de aguacate, ya que esta no es necesaria para el proceso, obteniendo nuestra materia prima lista para la siguiente operación unitaria. En esta etapa se tienen unas pérdidas que corresponden a la cascara extraída de la semilla de aguacate.

Figura 60

Volumen de control para la etapa de descascarillado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de descascarillado

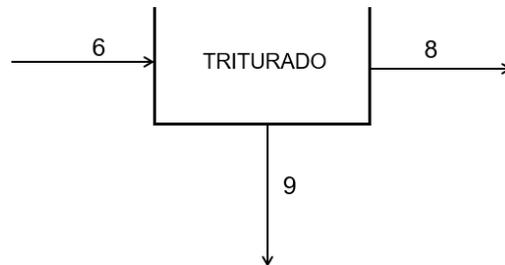
En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

- **Balance de materia para la etapa de triturado**

En la fase de trituración ingresa la corriente de materia prima y se obtienen pérdidas junto con la corriente principal de salida que contiene las semillas de aguacate con un diámetro menor.

Figura 61

Volumen de control para la etapa de triturado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de triturado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_6 - m_8 = m_9$$

$$(8759,62 - 8576,92) \text{ kg} = m_9$$

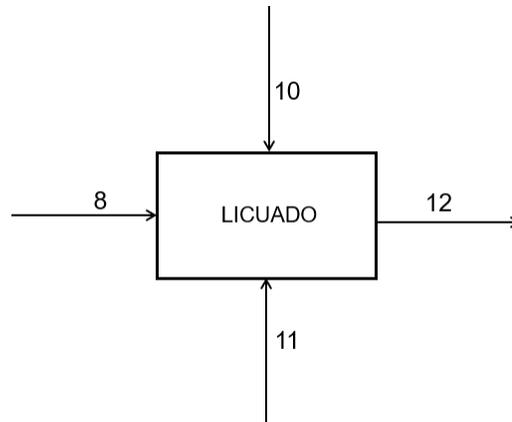
$$182,69 \text{ kg} = m_9$$

- **Balance de materia para la etapa de licuado**

En la etapa de licuado, ingresan dos nuevas corrientes una que contiene bisulfato de sodio y otra que contiene agua, dando como resultado una mezcla de todas las materias primas.

Figura 62

Volumen de control para la etapa de licuado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de licuado.

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_8 + m_{10} + m_{11} = m_{12}$$

$$(8576,92 + 17153,85 + 96,15) \text{ kg} = m_{12}$$

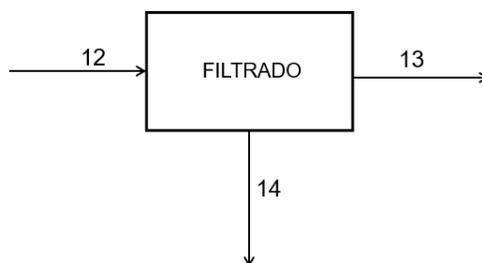
$$25826,92 \text{ kg} = m_{12}$$

• Balance de materia para la etapa de filtrado

Luego, en el proceso de filtrado ingresa la corriente que contiene la mezcla y se separan los sólidos (fibra y otros compuestos) de la parte líquida que contiene nuestro producto de interés.

Figura 63

Volumen de control para la etapa de filtrado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de filtrado.

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{12} - m_{13} = m_{14}$$

$$(25826,92 - 19711,54)kg = m_{14}$$

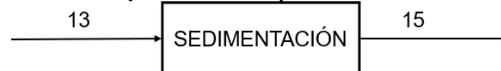
$$6115,38kg = m_{14}$$

- **Balance de materia para la etapa de sedimentación**

El líquido que fue separado en la etapa anterior se deja sedimentar para que precipite nuestro producto de interés (almidón) por diferencia de densidades y por acción de la gravedad. En esta etapa se asume que no hay pérdidas por lo que la entrada es igual a la salida.

Figura 64

Volumen de control para la etapa de sedimentación



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de sedimentación

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{13} = m_{15}$$

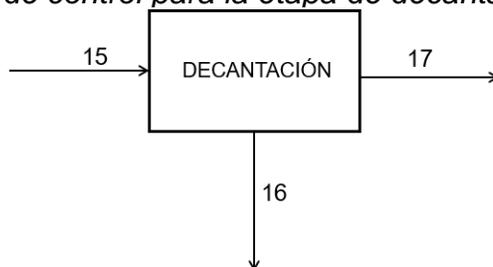
$$19711,54kg = m_{15}$$

- **Balance de materia para la etapa de decantación**

Posteriormente, la corriente de entrada se debe separar en una parte líquida y una parte sólida, este proceso se realiza en un decantador del cual se obtiene el almidón como se observa a continuación:

Figura 65

Volumen de control para la etapa de decantación



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de decantación

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{15} - m_{16} = m_{17}$$

$$(19711,54 - 11509,62) \text{ kg} = m_{17}$$

$$8182,69 \text{ kg} = m_{17}$$

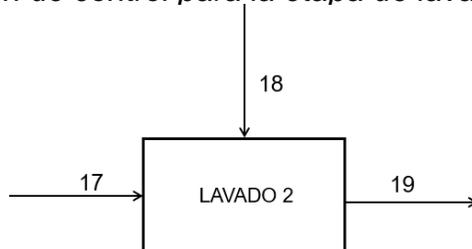
Una vez obtenido el almidón se usa agua para lavarlo y con esto obtener un producto más clarificado, de esta etapa se obtiene agua con impurezas y almidón con agua.

El almidón con agua se debe volver a sedimentar y decantar para obtener el producto de interés separado, cabe resaltar que este mismo proceso se repite dos veces más con el fin de obtener un almidón más blanco.

Segundo lavado

Figura 66

Volumen de control para la etapa de lavado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de lavado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{17} + m_{18} = m_{19}$$

$$(8182,69 + 2019,26) \text{ kg} = m_{19}$$

$$10201,92 \text{ kg} = m_{19}$$

Segunda decantación

$$m_{19} - m_{20} = m_{21}$$

$$(10201,92 - 5596,15) \text{ kg} = m_{21}$$

$$4605,77 \text{ kg} = m_{21}$$

Tercer lavado

$$m_{21} + m_{22} = m_{23}$$

$$(4605,77 + 2019,26) \text{ kg} = m_{23}$$

$$6625 \text{ kg} = m_{23}$$

Tercera decantación

$$m_{23} - m_{24} = m_{25}$$

$$(6625 - 2057,69) \text{ kg} = m_{25}$$

$$4509,62 \text{ kg} = m_{25}$$

Cuarto lavado

$$m_{25} + m_{26} = m_{27}$$

$$(4509,62 + 2019,26) \text{ kg} = m_{27}$$

$$6528,85 \text{ kg} = m_{27}$$

Cuarta decantación

$$m_{27} - m_{28} = m_{29}$$

$$(6528,85 - 2201,92) \text{ kg} = m_{29}$$

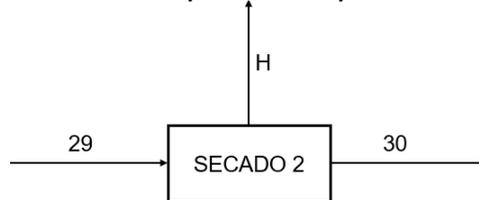
$$4278,85 \text{ kg} = m_{29}$$

- **Balance de materia para la etapa de secado**

Posteriormente, cuando ya se tiene el almidón separado se lleva al proceso de secado con el fin de retirar la mayor cantidad de humedad posible.

Figura 67

Volumen de control para la etapa de secado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de secado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{29} - m_{30} = H$$

$$(4278,85 - 1063,46) \text{ kg} = H$$

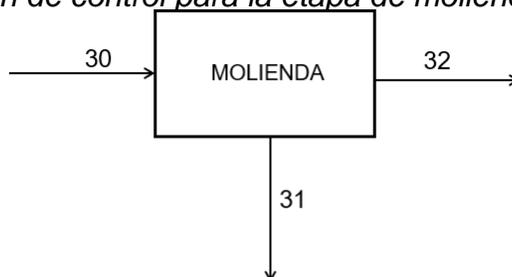
$$3215,38 \text{ kg} = H$$

- **Balance de materia para la etapa de molienda**

Finalmente, el almidón que fue secado pasa a la etapa de molienda con el fin de disminuir su tamaño de partícula y obtener un polvo, en esta etapa se tienen unas pérdidas de 63,46 kg.

Figura 68

Volumen de control para la etapa de molienda



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de molienda

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{30} - m_{32} = m_{31}$$

$$(1063,46 - 1000) \text{ kg} = m_{31}$$

$$63,46 \text{ kg} = m_{31}$$

Balance de materia elaboración de la biopelícula

- **Balance de materia para la etapa de mezcla**

Se pesa las cantidades establecidas de almidón de semilla de aguacate y esta se mezclará con agua destilada, ácido acético, ácido cítrico y el glicerol en un vaso precipitado, con agitación constante.

Figura 69

Volumen de control para la etapa de la mezcla



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de mezcla

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{32} + m_{33} + m_{34} + m_{35} = m_{36}$$

$$(1000 + 445 + 3000 + 5555) \text{ kg} = m_{36}$$

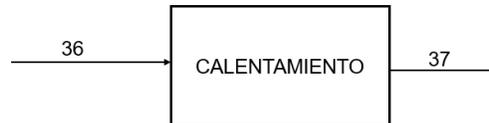
$$10.000 \text{ kg} = m_{36}$$

- **Balance de materia para la etapa de calentamiento**

La mezcla pasará a un proceso de baño termostático con agitación constante hasta que se pueda observar una consistencia pastosa a una temperatura de 85°C.

Figura 70

Volumen de control para la etapa de calentamiento



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de calentamiento

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{36} = m_{37}$$

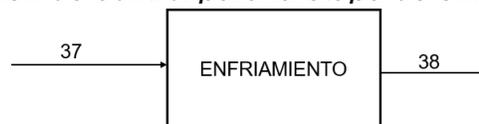
$$10.000 \text{ kg} = m_{37}$$

- **Balance de materia para la etapa de enfriamiento**

La mezcla pasará a un proceso de enfriamiento hasta una temperatura de 40°C.

Figura 71

Volumen de control para la etapa de enfriamiento



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de enfriamiento

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior, en la cual se asume que no hay pérdidas.

$$m_{37} = m_{38}$$

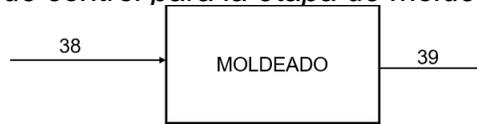
$$10.000 \text{ kg} = m_{38}$$

- **Balance de materia para la etapa de moldeado**

La mezcla se coloca en placas de acrílico extendiendo una capa bastante fina

Figura 72

Volumen de control para la etapa de moldeado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de mezclado

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{38} = m_{39}$$

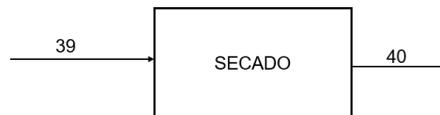
$$10.000 \text{ kg} = m_{39}$$

- **Balance de materia para la etapa de secado**

Finalmente, las placas de acrílico se dejan secar en estufa a 65°C por 6 horas.

Figura 73

Volumen de control para la etapa de secado



Nota. Corrientes de entrada y salida a la etapa de secado.

En la siguiente ecuación se puede observar el balance de masa para la figura anterior:

$$m_{39} = m_{40}$$

$$10.000 \text{ kg} = m_{40}$$

ANEXO 4

RECOMENDACIONES

El proceso de limpieza y pelado de las semillas de aguacate se debe realizar el mismo día en el que se vaya a obtener el almidón, debido a que la cascara de la semilla minimiza la generación de hongos.

Se propone un tiempo de secado considerable en las semillas de aguacate recolectadas, para que se logre retirar su cascara de forma fácil y completamente antes de trabajarlas.

Es importante el proceso de filtración del material para el proceso de extracción de almidón, es por ello por lo que se recomienda usar filtros de tela de alta calidad puesto que estos afectan directamente la realización de este paso.

Se propone un tiempo de sedimentación alto antes de entrar el almidón al horno, lo que garantiza bajar el número de impurezas y desperdicios que se presenten en el proceso de secado.

Se recomienda preservar el almidón extraído de la semilla de aguacate en bolsas herméticas y bajo temperatura ambiente para conservar sus propiedades, en caso de que el almidón se requiera utilizar después de dos meses de extraído

Durante la elaboración de las biopelículas se recomienda que la capa que se ponga sobre la placa de acrílico sea delgada, dado que si se hace muy gruesa la contextura obtenida es diferente.

Después de secar las biopelículas se deben poner en el desecador para que no adquiera humedad del ambiente y no pierda sus propiedades.

Se debe hacer un análisis detallado de cómo afecta el espesor a los resultados de las pruebas de tracción y además realizar estas para diferentes muestras no solo para una réplica.

Se debe realizar una caracterización más detallada incluyendo pruebas de biodegradabilidad, % de humedad y permeabilidad para saber a qué industria se acerca la biopelícula obtenida.