

**DESARROLLO DE UNA BIOPELICULA PARTIENDO DE CÁSCARA DE BANANO Y
FIBRA NATURAL COMO AGENTE DE REFUERZO A NIVEL LABORATORIO**

**ANGÉLICA PAOLA OSORIO HERRERA
KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FALCULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2019**

**DESARROLLO DE UNA BIOPELICULA PARTIENDO DE CASCARA DE BANANO Y
FIBRA NATURAL COMO AGENTE DE REFUERZO A NIVEL LABORATORIO**

**ANGELICA PAOLA OSORIO HERRERA
KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ**

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

**Director
José Miguel Ceballos
Ingeniero Electrónico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FALCULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C.
2019**

Nota de aceptación

Ingeniero Dany José Cárdenas Romay

Ingeniero William Javier Espitia Abril

Bogotá, D.C. Agosto De 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Postgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

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

AGRADECIMIENTOS

Gracias doy a DIOS por las bendiciones que me regalo en este hermoso sendero del aprendizaje, por mostrarme siempre el camino correcto y permitirme caminar a su lado. Gracias infinitas a mis padres Luis y Nubia a mis hermanos Lorena y Anderson por todo el apoyo, la motivación, los consejos, las palabras de aliento, la confianza depositada en mí y su incalculable amor.

Agradezco a mis compañeros de universidad por los momentos compartidos especialmente a mi compañera Angélica Osorio por su labor, a la Universidad de América por las enseñanzas y finalmente a mis familiares y amigos que hicieron parte de este proceso.

Karen Dayana Rubiano Hernández

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por darme vida, salud y una familia maravillosa. A Santa Marta por interceder por mí ante Dios para vencer todas las dificultades que se presentaron.

A mis Papas por su dedicación y apoyo, quienes siempre me han inculcado los valores y principios que debo tener para ser una buena persona, igual a mi hermana por su apoyo incondicional en todo aspecto, por su confianza, paciencia y porque me enseñó que lo que uno empieza lo termina. También a mis tías, amigas y demás familia porque hicieron parte de este camino para poder lograrlo.

Agradezco a mi novio, por su compañía y enseñarme a tener paciencia y no rendirme mediante sus palabras de aliento.

Por ultimo a mi compañera de trabajo de grado por su compromiso y dedicación; y a todas las personas que hicieron partícipes del desarrollo del proyecto.

Angelica Paola Osorio Herrera

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	20
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	21
1.2 BANANO	22
1.2.1 Origen	22
1.2.1 Clasificación Taxonómica	22
1.2.2 Caracteres Botánicos	22
1.2.3 Zonas de cultivo	23
1.2.4 Composición química	23
1.2.5 Banano en Colombia	24
1.2.6 Residuos de banano	25
1.3 LA CÁSCARA DE BANANO	25
1.3.1 Composición	25
1.3.2 Usos	26
1.3.3 Los residuos de banano	26
1.4 CARBOHIDRATOS	27
1.4.1 Monosacáridos	27
1.4.2 Disacáridos	27
1.4.3 Polisacáridos	27
1.5 ALMIDÓN	28
1.5.1 Estructura del almidón	28
1.5.1.1 Amilosa	28
1.5.1.2 Amilopectina	29
1.5.2 Tipos de Almidón	29
1.5.3 Extracción de almidón	31
1.5.3.1 Método seco	31
1.5.4 Propiedades fisicoquímicas	32
1.5.4.1 Gelatinización	32

1.5.4.2 Granulometría	32
1.5.5 Caracterización del Almidón.	32
1.5.5.1 Prueba Yodo	32
1.5.5.2 Prueba cuantitativa	32
1.6 POLÍMEROS	33
1.6.1 Polímeros biodegradables	33
1.6.1.1 No modificados	33
1.6.1.2 Sintéticos	34
1.6.1.3 Modificados	34
1.6.2 Polímeros no biodegradable.	34
1.7 PROPIEDADES MECANICAS	35
1.7.1 Ensayo de Tracción	36
1.7.2 Ensayo de Flexión.	37
1.8 FIBRAS NATURALES	37
1.9 PLASTIFICANTE	38
1.9.1 Agua	38
1.9.2 Glicerol	38
1.10 ADITIVOS	38
2. METODOLOGIA	40
2.1 PRE-EXPERIMENTACION	41
2.1.1 Método Húmedo	41
2.1.2 Método Seco	42
2.2 EXPERIMENTACION	43
2.2.1 Método seco cascara	43
2.2.3 Método seco endocarpio	44
2.3 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS	45
2.3.1 Prueba de yodo en almidón	45
2.3.2 Prueba cuantitativa de almidón	47
2.3.3 Gelatinización	48
2.3.4 Granulometría	49
2.3.5 Rendimiento	50

3. SELECCIÓN DE FIBRA COMO UN AGENTE DE REFUERZO PARA LA BIOPELÍCULA MEJORANDO LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	53
3.1 FIBRAS	53
3.1.1 Propiedades de las fibras verdes	51
3.1.2 Yute	55
3.1.3 Cáñamo	56
3.1.4 Sisal	56
3.1.5 Kenaf	56
3.1.6 Abacá	57
3.1.7 Coco	57
3.1.8 Ramio	57
3.1.9 Fique	58
3.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA	59
3.3 ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS	60
3.3.1 Materias primas	60
3.3.1.1 Almidón de cascara de banano	60
3.3.1.2 Almidón de yuca	60
3.3.1.3 Fibra de coco	60
3.3.1.4 Fibra de Fique	60
3.3.1.5 Plastificantes	60
3.3.1.6 Aditivos	61
3.3.2 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas	61
3.3.3 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas con el almidón de endocarpio.	68
3.3.4 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción del endocarpio	70
3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	74
3.4.1 Pruebas mecánica.	77
3.4.1.1 Ensayo de Tracción	78
3.4.1.2 Ensayo de Flexión	79
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LA BIOPELICULA.	86
4.1 DIAGRAMA DEL PROCESO	86

4.2 BALANCE DE MATERIA	79
4.3 REQUERIMIENTOS	83
4.3.1 Equipos y herramientas	83
5. COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA BIOPELICULA A ESCALA PILOTO.	90
5.1 INVERSIÓN DE EQUIPOS	90
5.2 INVERSION DE INSUMOS	90
5.3 MANO DE OBRA	91
5.4 SERVICIOS PUBLICOS	93
6. CONCLUSIONES	95
7. RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	102

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Valores de referencia sobre la composición química del banano por 100 g de peso	24
Tabla 2 Valores de referencia de la composición química de la cáscara de banano	26
Tabla 3 Valores de referencia sobre la caracterización de las cascara de banano y la yuca.	31
Tabla 4 Clasificación de los polímeros por su origen.	33
Tabla 5 Diferencias entre el bioplástico y el plástico.	35
Tabla 6 Rendimiento de los métodos Húmedo y Seco para la extracción de almidón.	43
Tabla 7 Prueba de yodo en el almidón.	46
Tabla 8 Resultado prueba cuantitativa de almidón.	47
Tabla 9 Resultado prueba de gelatinización de almidón.	48
Tabla 10 Análisis diferencial y acumulativo del proceso de tamizado de polvo de cascara de banano.	49
Tabla 11 Análisis diferencial y acumulativo del proceso de tamizado de polvo del endocarpio de la cascara de banano.	50
Tabla 12 Rendimientos del proceso de extracción del almidón de la cáscara de banano por el método seco.	52
Tabla 13 Propiedades mecánicas de las fibras naturales.	59
Tabla 14 Formulación para la elaboración de las biopelículas preliminares a partir de las metodologías A y B.	62
Tabla 15 Porcentajes de almidón y agua para la mezcla de gelatinización.	64
Tabla 16 Formulaciones pruebas preliminares para la elaboración de la biopelícula.	66
Tabla 17 Mejores resultados obtenido de películas con cascara de banano	67
Tabla 18 Formulaciones pruebas preliminares para la elaboración de biopelícula a partir del almidón con endocarpio.	69
Tabla 19 Formulaciones de las pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción de almidón.	72
Tabla 20 Mejores formulaciones de las pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción de almidón.	73
Tabla 21 Parámetros para el diseño de experimentos.	74
Tabla 22 Formulación para la elaboración de las biopelículas finales.	75
Tabla 23 Dimensiones de las muestras del ensayo de tracción.	78
Tabla 24 Resultados del ensayo de tensión de las muestras de biopelícula.	79
Tabla 25 Dimensiones de las muestras del ensayo de flexión.	79
Tabla 26 Resultados de ensayo de flexión.	80
Tabla 27 Composición de muestras y resultados de resistencia a la tracción y a la flexión.	83

Tabla 28	Lista de operaciones en el proceso.	86
Tabla 29	Lista de corrientes en el proceso.	79
Tabla 30	Estimación de los costos de equipos y herramientas.	90
Tabla 31	Estimación de los costos de las materias primas.	91
Tabla 32	Porcentaje de riesgo laborales.	91
Tabla 33	Estimación del costo por empleado al mes.	92
Tabla 34	Estimación costo consumo de agua.	93
Tabla 35	Estimación consumo de energía por equipo.	93

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1 Morfología de la planta de banano	23
Ilustración 2 Amilosa enlaces de D-glucosa y α 1-4	29
Ilustración 3 Amilopectina enlaces de α 1-4 y 1-6 glucosídicos	29
Ilustración 4 Mordazas y probeta tipo halterario para ensayos de tracción.	36
Ilustración 5 Fuerzas implicadas en los ensayos de flexión.	37
Ilustración 6 Grados de Maduración Escala de von Loesecke.	40
Ilustración 7 Proceso de extracción de almidón de la cascara de banano por método húmedo.	41
Ilustración 8 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banano por método seco.	42
Ilustración 9 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banano por método Seco con algunas modificaciones.	44
Ilustración 10 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banano con el endocarpio por método Seco.	45
Ilustración 11 Escala correspondiente a indicador en presencia de almidón.	48
Ilustración 12 Entradas y salidas de cada etapa en el proceso de extracción del almidón de la cáscara de banano por el método seco.	50
Ilustración 13 Entradas y salidas de cada etapa en el proceso de extracción del almidón del endocarpio por el método seco	51
Ilustración 14 Procedimiento A para la elaboración de la biopelícula.	61
Ilustración 15 Procedimiento B para la elaboración de la biopelícula.	62
Ilustración 16 Pruebas preliminares de biopelículas.	67
Ilustración 17 Pruebas preliminares de biopelículas con almidón de endocarpio	69
Ilustración 18 Procedimiento C para la elaboración de biopelícula sin proceso de extracción de almidón.	70
Ilustración 19 Procedimiento D para la elaboración de biopelícula sin proceso de extracción de almidón con almidón de yuca.	71
Ilustración 20 Pruebas preliminares de biopelículas sin proceso de extracción de almidón	73
Ilustración 21 Diagrama de flujo de la elaboración de las biopelículas.	75
Ilustración 22 Resultados finales de biopelículas muestras a temperatura Ambiente.	76
Ilustración 23 Resultados finales muestras a temperatura de 30°C.	77
Ilustración 24 Imagen de la izquierda: instalación de la muestra. Imagen de la derecha: muestra ensayada.	78
Ilustración 25 Imagen de la izquierda: instalación de la muestra. Imagen de la derecha: muestra ensayada.	80
Ilustración 26 Diagrama de proceso para la elaboración de la biopelícula.	78

Ilustración 27	Características de la mesa de trabajo en acero inoxidable.	83
Ilustración 28	Descripción de las espátulas planas de tipo rectangular.	84
Ilustración 29	Características del balde en acero inoxidable.	85
Ilustración 30	Descripción del colador de acero inoxidable.	85
Ilustración 31	Especificaciones de las láminas de vidrio.	86
Ilustración 32	Características del agitador de varilla.	86
Ilustración 33	Complemento de las características del agitador de varillas.	87
Ilustración 34	Características del baño termostático.	88
Ilustración 35	Especificaciones técnicas de la licuadora industrial.	88
Ilustración 36	Características del secador	89

GLOSARIO

ÁCIDO ACÉTICO: también llamado ácido metilcarboxílico o ácido etanoico, puede encontrarse en forma de acetato. Es el principal responsable del sabor y olor agrios del vinagre.

BIOPELÍCULA: polisacáridos que, debido a sus interacciones intermoleculares, tienen buena integridad estructural y resistencia a las propiedades mecánicas

DESHIDRATACIÓN: proceso a través del cual se extrae toda la cantidad de agua posible de un producto mediante la adición de calor a altas temperaturas

ENDOCARPIO: finas y delgadas películas de la capa interior entre la cáscara y la pulpa del plátano, en las que se concentra el almidón que caracteriza esta fruta.

ESTABILIDAD: Propiedad de un cuerpo de mantenerse en equilibrio estable o de volver a dicho estado tras sufrir una perturbación.

GELATINIZACIÓN: Proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (70 - 75°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles.

GRIETAS: Abertura alargada y con muy poca separación entre los bordes de la biopelícula.

MOLIENDA: proceso que consiste en desmenuzar una materia sólida (láminas de endocarpio), separándolos en pequeños pedazos mediante la fricción de dos piezas sólidas; hasta obtenerse polvo.

SOLUCIÓN ANTIPARDEAMIENTO: solución empleada para retrasar la oxidación de algunas frutas o verduras, cuando éstas son cortadas y quedan expuestas a oxígeno u otras bacterias.

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de una biopelícula partiendo de cascara de banano y fibra natural como agente de refuerzo. Realizando la extracción del almidón de la cascara de banano y del endocarpio por el método seco, al cual se le aplicó una prueba cualitativa y cuantitativa para confirmar la presencia y el contenido de almidón, con un rendimiento del 7,3% y 6,5%. Con el objetivo de elaborar la biopelícula se seleccionó la fibra natural a partir de su resistencia a la tracción y elongación, que fuera de fácil acceso y económica.

Se llevó a cabo el desarrollo de la biopelícula por el método de casting (vaciado en placa) del endocarpio sin extracción de almidón por el método seco, a partir de un tratamiento químico de Bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) combinando el endocarpio como agente o base estructural, almidón de yuca, glicerol como plastificante, fique como fibra natural de refuerzo y ácido acético. Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas preliminares, se escogió la mejor biopelícula a partir de una mezcla correspondiente al 15% endocarpio, 8% de almidón de yuca 67% agua, 4% de fique, 4% de glicerina y 2% de ácido acético. Se determinaron las propiedades mecánicas de tracción y flexión presentando 1.66 Mpa 3.18 Mpa respectivamente, siendo los resultados de las mejores biopelículas. Finalmente se establecen las especificaciones técnicas del proceso y los costos de producción a escala piloto para la elaboración de 5 biopelículas de 60 cm x 70 cm.

Palabras clave: Extracción, Almidón, Endocarpio, Biopelícula, Fique, Resistencia.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la producción de plástico no ha dejado de crecer, cada vez más estos polímeros que son fabricados con materias primas que se derivan del petróleo han sustituido otro tipo de materiales, encontrados en el ámbito doméstico, comercial e industrial como en construcción, transporte, empaques, muebles y fabricación de envases para bebidas y alimentos. A pesar de algunas características favorables y el bajo costo de los plásticos, se conoce que el problema de contaminación ambiental que estos producen es alarmante. El uso de los plásticos ha traído consecuencias negativas para el medio ambiente, pues su proceso de degradación tarda entre 100 a más de 1000 años, lo que los ha clasificado como una de las principales fuentes de contaminación a nivel mundial. Con el fin de disminuir el impacto negativo que ha causado el uso de plásticos derivados de hidrocarburos, se han implementado estudios donde se ha logrado la producción de polímeros biodegradables; a partir, de fuentes naturales renovables y que son amigables con el medio ambiente cuyos procesos de producción no son tóxicos y que se pueden sacar provecho de sus residuos¹.

En Colombia las producciones de banano se generan más de 250 mil toneladas de fruta cada año, que no cumplen con el estándar requerido, también se generan cerca de 75 millones de vástagos al año, lo que equivale aproximadamente a unas 200 toneladas que son apiladas y, en el mejor de los casos, reintegradas a las plantaciones como materia orgánica, sin ser previamente tratadas, adicional a esto se desechan las cáscaras en la industria, comercio y hogares. Los problemas que origina la cáscara de banano no tratada se debe en su mayor parte al volumen, el peso y las dificultades de manipulación, que encarecen su eliminación y favorecen la producción de insectos, hongos y olores, en especial cuando son almacenados de forma incontrolada².

La creación de polímeros a partir de residuos orgánicos ha sido el tema de interés hace unos años, gracias a que estos tendrán menores tiempos de biodegradación y no emitirán contaminación por ser de origen orgánico³; los biopolímeros a partir de cáscaras de banano, es una de las alternativas que se tienen, gracias a que en su estructura contienen almidón, el cual es esencial para la producción de estos, pero al ser este un compuesto con porcentajes de azúcares, debe ser reforzado con fibras que permitan mejorar sus propiedades y obtener un tiempo de degradación considerable.

¹ DEMICHELL Mario. Plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables. *The IPTS Report*. (10).

² QUINCHIA FIGUEROA Adriana Maria, Uribe Castrillón Juliana. Aprovechamiento ambiental de residuos agroindustriales. *Propiedad Publica*. :3.

³ NAVARRETE I. *¿Qué aspectos positivos conlleva el manejo de bolsas biodegradables?* UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA; 2015.

El siguiente trabajo considera el desarrollo de una biopelícula con el fin de dar un primer avance al desarrollo de biopolímeros a partir de cáscara de banano y fibra natural a nivel laboratorio mejorando las propiedades mecánicas de resistencia buscando ser muy parecidas a las de un polímero tradicional de fuentes de hidrocarburos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como un agente de refuerzo a nivel laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extraer el almidón de la cáscara de banano por el método Seco.
- Seleccionar la fibra natural que combinada con el almidón presenta mejores propiedades mecánicas por medio de un desarrollo experimental.
- Establecer las especificaciones técnicas del proceso de producción de la biopelícula.
- Estimar los costos de producción de la biopelícula a escala piloto.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encontrarán los conceptos que fueron considerados para la realización del proyecto, con el fin de explicar el uso que se puede dar a los residuos industriales en este caso la cáscara de banano y sus características.

1.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Los residuos o subproductos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, de interés comercial y social⁴.

En la actualidad el alto desarrollo de la industria conlleva a la generación de residuos, de igual forma que al perfeccionamiento e implementación de nuevas técnicas o métodos para el aprovechamiento de éstos. En el proceso productivo de los alimentos, además del producto deseado, se generan subproductos, residuos y productos fuera de norma, cada uno de los cuales pueden servir para consumo humano o animal y aplicación industrial, lo que traería beneficios económicos.

La mayoría de industrias no tienen un plan para los residuos, debido al alto costo de su reutilización y por el contrario, los ubican junto con la basura en los vertederos o rellenos sanitarios⁵, son mínimamente aprovechados y generan problemas ambientales como generación de gases y lixiviados, en la actualidad existe un interés por la explotación de acuerdo a sus nutrientes y componentes macromoleculares tales como: celulosa, hemicelulosa, lignina pectina o almidón de acuerdo a la industria de la cual proviene⁶.

Los subproductos agroindustriales tienen incidencia en la preservación de la calidad del medio ambiente, al considerar el desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sustentable de los recursos naturales. La búsqueda de materias primas de bajo costo y fácil adquisición que puedan ser utilizadas en tecnologías que permitan la bioconversión de residuos agroindustriales en productos de interés

⁴ VARGAS CORREDOR Yury Alexandra, PEREZ PEREZ Liliana Ibeth. Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*. 2018;14(1):59-72

⁵ YEPES Sandra Milena, MONTOYA Naranjo Lina Johana, OROZCO Sanchez Fernando. Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en medellín y el sur del valle del aburrá, Colombia. 2008:4422-4431.

⁶ GRANDE Tovar CD. *Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales*. Cali: Bonaventuriana; 2016:42

comercial mediante procesos de extracción directos o de transformación química o microbiológica⁷.

1.2 BANANO

1.2.1 Origen. El banano es una planta que se cultiva desde hace cerca de 10 000 años y cuyas primeras huellas se encontraron en Papúa Nueva Guinea en el siglo VII a.c. Es herbácea gigante, perteneciente a la clase de las monocotiledóneas y a la familia de las musáceas, el banano ha viajado con la migración humana: en primer lugar, desde el Sudeste Asiático y Papúa Nueva Guinea hasta la península del Indostán, el Pacífico y América mediante las migraciones poblacionales⁸. El principal productor mundial de bananos es la India, seguida de Ecuador, China, Colombia y Costa Rica. Estos 5 países juntos representan más de la mitad de la producción mundial de banano⁹.

1.2.1 Clasificación Taxonómica. Pertenece al orden Zingiberales, familia Musaceae y género Musa, las especies más destacadas son: la Musa acuminata Colla que ha dado origen a las variedades comerciales, Musa balbisiana Colla y Musa acuminata diploide¹⁰.

1.2.2 Caracteres Botánicos. Es una planta herbácea, que forma una mata llamada cepa o familia, de la cual surgen varios individuos, está compuesta por Raíz que tiene un largo de 1,5 a 2 metros. Rizoma produce una yema vegetativa. Hojas sirven para estimar las etapas morfológicas y fonológicas del cultivo. Pseudotallo soporta toda la parte aérea de la planta. Inflorescencia contiene las flores. Fruto se desarrolla de las flores pistiladas¹¹.

⁷BARRAGÁN HUERTA Blanca E, TELLEZ DÍAZ Yolotli Azucena, LAGUNA TRINIDAD Adriana. UTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES ; *Revista Sistemas Ambientales*. 2008;2(1).

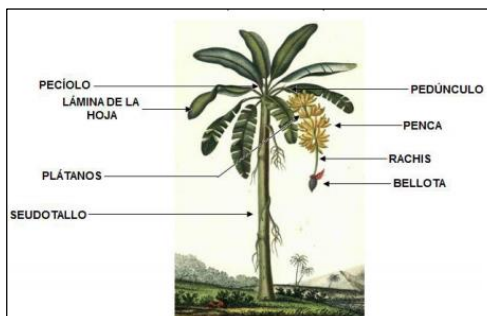
⁸ DAWSON Carolina. Banano. 2011:1-3.

⁹ ARIAS Pedro, Dankers Cora, Liu Pascal, Pilkauskas Paul. *LA ECONOMÍA MUNDIAL DEL BANANO *; Roma: ; 2004.

¹⁰ CIRO VELÁSQUEZ Héctor José, MONTOYA LOPEZ Mary Luz, MILLAN CARDONA Leonidas de Jesús. caracterización de propiedades mecánicas del banano (cavendish valery). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 2005;58(2):2976.

¹¹ Ficha del cultivo del banano. *INTA*

Ilustración 1 Morfología de la planta de banano



Fuente. ¹² BLASCO LOPEZ G. Propiedades funcionales del plátano (musa sp). En línea <https://docplayer.es/23883570-Propiedades-funcionales-del-platano-musa-sp.html>. Consultado 10 de abril de 2019

1.2.3 Zonas de cultivo. El banano exige un clima cálido y una constante humedad en el aire. Necesita una temperatura media de (26-27) °C, con lluvias prolongadas y regularmente distribuidas. Los suelos aptos para el desarrollo del cultivo del banano son aquellos que presentan una textura arenosa, arcillosa, debiendo ser, además, fértiles, permeables, profundos (1,2-1,5 m), y ricos especialmente en materias nitrogenadas. Suelos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos, o los obtenidos por la roturación de los bosques, susceptibles de riego en verano, pero que no retengan agua en invierno¹³.

1.2.4 Composición química. Algunos valores de la composición química del banano se ven en la tabla y entre otro encontramos

¹² BLASCO LOPEZ G, Gómez Montañó FJ. Propiedades funcionales del plátano (musa sp). 2014:23

¹³ AGRI-NOVA Science. El cultivo del plátano (banano). InfoAgro Web site. Accessed Mar 15, 2019.

Tabla 1 Valores de referencia sobre la composición química del banano por 100 g de peso

Calorías	101	
Agua	74,5	g
Proteína	3,05	g
Grasa	0,10	g
Carbohidratos	20,45	g
Fibra Cruda	-	
Cenizas	0,90	g

Fuente. CASALLAS Luisa. Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común¹⁴ en línea:<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8650/tesis605.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado 2 de mayo 2019

1.2.5 Banano en Colombia. Colombia se caracteriza por ser un país agropecuario debido su gran diversidad de flora y fauna. De acuerdo con la estrategia propuesta por el Ministerio de Agricultura “Colombia verde y Colombia comercializa” se ha visto gran crecimiento del país en diferentes mercados, uno de sus mercados es la exportación de alimentos, siendo el banano uno de los principales productos de exportación, y representando a Colombia como uno de los mayores cultivadores y exportadores de Latinoamérica¹⁵, el cultivo y exportación del banano es una de las actividades económicas agrícolas más tradicionales, en el departamento de Magdalena, y la región del Urabá antioqueño, existen dos tipos de especies de esta fruta, el banano de exportación Cavendish Valery y el banano criollo o de consumo interno. Este último se produce principalmente en los departamentos del Valle del Cauca, Tolima y Antioquia¹⁶.

La agroindustria bananera colombiana genera empleo y divisas para el país y es necesarios para el desarrollo del país, con más de 70 años en el departamento del Magdalena y más de 35 en el Urabá antioqueño, ha comprobado que su aporte en empleos y desarrollo social contribuye a crear a sostener otras empresas y servicios que benefician sociedades rurales y urbanas.

¹⁴ CASALLAS MALAVER Luisa Fernanda. *evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (musa sapientum l) transformado por acción de la levadura candida guilliermondii*. pontificia universidad javeriana.

¹⁵ MINISTERIO DE AGRICULTURA. MinAgricultura lanza estrategia ‘Colombia vende’ para apoyar la comercialización de las cosechas de los campesinos. . Updated 2017.

¹⁶ LOPEZ GIRALDO Javier, Cuarán Cuarán Julio César, Arenas García Laura Viviana, Flórez Luz Marina. Usos potenciales de la cáscara de banano: Elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales Volumen 1*. 2014.

Tabla 2 Valores de referencia de la composición química de la cáscara de banano

Componentes	Cáscara de Banano Verde	Cáscara de Banano Maduro
% Humedad	91,62	95,66
% Proteína Cruda	5,19	4,77
% Fibra Cruda	11,58	11,95
Energía bruta, Kcal	4383	4592
% Calcio	0,37	0,36
% Fósforo	0,28	0,23
<u>% Ceniza</u>	<u>16,30</u>	<u>14,58</u>

Fuente. MOREIRA Karina. Reutilización de residuos de la cáscara de bananos (*musa paradisiaca*) y plátanos (*musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano²² En línea: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/3666/1/11113.pdf>. Consultado 15 de abril de 2019.

1.3.2 Usos. La cáscara de banano es un material con pocos estudios, pero utilizada para fertilizantes y comida para animales, en algunas investigaciones como “producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca” por Jhon Monsalve, otras para alimentos funcionales como “reutilización de residuos de la cáscara de bananos (*musa paradisiaca*) y plátanos (*musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano”²³.

1.3.3 Los residuos de banano. Son ricos en almidón, fibra entre otras, el almidón tiene numerosas aplicaciones en la industria papelera, textil, farmacéutica (como excipiente), de adhesivos, alimentos (como espesante), tratamiento de agua (coagulante) y polímeros²⁴.

²² MOREIRA, Karina. Op. Cit., p, 10

²³ MOREIRA, Karina. Op. Cit., p, 10

²⁴ GOMEZ Berrio Ana Maria. *Transformación del banano en urabá : Experiencias pasadas, iniciativas presentes y nuevas oportunidades de industrialización*. universidad eafit; 2011

1.4 CARBOHIDRATOS

Los carbohidratos son aldehídos o cetonas polihidroxilados, contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en diferentes proporciones. Durante el metabolismo se queman para producir energía, y liberan dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O), queriendo decir que su función principal es aporte energético y otras como el ahorro de proteínas y la regulación del metabolismo de las grasas. Respecto a la dieta humana están sobre todo en forma de almidones y diversos azúcares. Los carbohidratos se pueden dividir en tres grupos²⁵:

1.4.1 Monosacáridos. También conocidos como azúcares sencillos son aldehídos o cetonas polihidroxilados. los monosacáridos con un grupo funcional aldehído se denominan aldosas, mientras que los que tienen un grupo ceto se denominan cetosas, los azúcares se clasifican también según el número de átomos de carbono que contienen. Las más conocidas son:

- Glucosa: Es el principal combustible de las células y fuente de energía en los animales, las fuentes alimentarias son el almidón de las plantas.
- Fructosa: Suele llamarse azúcar de las frutas, también se encuentra y vegetales y la miel esta molécula es un miembro importante de la familia de azúcares cetosas²⁶.

1.4.2 Disacáridos. Unión de dos monosacáridos iguales o distintos mediante un enlace O-glucosídico cada pareja de monosacáridos está unida por un átomo de oxígeno, puede ser α o β en función del -OH hemiacetal o hemicetal.

- Sacarosa: conocido como azúcar común, formado por la unión de una molécula de glucosa y una de fructosa, mediante un enlace glucosídico β -(1-2) a través de grupos carbonilos anoméricos.

1.4.3 Polisacáridos. Los polisacáridos forman la familia de biopolímeros más abundante y diversa. Con varios cientos De ejemplos conocidos, ofrecen una gran diversidad de estructuras químicas que van desde simples homopolímeros lineales a heteropolímeros ramificados, que tienen unidades de repetición que consisten en hasta pentasacáridos. Los polisacáridos también pueden ser ramificados, lo cual es una característica única entre las macromoléculas presentes. Los más conocidos son:

- Almidón: este polisacárido reserva energética de glucosa en los vegetales, está formado por largas cadenas de glucosa en forma de gránulos.

²⁵ FAO. Carbohidratos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Web site. . Accessed Mar 2, 2019.

²⁶ CARBOHIDRATOS In: *Bioquímica* 6. :228.

- Celulosa: compuesto por una larga cadena desde cientos hasta varios miles moléculas de β -glucosa, tiene una estructura lineal o fibrosa, es insoluble en agua, y debido a sus fibras compactas constituye la pared celular de las células vegetales²⁷.

1.4 ALMIDÓN

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables. El almidón es una de las fuentes de energía con mayor proporción, siendo este de origen natural y obtenido de diferentes plantas. Químicamente es denominado como un “polímero de glucosa presente en forma granular en determinadas especies vegetales, es decir macromoléculas que están formadas por muchas moléculas de glucosa (C₆H₁₀O₅)_n. Estas macromoléculas se encuentran bajo dos formas una lineal que es la amilosa la más pequeña y otra ramificada que es la amilopectina. Los porcentajes de amilosa y amilopectina tienen su significado cuando se presentan de manera individual; donde la amilosa posee características de gelificación y la amilopectina de viscosidad²⁸.

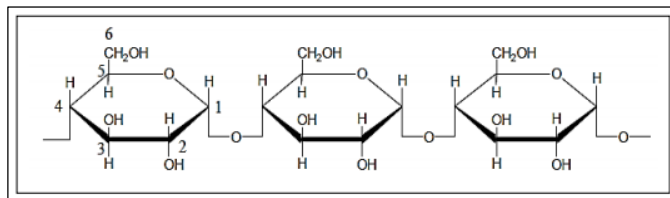
1.5.1 Estructura del almidón. Estructuralmente, el almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina.

1.5.1.1 Amilosa. Polímero de unidades de D-glucosa, unidas por enlaces α -1,4 glucosídicos, esencialmente lineal, aunque muchas moléculas muestran unas pocas ramificaciones α -1,6 (0,3 – 0,5 %). Las ramificaciones son o muy cortas o muy largas y están separadas por grandes distancias, permitiendo a la molécula actuar como un polímero lineal. Los almidones ricos en amilosa mantienen su forma cuando se moldea; gelifican mientras los almidones sin amilosa espesan, pero no gelifican. La amilosa puede formar una cuarta parte del gránulo de almidón.

²⁷ PEREZ Serge. Polysaccharides structure and models. . 2006:100-110.

²⁸ GONZALEZ GALAN, Abel; OLGUIN Arancibia NARANCIBIA oelia Ximena, LOAYZA SILES Edwin, Severich Farfan Erwin Beimar. *Almidón nativo y modificado. obtención, cuantificación, modificación y usos*; Universidad autonoma gabriel rene moreno; 2014.

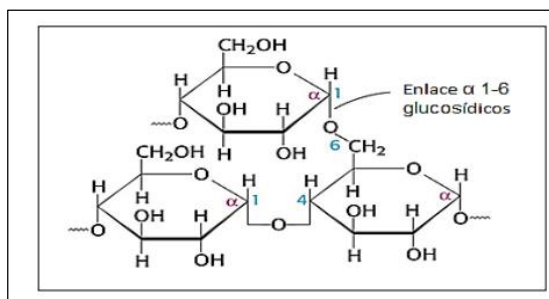
Ilustración 2 Amilosa enlaces de D-glucosa y α 1-4



Fuente. CHARRO Monica. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata²⁹. En línea: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UC-0017-97.pdf>
Consultado 6 de abril 2019.

1.5.1.2 Amilopectina. Está constituida por cadenas de glucosa unidas por enlaces α (1,4) glucosídicos. A diferencia de la amilosa, en la amilopectina a cada 15 a 30 unidades hay una ramificación α (1,6). Las ramificaciones hacen que la amilopectina sea menos soluble en agua que la amilosa. Los enlaces son entre el carbono 1 de la glucosa y el carbono 6 de la ramificación³⁰.

Ilustración 3 Amilopectina enlaces de α 1-4 y 1-6 glucosídicos



Fuente. CHARRO Monica. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata³¹. En línea: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UC-0017-97.pdf>
Consultado 6 de abril 2019.

1.5.2 Tipos de Almidón.

- Almidón de maíz: El almidón de maíz provee propiedades funcionales especiales mejora los procesos de producción de alimentos; como en la panificación; En las operaciones de manejo industrial de pastas, se emplea como recubrimiento de

²⁹ CHARRO ESPINOSA Mónica Margarita. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR; 2015.

³⁰ *Ibíd.*, p, 14

³¹ CHARRO ESPINOSA Mónica Margarita. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR; 2015.

las mismas para evitar que se peguen también presenta características de baja humedad y por lo general se utiliza como aditivo alimenticio.

- Almidón de papa: El almidón llamado también fécula de papa, como sus propiedades funcionales suele ser utilizado como aditivo en la industria de alimentos como en los cárnicos.
- Almidón de yuca: El almidón de yuca es uno de los más usados en la industria junto con el almidón de maíz y papa. Posee una gran proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón, en ocasiones es modificado con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad.
- Almidón de trigo: El grano de trigo está compuesto por un 70% de almidón el hidrato de carbono complejo “amilopectina” y conteniendo además un 30% de amilosa. En la industria es usado como adhesivo de superficie y para manufactura de cartón corrugado.
- Almidón de arroz: A nivel de producción es bien limitado debido al alto costo que requiere su producción en comparación con otros almidones, sus principales son para la industria cosmética en la elaboración de polvos, para almidonar en lavanderías y para elaboración de postres.
- Almidón de plátano y banano: El almidón de plátano se encuentra cerca de un 70%, proceso de extracción es similar a los otros almidones. Tiene variadas y numerosas aplicaciones en diferentes industrias, entre las cuales se pueden mencionar: papel, textil, farmacéutica, adhesivos y alimentos. El almidón de banano en su estado verde contiene una elevada cantidad de almidón en su composición, a pesar de tener semejanza con los demás almidones utilizando el mismo proceso en su preparación, obliga a ensayar las características del almidón de banano para cada aplicación específica³².

³² GUADRÓN DE DELGADO, Erika Neymie. *Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (musa sp. variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos.* universidad de el salvador; 2013.

Tabla 3 Valores de referencia sobre la caracterización de las cascaras de banano y la yuca.

Componente	Cáscara de banano (% base seca)	Yuca (% base seca)
Almidón	39.89	76,43
Humedad	89.10	66,7
Hemicelulosa	14.8	-----
Celulosa	13.2	-----
Lignina	14.00	-----
Fibra cruda	-----	5,3
Magnesio	0.16	0,13
Calcio	0.29	0,2
Cenizas	11.37	4,18

Fuente: MONSALVE J, MEDINA V, RUIZ . Producción de etanol a partir de la cascara de banano y de almidón de yuca³³. En línea <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/830>. Consultado 3 de marzo de 2019.

1.5.3 Extracción de almidón. Existen diferentes métodos de extracción de almidón ya sea proveniente de maíz, trigo, yuca, papa o plátano. Los principales y más generales son: El método seco y el método húmedo. Estos métodos son bastante simples para extracción de almidón.

1.5.3.1 Método seco. Este método consiste en la reducción de tamaño e inmediatamente luego de esta reducción se somete a secado por un tiempo y temperatura controlados³⁴.

1.5.3.2 Método húmedo. Este método consiste en retirar en medio líquido aquellos componentes de la pulpa que son relativamente más grandes, como la fibra y proteína, posteriormente, se facilita la eliminación del agua por decantación y se lava el material sedimentado para eliminar las últimas fracciones diferentes del almidón y finalmente someter al almidón purificado a secado³⁵.

³³ MONSALVE J, MEDINA V, RUIZ A. Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*. 2006(150):21-27

³⁴ MAZZEO M, ALZATE A, MARIN M. Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico harton (MUSA aab siminds). *Vector*. 2008;3:62.

³⁵ *Ibíd.*, p, 28.

1.5.4 Propiedades fisicoquímicas. El tamaño del gránulo, la distribución del grano, la proporción de amilosa/amilopectina y el contenido de minerales son algunas propiedades del almidón de la cáscara de banano.

1.5.4.1 Gelatinización. Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad debido a las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen donde una fracción de volumen y su morfología juegan un papel importante en el comportamiento reológico de las dispersiones de almidón³⁶.

1.5.4.2 Granulometría. Se realiza por medio de un proceso mecánico, el cual separa las partículas del almidón según sus distintos tamaños utilizando tamices colocados de manera descendente es decir permite clasificar la materia según la distribución de los diferentes tamaños de la partícula, la homogeneidad de la mezcla depende del tamaño de partícula³⁷.

1.5.5 Caracterización del Almidón.

1.5.5.1 Prueba 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 violeta³⁸.

1.5.5.2 Prueba cuantitativa. Para la verificación de la cantidad de almidón presente en las especies vegetales se realiza por el método de reacción colorida con yodo, el cual consiste en la aplicación de la técnica espectrofotometría U.V., donde la muestra diluida que contiene una solución de yodo yoduro de potasio se le realizan las lecturas respectivas en un espectrofotómetro³⁹.

³⁶ GOENAGA Raúl BC. *Aumento del rendimiento en la extracción del almidón a partir del grano de maíz y la influencia del carbonato de ácido sódico en las propiedades fisicoquímicas del slurry*. UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD.

³⁷ CÁRDENA FREIRE Marcos Adrián. *Extracción de almidón a partir de residuos de banano (musa paradisiaca) para la elaboración de un biopolímero*. universidad politécnica salesiana; 2018.

³⁸ CASTRO ZAVALETA Victor. *Composicion bioquimica de productos agroindustriales*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA PERU; 2014.

³⁹ HERNÁNDEZ, Israel*†, MARTÍNEZ, Mauricio, CONTRERAS, Raúl y PÉREZ, Rosario. Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. *Revista de Simulación y Laboratorio*. ;4(13):1-7.

1.6 POLÍMEROS

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes, las moléculas que se combinan para formar los polímeros se denominan monómeros y las reacciones a través de las cuales se obtienen se denominan reacciones de polimerización. Los polímeros se dividen en: biodegradables y no biodegradables⁴⁰.

Tabla 4 Clasificación de los polímeros por su origen.

CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS SEGÚN SU ORIGEN		
POLIMEROS NATURALES (BIOPOLÍMEROS)		
PROTEINAS	ESTRUCTURALES	Colágeno, Queratina, Elastina
	FUNCIONALES	Enzimas, Hormonas
POLISACARIDOS	ESTRUCTURALES	Celulosa, Quitina
	RESERVA	Almidón, Glucógeno
ÁCIDOS NUCLEÍCOS	ADN y ARN	

Fuente. CHARRO Monica. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata⁴¹ en línea: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>. Consultado 7 de abril 2019

1.6.1 Polímeros biodegradables. Se clasifican de acuerdo a su forma de obtención:

1.6.1.1 No modificados. Son los producidos naturalmente, susceptibles a la biodegradación por microorganismos. Proviene de tres fuentes: origen animal (colágeno/gelatina), origen marino (quitina/quitosano), y origen agrícola (lípidos: cera de abejas y de carnauba; e hidrocoloides: proteínas como gluten de trigo, y polisacáridos como la celulosa, fibra, pectina, gomas y almidón)⁴².

⁴⁰CARDENAS. Op. Cit., p. 29.

⁴¹ CHARRO ESPINOSA Mónica Margarita. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR; 2015.

⁴² NAVIA PORRAS D. *desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique*; universidad del valle; 2011.

1.6.1.2 Sintéticos. Son fabricados por los humanos, también son biodegradables por microorganismos como los anteriores porque son elaborados a partir de recursos naturales renovables, como el PLA (Ácido Poliláctico) obtenido por la polimerización de ácido láctico proveniente de la fermentación de polisacáridos, los polihidroxicanoatos (PHA), término dado a la familia de poliésteres producidos por microorganismos⁴³.

1.6.1.3 Modificados. Son combinaciones de almidón o celulosa con aditivos y plastificantes, para mejorar la funcionalidad del polímero final. Solo si los plastificantes y aditivos son de origen natural, los polímeros son totalmente biodegradables. Como ejemplos de plastificantes naturales se tienen: glicerol, sorbitol y manitol⁴⁴.

1.6.2 Polímeros no biodegradables. Son elaborados por el hombre o sintéticos, y obtenidos de fuentes fósiles (petróleo), estos polímeros no son biodegradables porque los microorganismos no pueden actuar sobre ellos, algunos ejemplos de estos son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), entre otros⁴⁵.

⁴³ *Ibíd.*, p, 30.

⁴⁴ *Ibíd.*, p, 30.

⁴⁵ *Ibíd.*, p, 30.

Tabla 5 Diferencias entre el bioplástico y el plástico.

Características	Bioplástico	Plástico
Degradable al 100%	Si	No
Transparente	No	Si
Moldeable	Si	Si
Resistencia a la humedad	Parcialmente	Si
Impermeables	Si	Si
Resistente a la corrosión	Si	Si
Baja densidad	Si	Si
Ayuda a disminuir la contaminación	Si	No
Aislante eléctrico	Si	Si
Tiempo máximo de degradación	1 año	Mayor a 100 años
Reciclable	Si	No

Fuente: HAMLET PIZÁ S, ROLANDO C, RAMIREZ S, Villanueva A. Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano⁴⁶. En línea: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3224/PYT_Informe_Final_Proyecto_Bioplastico.pdf?sequence=1&isAllowed=y. consultado 16 de abril 2019.

1.7 PROPIEDADES MECANICAS

Estas dependen de la estructura, composición y condiciones de procesamiento de los polímeros. Los plásticos se encuentran sometidos a diferentes estados de carga en sus distintas aplicaciones, por lo que la selección del material adecuado para cada una de ellas se basa, entre otras consideraciones, en sus propiedades mecánicas⁴⁷. Estas influyen en el comportamiento del mismo al aplicar una fuerza; por lo general, se expresan en función del esfuerzo, de la deformación o de ambas. Las propiedades catalogadas como fundamentales son la resistencia, rigidez, elasticidad, plasticidad y capacidad energética⁴⁸.

⁴⁶ HAMLET PIZÁ S, ROLANDO C, RAMIREZ S, Villanueva A. *Análisis experimental de la elaboración de bioplástico a partir de la cáscara de plátano para el diseño de una línea de producción alterna para las chifleras de piura*. Universidad de Piura; 2017.

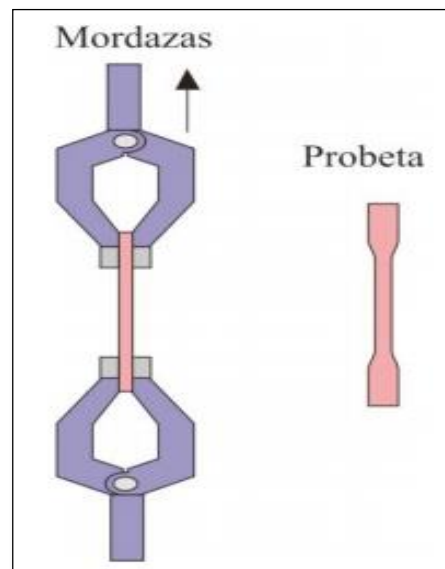
⁴⁷ BELTRAN M, MARCILLA A. Estructura y propiedades de los polimeros In: *Tecnología de polímeros*. :38-39

⁴⁸ BEJARANO ARANA N. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada*. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA CALI; 2014.

1.7.1 Ensayo de Tracción. La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos⁴⁹. La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos⁵⁰.

Los aparatos para realizar los ensayos de tracción constan de un brazo fijo y uno móvil, ambos dotados con unas mordazas donde se sujetan las probetas. Los brazos se separan a una velocidad constante mientras se determina la carga y la extensión. Las probetas que se emplean en los ensayos de tracción normalmente se preparan mediante inyección o compresión, o también se pueden obtener de zonas planas de las piezas ya transformadas. Las probetas deben tener unas dimensiones normalizadas, que pueden variar según la aplicación⁵¹.

Ilustración 4 Mordazas y probeta tipo halterario para ensayos de tracción.



Fuente. BELTRAN, M; MARCILLA, A; Estructura y propiedades de los polímeros⁵². En línea <http://files.juliana-oviedo.webnode.com.co/200000022-28d2b29cc2/Tema1.pdf> consultado 15 de marzo de 2019.

⁴⁹ CHARRO ESPINOSA M. *obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*; universidad central del ecuador; 2015.

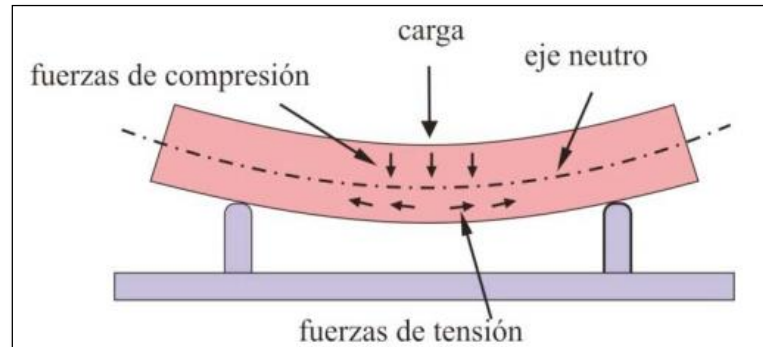
⁵⁰ *Ibíd.*, p. 19.

⁵¹ *Ibíd.*

⁵² *Ibíd.*

1.7.2 Ensayo de Flexión. La resistencia a la flexión de un material es su capacidad para soportar fueras aplicadas en su eje longitudinal. Los esfuerzos inducidos por una carga de flexión son realmente una combinación de esfuerzos de tracción, compresión y cizalla como se muestra en la ilustración 5. Las propiedades de flexión se calculan referidas al esfuerzo y deformación que se producen en la superficie externa de la probeta empleada⁵³.

Ilustración 5 Fuerzas implicadas en los ensayos de flexión.



Fuente: BELTRAN, M; MARCILLA, A; Estructura y propiedades de los polímeros⁵⁴. En línea <http://files.juliana-oviedo.webnode.com.co/200000022-28d2b29cc2/Tema1.pdf> consultado 15 de marzo de 2019.

El método más empleado para realizar los ensayos de flexión consiste en un sistema de tres puntos de carga. En este una probeta de material de sección rectangular se apoya en dos soportes y la carga la realiza un puntero situado entre los soportes, como se muestra la ilustración 5⁵⁵.

1.8 FIBRAS NATURALES

Las fibras vegetales cuentan con un sin número de propiedades físicas y químicas, que las convierten en un excelente material para ser utilizado en la fabricación textil, de papel, industrial y alimentario, además de ser un recurso renovable y biodegradable, por lo tanto, su impacto ambiental es bajo. Las fibras vegetales están compuestas por polisacáridos que le brindan la rigidez y la flexibilidad a la pared celular, donde la celulosa es el polímero de mayor relevancia e importancia en la conformación de estas fibras⁵⁶.

⁵³ Beltrán. Op. Cit., p. 19.

⁵⁴ Ibíd.

⁵⁵ Beltrán. Op. Cit., p. 19.

⁵⁶ DEQUIZ-OYOLA Y, MORENO MEDINA B. Producción y biosíntesis de fibras vegetales una revisión; *conexión agropecuaria*. 2016;6(1):38.

1.9 PLASTIFICANTE

Un plastificante es un material compatible con un polímero. Lo reblandece o disminuye su fragilidad, estos funcionan solvatando los grupos polares de la cadena del polímero, debilitando así fuerzas intermoleculares de atracción entre cadenas adyacentes y ocasionando así que se separen aún más. Según la definición de las normas ASTM un plastificante es un material que se incorpora a un plástico para facilitar su procesado y mejorar su flexibilidad o “distensibilidad”⁵⁷. Los polioles como el sorbitol, glicerol son plastificantes eficaces debido a su capacidad para reducir los enlaces de hidrógeno internos y al mismo tiempo aumentar los espacios intermoleculares. Evitan que la película tenga grietas durante la manipulación y el almacenamiento⁵⁸.

1.9.1 Agua. El agua es utilizada comúnmente como un plastificante para lograr la desestructuración del almidón en las mezclas para obtener almidones termoplásticos. Se utiliza con el objetivo de lograr mejores propiedades mecánicas y de barrera. El agua es el plastificante más abundante y más económico⁵⁹.

1.9.2 Glicerol. El glicerol es un alcohol con tres grupos hidroxilo lo que le permite ser soluble en el agua. Es uno de los plastificantes más comunes y al igual que el agua uno de los más utilizados en la fabricación de polímeros termoplásticos a partir de almidón. Actúa como un efectivo agente suavizante para los almidones, mejorando la flexibilidad⁶⁰, y el porcentaje de alargamiento de las películas de amilosa⁶¹.

1.10 ADITIVOS

Son sustancias adicionadas a diferentes materiales plásticos durante su producción, que tengan como propósito lograr un efecto técnico al producto final, estos productos pueden ser agentes anti espumantes, plastificantes, lubricantes, así como también sustancias que proporcionen un medio adecuado para la polimerización como lo son los agentes tenso activos. En cuanto a la incorporación de otros aditivos en los bioplásticos, se ha evaluado el efecto de tenso activos en la

⁵⁷ BEJARANO ARANA Nathalia. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada*. Universidad de San Buenaventura Cali; 2014.

⁵⁸ TRUJILLO RIVERA C. *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculenta crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos* universidad nacional amazónica madre de dios; 2014

⁵⁹ CHARRO ESPINOSA M. Op. Cit., p. 20.

⁶⁰ *Ibíd.*

⁶¹ PROTZMAN T, DECATUR JA, WAGONER MZ, Young AH, inventors Process of casting amylose films. patent US3,344,216. Sep 26, 1967.

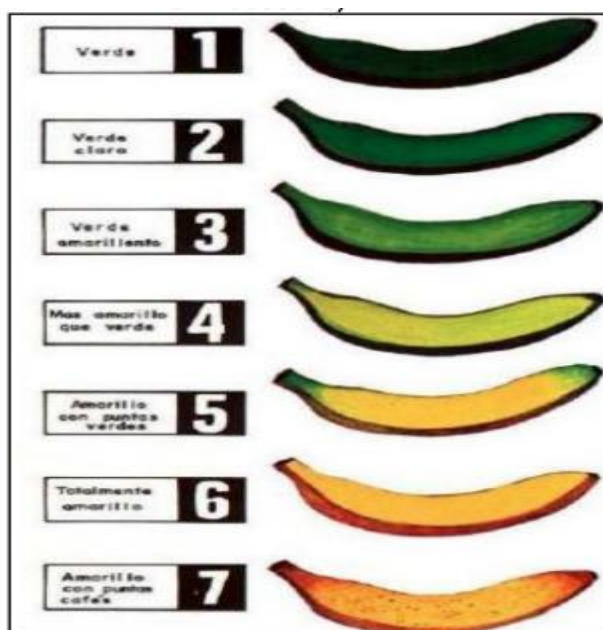
matriz termoplástica para la disminución del envejecimiento de películas a partir de almidón⁶²

⁶² *Ibíd.*, p, 18.

2. METODOLOGIA

En este capítulo se presenta el proceso experimental realizado. En una primera etapa se realizó una pre experimentación para evaluar los métodos húmedo y seco por medio de la metodología propuesta por Cárdenas⁶³ y se determinó que el método seco presentó mayor rendimiento, es decir hubo mayor cantidad de almidón al finalizar el proceso, por tal motivo se desarrolla la experimentación a partir de este, con cascara de banano y endocarpio a los cuales se le hicieron pruebas de caracterización cualitativas y cuantitativas. Para la obtención del almidón se hizo una selección de las cascara de banano en estado semi maduro grado 5 a partir de la escala grados de maduración de von Loesecke (ver ilustración 6) que fueron adquiridas por la empresa Kanance Ingeniería S.A.S.

Ilustración 6 Grados de Maduración Escala de von Loesecke.



Fuente. RAMIREZ C, TAPIA A, CALVO P. Evaluación de la calidad de fruta de banano que se produce en Costa Rica. En línea:

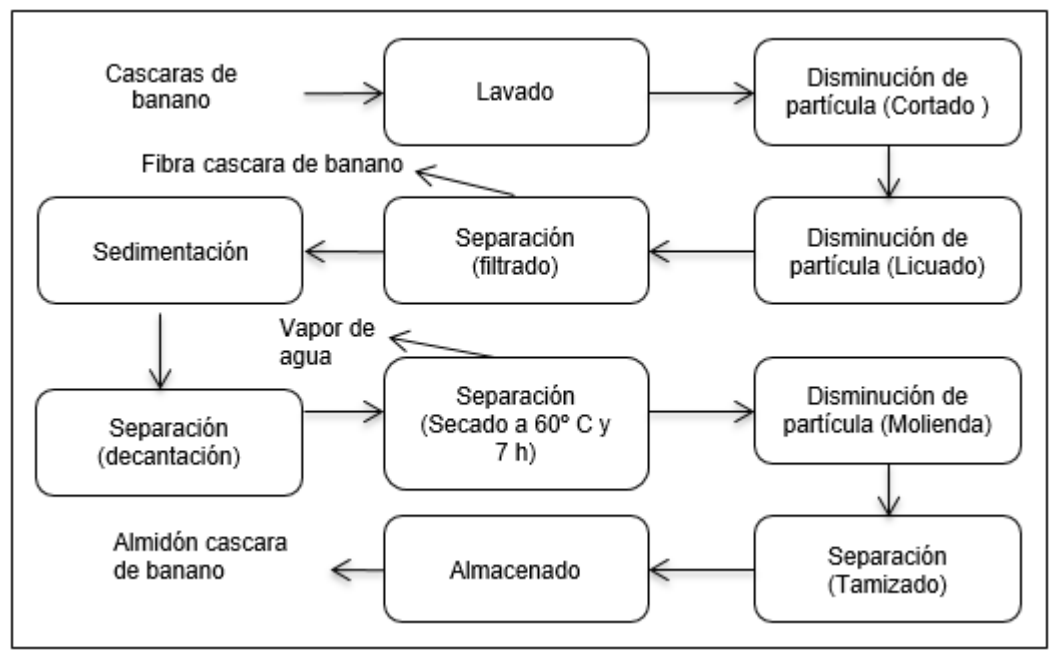
https://www.researchgate.net/publication/279483145_EVALUACION_DE_LA_CALIDAD_DE_FRUTA_DE_BANANO_DE_ALTURA_QUE_SE_PRODUCIEN_EN_EL_CANTON_DE_TURRIALBA_COSTA_RICA. Consultado el 5 mayo de 2019

⁶³ CARDENAS. Op. Cit., p. 16

2.1 PRE-EXPERIMENTACION

2.1.1 Método Húmedo. Para el método húmedo se procesaron 161.5 g de cáscara de banano y se llevó a cabo el procedimiento de la ilustración 7, donde se realizaron diferentes etapas.

Ilustración 7 Proceso de extracción de almidón de la cascara de banano por método húmedo.



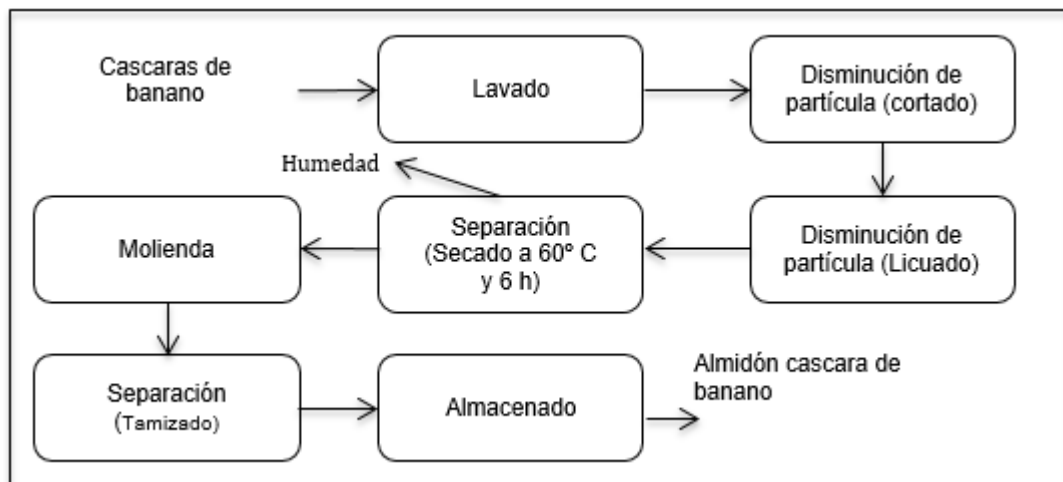
Fuente: elaboración propia.

Se seleccionaron las cáscaras que estuvieron en buen estado (que no tenían manchas color marrón) y se pesó 161.5 g de muestra. El lavado se realiza con agua fría potable y cepillo para eliminar todas las impurezas presentes en la cáscara de banano esto para evitar contaminación en las pruebas, 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, una vez hecho este procedimiento se filtró la mezcla obtenida mediante un filtro de tela (lienzo), esta acción se repitió tres veces hasta que el agua de lavado dejó de presentar un color café, para esta etapa se usaron 3.5 lt de agua y se dejó en reposo en un recipiente durante un periodo de 24 horas; pasado este tiempo se eliminó el agua que se encontraba en la parte superior del recipiente y se procedió a tomar el precipitado. Posteriormente se secó en un deshidratador de la empresa Kanance Ingeniería S.A.S a una temperatura de 60°C durante 7 horas, la pasta obtenida se lleva a la etapa de molienda para reducir su tamaño por un periodo de 2 minutos en un molino de martillos. Se procede a tamizar

el almidón obtenido mediante 5 tamices de mallas No. 20, 40, 60, 80 y 100 para separar las partículas y escoger la malla que nos ayuda una mejor homogeneización.

2.1.2 Método Seco. Para el método Seco se procesaron 178 g de cáscara de banana y se llevó a cabo la metodología mostrada en la ilustración 8, donde se desarrolló un procedimiento similar al método húmedo, pero omitiendo las etapas de filtrado, sedimentación y decantación. La etapa de secado se llevó a una temperatura 60° C por 6 horas.

Ilustración 8 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banana por método seco.



Fuente: elaboración propia.

En la pre experimentación se determinó el rendimiento de los dos métodos anteriores (ver tabla 6), a partir de este resultado se escogió el método seco ya que presenta un mayor rendimiento del 9.5% respecto al método Húmedo con un rendimiento del 6.05%. Al escoger este método se observó que, en la etapa de licuado, la pasta obtenida contenía gran cantidad de agua, esto se debe al contenido de humedad de las cáscaras de banana, por lo que en el momento de llevar a deshidratar el producto tardaría más tiempo en hacerlo; lo cual implica mayor gasto de energía, de tal manera se tomó la decisión de realizar el método seco llevando directamente las cáscaras de banana a deshidratar omitiendo los pasos de corte y licuado de estas mismas.

El método húmedo según los resultados presenta mayor porcentaje de pérdidas, esto puede deberse a la eficiencia de los lavados y tamizados que se le realizan a la muestra mientras se separa el almidón de los demás componentes; aunque su porcentaje de perdidas es mayor y posee menor rendimiento; su calidad física

puede ser apreciada de mejor manera ya que pierde en el proceso la mayoría de componentes como fibra, proteínas entre otros componentes.

El método seco presenta menores porcentajes de pérdidas y mayores rendimientos lo que en cuestión de números representa buenos valores; mas, sin embargo, su calidad puede ser apreciada y valorada cuando estos pasan por tamices pequeños.

Se realiza la siguiente ecuación para medir el rendimiento de los métodos Húmedo y seco.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso Final} \times 100\%}{\text{Peso inicial}}$$

$$\text{Rendimiento metodo humedo} = \frac{9.78 \text{ g} \times 100\%}{161.5 \text{ g}} = 6.05 \%$$

$$\text{Rendimiento metodo humedo} = \frac{16.6 \text{ g} \times 100\%}{175 \text{ g}} = 9.49 \%$$

Tabla 6 Rendimiento de los métodos Húmedo y Seco para la extracción de almidón.

Método	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%)
Húmedo	161.5	9.78	6.05
Seco	175	16.6	9.49

Fuente: elaboración propia.

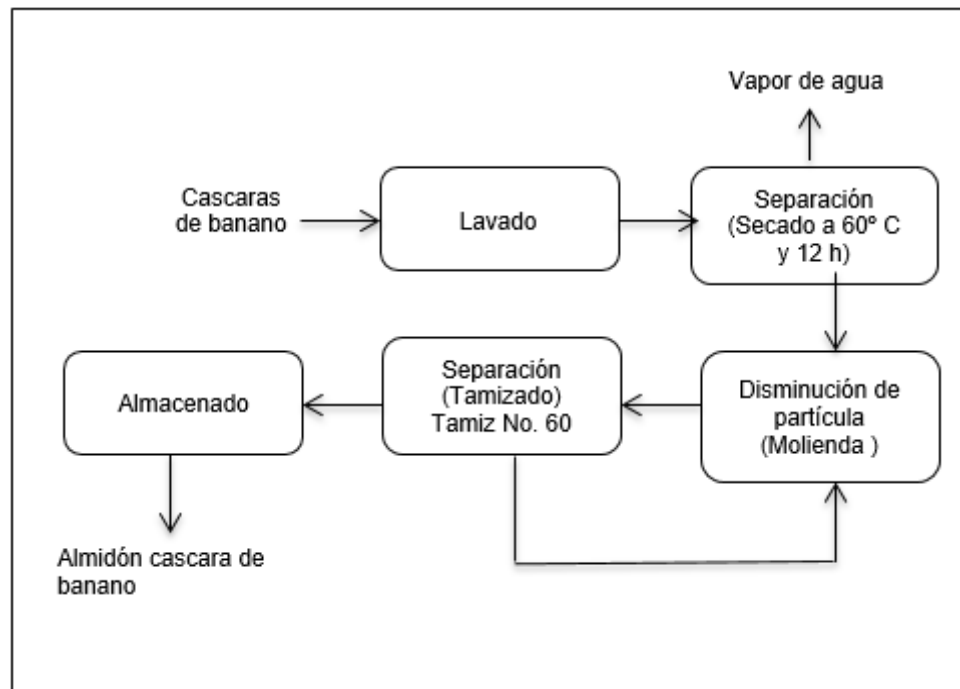
2.2 EXPERIMENTACION

2.2.1 Método seco cascara. Se realiza la experimentación del método escogido (método seco), para el procedimiento se reunieron 5958 g de cáscara de banano y se procedió a la extracción de la harina de almidón como se muestra en la Ilustración 9, donde se realiza un procedimiento similar a los anteriores con las siguientes etapas:

Se seleccionaron las cáscaras que estaban en buen estado, lavado se realizó con agua fría potable y cepillo para eliminar todas las impurezas presentes en la cáscara de banano para evitar contaminación en las pruebas, posteriormente se pusieron las cáscaras en un deshidratador donde se secaron a una temperatura de 60° C por

12 horas, posteriormente transcurrido ese tiempo las cáscaras de banano se pasan por un Molino de martillos para reducir su tamaño por 20 minutos, luego se procedió a tamizar el almidón obtenido mediante 6 tamices de mallas No. 25, 45, 60, 80 100 y 120 para separar las partículas y por último fue almacenado en bolsa hermética

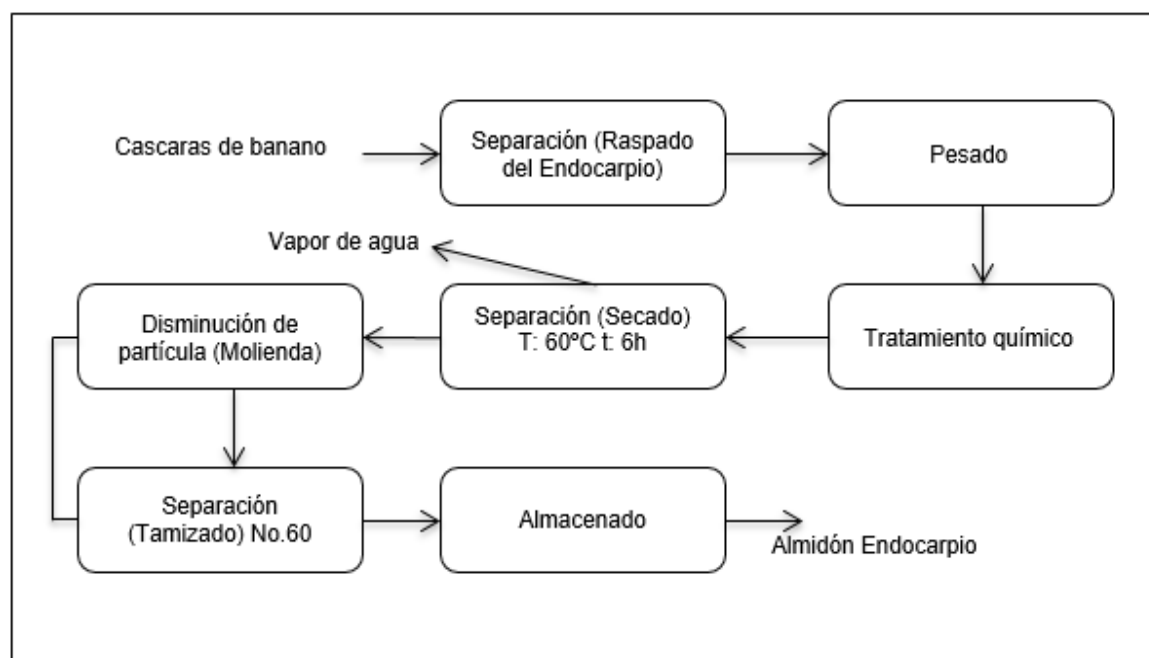
Ilustración 9 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banano por método Seco con algunas modificaciones.



Fuente: elaboración propia.

2.2.3 Método seco endocarpio. Se llevó a cabo una metodología planteada por M. Mazzeo, A. Álzate y M. Marín Artículo "Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano dominico hartón musa AAB simmonds" donde la obtención del almidón se hace a partir del endocarpio por el método seco. Se utilizaron 2315g de cáscaras de banano y se procedió a la extracción de almidón por el método seco como se muestra en la ilustración 10, con el siguiente procedimiento.

Ilustración 10 Proceso de extracción de almidón de la cáscara de banano con el endocarpio por método Seco.



Fuente: elaboración propia.

Selección de las cáscaras en buen estado, se pesaron 2315 g de cáscaras de banano y se procedió a quitar el endocarpio de la cáscara, luego se pesa 463 g de endocarpio que se sumerge en una solución de agua con bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) por 10 minutos para evitar el pardeamiento, luego de esta etapa se ponen a secar en un deshidratador a una temperatura de 60°C por 6 horas, transcurrido ese tiempo el endocarpio ya seco se pasa por un molino para reducir su tamaño por 20 minutos, luego se procedió a tamizar el almidón obtenido mediante 6 tamices de mallas No. 20, 40, 60, 80 y 100 para separar las partículas y se finalizó almacenando en bolsa hermética.

2.3 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

2.3.1 Prueba de yodo en almidón. Para comprobar que el producto extraído contiene almidón se realizó una prueba de colorimetría, por medio de la reacción de yodo/ yoduro potásico la cual se basa en dar como resultado un color azul oscuro-violeta. Se compara con la NTC 6066, para almidón de yuca⁶⁴.

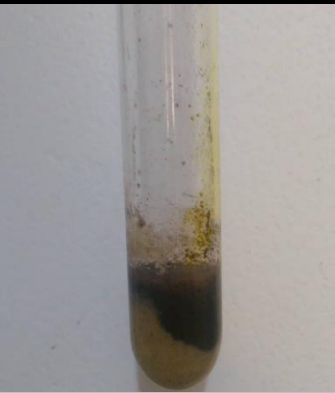
Se llevó a cabo mediante una muestra de 3 g de almidón de cáscara de banano, disuelto en 15 ml de agua destilada la cual se pre calentado, posteriormente se

⁶⁴ NTC 6066. 2014., p. 5

dejó enfriar la solución y se agregaron unas gotas del reactivo yodo-yoduro potásico⁶⁵.

Tabla 7 Prueba de yodo en el almidón.

Método	Resultado	Imagen
Cascara	Positivo	

Método	Resultado	Imagen
Endocarpio	Positivo	

Fuente: elaboración propia

Se observa en la tabla 7, el cambio de coloración de las muestras de almidón con cascara y con endocarpio donde tomaron un color azul oscuro, el cual nos indica positivo la presencia de almidón en las muestras donde el color depende de los componentes principales del almidón como lo son la amilosa y la amilopectina, siendo la primera de cadena lineal formando hélices donde se unen las moléculas de yodo y se forma el color azul oscuro a negro. Por lo tanto, el almidón con cascara y el almidón con endocarpio tienen mayor presencia de amilosa que amilopectina ya que si fuera mayor el contenido de esta su color sería un azul violeta.

⁶⁵ GUADRÓN DE DELGADO. Op. Cit., p. 25.

2.3.2 Prueba cuantitativa de almidón. Se realizó el análisis experimental en laboratorio Biotrends, donde se llevó a cabo por espectrofotometría U.V. Esta prueba se hizo para determinar la pureza del almidón de la cascara de banano (ver Anexo 2).

$$\% \text{ de almidon} = \frac{100 \text{ g} \times 100\%}{24.94 \text{ g}} = 24.94 \% \approx 25\%$$

La ecuación anterior muestra el resultado obtenido de porcentaje de almidón de 100g de muestra extraída de la cascara de banano.

Tabla 8 Resultado prueba cuantitativa de almidón.

Método	% de Almidón
Cascara	25

Fuente: laboración propia.

Al determinar la cantidad de almidón presente en la muestra de cascara de banano se obtiene un resultado con un contenido bajo del 25%, el resultado se debe al grado de maduración del banano ver ilustración 11, cuando no hay presencia de almidón no ocurre un cambio de color a mayor madurez del banano menor contenido de almidón en la fruta, lo cual verifica el contenido de almidón en la prueba cuantitativa⁶⁶.

⁶⁶ VÁSQUEZ TAUTIVA L. *Evaluación de la obtención de melaza por medio de hidrólisis ácida de cáscaras de plátano dominico-hartón (musa aab simmonds) a nivel laboratorio.* Fundación universidad de américa; 2017.

Ilustración 11 Escala correspondiente a indicador en presencia de almidón.



Fuente. VAZQUEZ Tautiva L. Evaluación de la obtención de melaza por medio de hidrólisis ácida de cáscaras de plátano; En línea <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6046/1/6112815-2017-I-IQ.pdf>. Consultado el 1 de mayo 2019.

2.3.3 Gelatinización. Esta prueba se realiza a partir de una solución al 10% de almidón de cáscara de banano en agua, se coloca a baño termostático con agitación constante y se registra el tiempo y la temperatura al momento de cambiar su aspecto de una pasta o gel.

Tabla 9 Resultado prueba de gelatinización de almidón.

Método Seco	Temperatura °C	Tiempo (min)
Cascara	72	7
Endocarpio	70	7

Fuente: elaboración propia.

Se comprueba por medio de la literatura el rango de 70 – 75°C⁶⁷ de temperatura de gelatinización de almidón de cascara y de almidón de endocarpio. Por su proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles, a medida que se incrementa la temperatura se

⁶⁷ Cárdenas Freire. Op. Cit., p. 27.

retiene más agua y el granulo empieza a hincharse aumentando de volumen y formándose así una pasta o gel.

2.3.4 Granulometría. Se realizó un proceso de tamizaje a las cáscaras de banano y endocarpio, en el cual se utilizaron series de tamices U.S.A. y equivalentes Tyler número 25, 45, 60, 80, 100 y 120 durante un periodo de tiempo de 45 minutos. Se pesó el material retenido por cada una de las mallas, descrito a continuación (ver tabla 10).

Tabla 10 Análisis diferencial y acumulativo del proceso de tamizado de polvo de cascara de banano.

No. De Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Masa retenida (g)	% Material retenido	% Paso por tamiz	% Retenido acumulado
25	0.71	76	11.80	88.20	11.8
45	0.355	130	20.19	68.01	31.99
60	0.25	92	14.29	53.73	46.27
80	0.18	163	25.31	28.42	71.58
100	0.15	55	8.54	19.88	80.12
120	0.125	45	6.99	12.89	87.11
Fondos		83	12.89	0.00	100.00
TOTAL		644	100		

Fuente: elaboración propia.

Se observa en la tabla 10 que las mallas 45 y 80 se obtuvo mayor cantidad de material retenido de almidón de cascara de banano. Respecto a la literatura donde se compara con el granulo de almidón de yuca que debe pasar por un tamiz malla 100⁶⁸. El porcentaje retenido acumulado hace referencia a la cantidad de material que se aglomera en cada una de las mallas, al tener un diámetro de partícula inferior a la malla anterior (malla superior).

Siendo necesario tomar el material que tenga un tamaño de partícula uniforme y que sea adecuado para la realización de las biopelículas, se toma la malla 80 ya que visualmente presento un polvo más fino que las mallas de 60 y 45, y por tener mayor masa retenida con una abertura de tamiz de 0.180 mm. Ya que a partir de la malla 80 se obtuvo un granulo deseado se tomaron las demas mallas de 100 120 y fondos para un total de 438 g de almidón. En la tabla 11 se observa que las mallas 80 y 100 se obtuvo mayor cantidad de material de almidón de endocarpio retenido

⁶⁸ Aristizabal J, Sanchez T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2007;163:61.

respecto a las demás mallas, se escoge desde la malla 80 ya que presento un granulo fino de 0,180 mm para la elaboración de las biopelículas con un total de las demás mallas de 30 g.

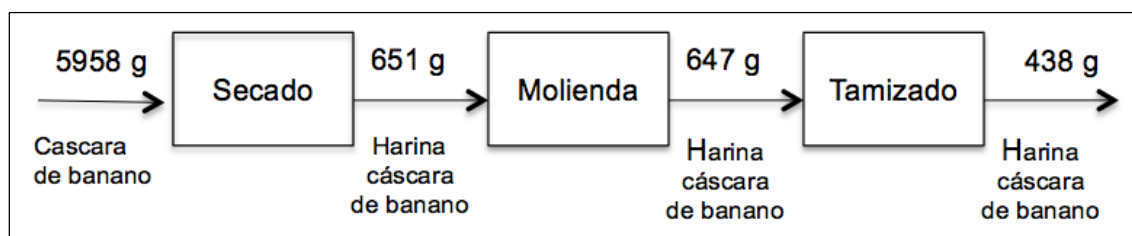
Tabla 11 Análisis diferencial y acumulativo del proceso de tamizado de polvo del endocarpio de la cascara de banano.

No. De Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Masa retenida (g)	% de material retenido	% paso por tamiz	% retenido acumulado
25	0.71	3	7.5	92.5	7.5
45	0.355	2	5	87.5	12.5
60	0.25	5	12.5	75	25
80	0.18	16	40	35	65
100	0.15	10	25	10	90
120	0.125	3	7.5	2.5	97.5
Fondos		1	2.5	0.00	100.00
TOTAL		40	100		

Fuente: elaboración propia.

2.3.5 Rendimiento. Se determinó el rendimiento de cada una de las etapas (secado, molienda y tamizado) en el proceso de extracción del almidón de la cascara de banano y del endocarpio de la misma. Se puede observar en la ilustración 12 y en la tabla 12 el peso inicial y final a la entrada y salida de cada fase. El proceso en el cual se hizo uso completo de la cascara de banano, entraron 5958 g en la etapa de secado y como resultado final (en la etapa de tamizado) se obtuvieron 438 g con un rendimiento final en el proceso de 7.35%.

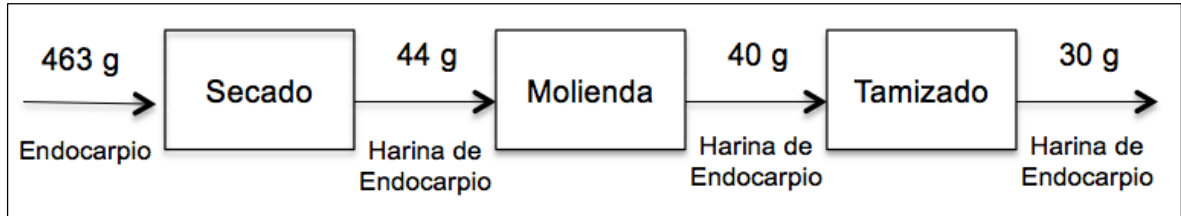
Ilustración 12 Entradas y salidas de cada etapa en el proceso de extracción del almidón de la cáscara de banano por el método seco.



Fuente: elaboración propia.

En el proceso donde se utilizó el endocarpio entraron 463 g en la etapa de secado y como salida en la etapa de tamizado salieron 30 g con un rendimiento del 6.5% ver tabla 12, se encuentra el rendimiento de cada etapa en cada proceso.

Ilustración 13 Entradas y salidas de cada etapa en el proceso de extracción del almidón del endocarpio por el método seco



Fuente: elaboración propia

Para los caculos de rendimiento:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso Final} \times 100}{\text{Peso inicia}}$$

Rendimiento de las cáscaras deshidratadas respecto al almidón obtenido.

$$\frac{438 \text{ g} * 100 \text{ g}}{651} = 67.28\%$$

Rendimiento del Endocarpio deshidratado respecto al almidón obtenido.

$$\frac{30 \text{ g} * 100}{44 \text{ g}} = 68.18\%$$

Perdidas en las etapas de molienda y tamizado en la extracción de almidón

Cascaras $100 - 67.28 = 32.72\%$

Endocarpio $100 - 68.18 = 31.82\%$

Tabla 12 Rendimientos del proceso de extracción del almidón de la cáscara de banano por el método seco.

Proceso	Cascara	Endocarpio
Etapa	Rendimiento %	Rendimiento %
Secado	10.93	9.5
Molienda	99.4	91
Tamizado	67.7	75
Final	7.35	6.5

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de rendimiento de las cascaras de banano y del endocarpio de 10.9% y 9.5% se debe al alto contenido de humedad de las cascaras entre el 91 % y 95%. Respecto al rendimiento final del almidón de cascara y endocarpio con 7.5% y 6.5% estas diferencias de valores se deben al proceso de molienda y tamizado que no fue efectivo en un 100% como se puede ver en la tabla 12, ya que en cada etapa se presentaron dificultades como la eficiencia del molino dejando partículas de mayor tamaño que no ayudo a un buen tamizado para obtener el granulo requerido, por lo tanto hubo pérdidas en el proceso, con un 32.72 % en el almidón con cascara y 31.22 % de almidón de endocarpio. Estos valores de rendimiento comparados con la literatura son muy bajos debido al grado de maduración de las cascaras.

3. SELECCIÓN DE FIBRA COMO UN AGENTE DE REFUERZO PARA LA BIOPELÍCULA MEJORANDO LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Para el desarrollo de este capítulo se hizo una revisión bibliográfica de las fibras naturales usadas como refuerzos poliméricos. Comparando sus propiedades mecánicas se seleccionaron 2 para llevar a cabo la pre experimentación, en la que se evaluaron diferentes concentraciones y temperaturas para la elaboración de las biopelículas.

Durante la experimentación para la elaboración de las biopelículas con almidón de cascara de banano no se obtuvieron los resultados esperados, por lo cual fue necesario realizar otra metodología omitiendo la deshidratación de las cascara de banano y la gelatinización. Se llevó a cabo un desarrollo experimental a partir de unas pruebas preliminares para determinar las concentraciones de endocarpio, glicerol, agua, fique, ácido acético, almidón de yuca y temperaturas de secado adecuadas para las mejores biopelículas se realizó pruebas mecánicas de tensión y flexión para determinar si las fibras naturales actuaron como agente de refuerzo y compararlas con un polietileno.

3.1 FIBRAS

Las fibras naturales son comercialmente competitivas debido a su bajo costo. Esto las hace muy atractivas para su uso industrial y manufacturero. Tienen baja densidad lo que les otorga una elevada resistencia específica, esta condición se debe a su dureza y su relación de forma. Son de origen orgánico, con lo cual son de fácil biodegradabilidad y a diferencia de las fibras de vidrio no producen efectos abrasivos⁶⁹.

El refuerzo de polímeros con fibras naturales es actualmente un tema de interés. Ya que posibilita la preservación del medio ambiente, evitando la contaminación generada por los polímeros tradicionales. Supera las propiedades mecánicas de los polímeros reforzados con fibra de vidrio⁷⁰. Existen diferentes aplicaciones en la industria con compuestos reforzados. Las fibras celulósicas de diferentes orígenes aportan mayor servicio a esta en campos como la construcción, la industria automotriz y la industria de empaques alimentarios⁷¹.

⁶⁹ AMIGO Vicente, SALVADOR M^a Dolores, SAHUQUILLO Oscar. Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos .

⁷⁰ PUGILA D, TOMASSUCCI A, KENNY J. Processing, properties and stability of biodegradable composites based on mater-Bi1 and cellulose fibres. *POLYMERS FOR ADVANCED TECHNOLOGIES*. 2013;14:749-756.

⁷¹ M TS John. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*. 2008;71(3):343-364.

Se ha demostrado que el comportamiento mecánico, así como el esfuerzo de tensión y el módulo de Young tienen mejores resultados en los compuestos poliméricos o también llamados materiales compuestos, cuando estos son reforzados con fibras naturales que cuando no⁷²⁻⁷³⁻⁷⁴.

Dichos materiales compuestos están constituidos por dos fases como lo son la matriz en la cual se encuentra incrustado el refuerzo (fibra natural), esta a su vez aporta ductilidad y tenacidad al material además de ser la encargada, de transferir esfuerzos a los refuerzos para que puedan soportar la mayor parte de la fuerza que se aplica, la otra fase es el refuerzo y es el encargado de definir la estructura interna de dichos materiales⁷⁵.

3.1.1 Propiedades de las fibras verdes.

- Son ambientalmente amigables tanto en el proceso, producción y como desecho al final del ciclo⁷⁶.
- Son renovables y se necesita menos cantidad de energía de entrada por unidad de producción⁷⁷.
- Propiedades similares a aquellos materiales con refuerzo de fibra de vidrio⁷⁸.
- Mejor elasticidad⁷⁹.
- Son menos abrasivos durante el proceso de fabricación⁸⁰.
- Absorben bien las vibraciones y por lo tanto el sonido⁸¹.

⁷² LAWTON J, SHOGREN R. TLEFENBACHER K.F. Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams. *INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS*. 2004;19:41-48.

⁷³ BODROS E, PILLIN I, MONTRELAY N, Baley C. Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibre be used in structural applications? *COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY*. 2007;67:462-470.

⁷⁴ H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M. Mazuki, S. Safiee, Z.A.M. Ishak, A. Abu Bakar. Kenaf fiber reinforced composites: A review. *Materials and Design*. 2011;32:4107 4121.

⁷⁵ GUERRERO V, PONTON P, TAMAYO A, Villacís H, Delgado F, Galeas S. Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas ; *ESPE*. 2013.

⁷⁶ TAPIA Clotario, PAREDES Cecilia, SIMBAÑA Andrés, BERMUDEZ Javier. Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. *Tecnológica ESPOL*. ;19(1):113-120.

⁷⁷ *Ibíd.*, p, 49.

⁷⁸ *Ibíd.*, p, 49.

⁷⁹ *Ibíd.*, p, 49.

⁸⁰ *Ibíd.*, p, 49.

⁸¹ *Ibíd.*, p, 49.

- 2 a 3 veces más barato que trabajar con fibra de vidrio⁸².
- Si se requiere un compuesto 100% biodegradable se pueden mezclar con biopolímeros como almidón, lignina, hemicelulosa, caucho.
- Cuando se queman los compuestos con fibras naturales hay menor producción de CO₂ y otros gases tóxicos⁸³.

La resistencia y rigidez de las fibras son proporcionado por los componentes de celulosa a través de enlaces de hidrógeno y otros enlaces. La hemicelulosa es responsable de la biodegradación, la absorción de humedad y la degradación térmica de las fibras⁸⁴.

Las fibras naturales más usadas como refuerzos polímeros son: el cáñamo, el yute, el sisal, el algodón, el kenaf, el abacá, el lino, el coco, el bambú y la guadua. A continuación, se hará una breve descripción de algunas de ellas⁸⁵:

3.1.2 Yute. Es una de las fibras más comunes especialmente en el este de la India y Bangladesh donde es llamada la fibra de oro por su escaso alargamiento en la ruptura y su alto módulo de tracción, su baja densidad (1.5 g/cm³) permite que su rigidez y resistencia específica sean comparadas con la fibra de vidrio (fibra más usada en refuerzos poliméricos). Ha sido usada como refuerzo especialmente en polímeros termoestables y polímeros termoplásticos; su resistencia a la tracción puede ser comparada con la de un polipropileno cuando se realizan modificaciones en la superficie de esta misma⁸⁶⁻⁸⁷.

⁸² *Ibíd.*, p, 49.

⁸³ *Ibíd.*, p, 49.

⁸⁴ H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M. Mazuki, S. Safiee, Z.A.M. Op. Cit., p. 36.

⁸⁵ AMIGO Vicente. Op. Cit., p. 48.

⁸⁶ THI.THU-Loan Doan, SHANG-LIN Gao, Edith Mañder. Jute/polypropylene composites I. effect of matrix modification. *COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY*. 2006;66:952-963.

⁸⁷ MOHANTY A.K. KHAN M. HINRICHSEN G. Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics—polyester amide composites. *Composites Part A: applied science and manufacturing*. 2000;31:143-150.

3.1.3 Caamo. Es una planta herbácea originaria de Asia y cultivada en Europa, también llamada cannabis; al igual que el lino es la única fuente comercial de fibras naturales cultivadas en el Reino Unido. Los tallos de estas plantas de caamo son procesados por medio de diferentes métodos mecánicos para extraer la fibra, estas fibras se han utilizado a lo largo de los años en la producción de cordones y prendas de vestir; últimamente ha sido usada como materia prima para la fabricación de componentes no estructurales en la industria de automóviles por su resistencia especfica⁸⁸.

Se ha demostrado que el contenido de celulosa de la fibra de caamo puede variar entre el 70.2% y el 74.4%. Tiene varias aplicaciones gracias a su alta resistencia y rigidez. Su composición en la variación química se debe a varios factores que conducen a la variabilidad en las propiedades mecánicas de sus fibras⁸⁹.

3.1.4 Sisal. El sisal se produce principalmente en Tanzania y Brasil, se cree que es originario de América Central. Sus hojas son de color verde oscuro, rígidas, carnosas en forma de lanza y crecidas en una roseta del tallo y tiene una vida útil de 7 a 10 aos⁹⁰. La fibra de sisal presenta uno de los mayores valores de módulo de elasticidad y de resistencia de las fibras naturales, por esta razón es una de las preferidas para realizar refuerzos poliméricos ya que estos se destacan por presentar alta resistencia al impacto y buenas propiedades de resistencia a la tracción y flexin⁹¹.

3.1.5 Kenaf. El Kenaf es una fibra basta de cultivo biodegradable y amigable con el medio ambiente. Su aplicación más expansiva ha sido como refuerzo en materiales compuestos⁹².

Estos materiales van desde termoestables como poliéster y termoplásticos como polipropileno y polietileno debido a su alta relación de aspecto comparándola con otras fibras y a su resistencia superior. También es conocida como fuente celulósica con ventajas económicas y ecológicas. Una sola fibra de estas puede alcanzar valores altos como 11.9 GPa y 60 GPa, de resistencia y módulo de Young⁹³. Sus

⁸⁸ DHAKAI H.N. ZHANG Z.Y. RICHARDSON M.O. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. *COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY*. 2007;67:1674-1683.

⁸⁹ RAMESH M. Hemp, jute, banana, kenaf, ramie, sisal fibers In: *Handbook of properties of textile and technical fibres*. India: Elsevier Ltd; 2018:302-318.

⁹⁰ Ibd.

⁹¹ De CAMPOS A, TEODORO KBR, MARCONCINI JM, Mattoso LHC. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompsito de amido termoplstico/policaprolactona/sisal. *Polimeros*. ;20(10).

⁹² H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M. Mazuki, S. Safiee, Z.A.M. Op. Cit., p. 36.

⁹³ SHARLAF H. AZIZ, Martin P. ANSEL. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 – polyester resin matrix. *COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY*. ;64:1219-1230.

filamentos y las propiedades individuales pueden variar según las fuentes, la edad, la técnica de separación y la historia de las fibras⁹⁴.

3.1.6 Abacá. Es una planta nativa de las Filipinas, similar a las plantas de banano, de la cual se diferencia por sus usos y propiedades preferente de climas tropicales y subtropicales, la planta de abacá tiene un ciclo de vida largo con un periodo de producción de aproximadamente 15 a 20 años y tarde entre 18 a 24 meses en producir la fibra; se caracteriza por ser una fibra resistente al agua salada por lo que ha sido usada para fabricación de papel, bolsas para té, sogas para buques, monedas entre otras aplicaciones⁹⁵.

3.1.7 Coco. Las fibras de coco son materiales lignocelulósicos obtenidos del mesocarpio de cocos y se caracterizan por su dureza y durabilidad atribuida al alto contenido de lignina. Asimismo, está catalogada como una de las fibras más duras al ser proveniente de plantas monocotiledóneas⁹⁶⁻⁹⁷.

La cascara de la palma de coco contiene un 30% en peso de fibra y un 70% en peso de material de médula. Es una fibra abundante, no toxica, biodegradable, de baja densidad y bajo costo. Estas son ligeras y fuertes, pueden soportar fácilmente el calor además de tolerar el agua salina⁹⁸

3.1.8 Ramio. Primeras aplicaciones sobre los años 80´ como refuerzo polimérico, tiene una mayor resistencia a los productos químicos que otras fibras y disuade el crecimiento de bacterias y hongos. Es también conocida como el pasto de China, la principal razón de su cultivo es poder obtener su fibra. Para obtener la fibra los bastones de ramio deben ser cortados durante su etapa de crecimiento. El ramio aporta numerosas ventajas respecto a las demás fibras como la salud laboral y la huella de carbono⁹⁹.

⁹⁴ H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M. Mazuki, S. Safiee, Z.A.M. Op. Cit., p. 36.

⁹⁵ OXI

⁹⁶ RINCON REYNA J.F., Rincón Reyna P. G., TORRES MARAVILLA E., MONDRAGON ROJAS A. G., SANCHEZ PARDO M. E., Arana Cuenca A., Ortiz Moreno A. Jiménez García E. Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (cocos nucifera L.) ; *Rincón et al.* ;1(2):279-284.

⁹⁷ SANDOVAL, M., ZAPATA, M., CELIS, J., QUESADA, C., CAPULIN, J. c, Solís, A. Efecto de la aplicación de fibra de coco (cocos nucifera L.) en el almacenamiento y eficiencia del uso del agua en un alfisol, sembrado con ballica (lolium multiflorum L.) y en la toxicidad en lechuga (lactuca sativa L.). *Sandoval et al. / Agro Sur.* 2013;41(3):1-13.

⁹⁸ INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY, B.H.U., Varanasi , India and P. C. G O P E. The use of coir/coconut fibers as reinforcements in composites. In: *Biofiber reinforcement in composite materials*. India: Elsevier Ltd; 2015:285-316.

⁹⁹ Y. D U , N. YA N , M. T. KO RT S C H O T. The use of ramie fibers as reinforcements in composites ; In: *Biofiber reinforcement in composite materials*. Toronto, Canada: Elsevier Ltd; 2015.

El modulo específico de Young de dicha fibra es superior al cable de acero y tiene un valor cercano al de las fibras de vidrio, sus propiedades mecánicas varían en la literatura la razón se debe a las diferentes condiciones de cultivo, diferencias en los métodos de prueba y métodos de producción. Los posibles factores que afectan sus propiedades mecánicas son el diámetro, la longitud, el tratamiento térmico y químico¹⁰⁰.

3.1.9 Fique. La fibra de fique es la fibra natural con mayor producción en Colombia, donde son sembradas 341 hectáreas de fique obteniendo una producción de 193 toneladas en el departamento de Cauca, departamentos como Nariño, Santander y Antioquia también la producen y representan cerca del 98% de la producción del país¹⁰¹, lo cual representa entre 30000 y 50000 millones de pesos para la economía del país¹⁰².

Esta fibra tiene aplicaciones en campos como el textil y los empaques y representa aproximadamente el 5 % de la hoja, aporta propiedades mecánicas importantes superiores a la rigidez, lo cual representa ventajas medio ambientales y económicas con respecto a las fibras tradicionales usadas en polímeros reforzados¹⁰³.

La compatibilidad que existe entre la harina de almidón de cáscara de banano y fibra de fique se debe a la similitud molecular de ambos polisacáridos (almidón de cáscara de banano contenido en la harina y fibra), que los hace altamente compatibles; además, la naturaleza hidrofóbica de la celulosa disminuye la capacidad de absorción de agua del TPS, 31 haciéndolo más estable a la existe

Existe una compatibilidad entre la harina de almidón de cascara de banano y la fibra de fique, la cual se debe a la similitud de ambos polisacáridos (almidón de cáscara de banano contenido en la harina y fibra), lo que los hace altamente compatibles; también, la naturaleza hidrofóbica de la celulosa disminuye la capacidad de absorción de agua del TPS, haciéndolo más estable a la humedad¹⁰⁴.

¹⁰⁰ *Ibíd.*

¹⁰¹ MUÑOZ VELEZ MF, HIDALGO SALAZA MA, MINA HERNANDEZ JH. Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación superficial. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 2014;12(2):60-70.

¹⁰² MADS. Llegó la hora del fique. Ministerio de Ambiente Web site. Updated 2017.

¹⁰³ NAVIA, Santiago. *Op. Cit.*, p. 32.

¹⁰⁴ CARVALHO A, ZAMBON M, CURVELO A, GANDINI A. Size exclusion chromatography characterization of thermoplastic starch composites. 1. influence of plasticizer and fibre content. *Polym Degrad Stabil*. 2003;79(1):133-138.

Tabla 13 Propiedades mecánicas de las fibras naturales.

Tipo de Fibra	Densidad	Resistencia a la tracción	Módulo de Young	Elongación a la ruptura
	g/cm ³	Mpa	Gpa	%
Abacá	1.30	307	19.79	-
Coco	1.15 - 1.50	115 - 340	2.80 - 13.7	33 - 51
Sisal	1.45	126 - 800	3.80 - 62.6	2.8 - 10
Yute	1.50	320 - 500	12 - 100	1.3 - 2.8
Malva	1.41	160	17.4	5.2
Ramio	1.51 - 1.55	393 - 900	7.3 - 25	1.8 - 5.3
Fique	1.47	511 - 635	9.4 - 22	9.8

Fuente: elaboración propia.

3.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA

El rendimiento de los materiales siempre se presenta en términos de sus características mecánicas, tales como propiedades de tracción, flexión, compresión, propiedades de impacto y desgaste. Estas características son importantes para determinar la resistencia del material al aplicar una fuerza, especialmente en condiciones extremas y críticas, que están directamente relacionados con el rendimiento de la ingeniería¹⁰⁵.

Para la selección de la fibra fue necesario tener en cuenta características como resistencia a la tracción, alto valor en el módulo de Young y una elevada elongación a la ruptura. Estas permiten que los materiales posean mejores propiedades mecánicas. Además, se indagó que esta fuera de fácil acceso y de bajo costo. Como se demostró en la descripción de cada una de las fibras naturales la mayoría de estas se cultivan fuera de Colombia lo cual no permite que sea de fácil disponibilidad.

Colombia al ser un país tropical, permite el cultivo de la palma de coco. La fibra de esta fruta no tiene ninguna utilidad por lo que su destino es ser un desecho. También, permite que se cultive el fique, y sea uno de los grandes productores. La disponibilidad es una de las razones por las cuales las fibras seleccionadas son la fibra de fique y la fibra de coco.

Como se observa en la tabla 13, la fibra de fique cuenta con un rango de valores de resistencia a la tracción entre 511 – 635 MPa, uno de los más altos en comparación con las demás fibras. De la misma manera sucede con el módulo de Young el cual

¹⁰⁵ H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M. Mazuki, S. Safiee, Z.A.M. Op. Cit., p. 36.

maneja valores superiores como 9.4 – 22 GPa. Una de las razones por las cuales se decidió tener en cuenta la fibra de fique fue por casos de estudios donde se buscaba hacer refuerzos en biopolímeros a partir de almidón y obtuvieron resultados positivos.

En el caso de la fibra de coco lo que más se tuvo en cuenta fue la disponibilidad y el bajo costo el cual corresponde a \$0, además de darle un uso a un desecho que está generando contaminación en el medio ambiente por ser de origen orgánico. Las propiedades de la fibra de coco también se muestran en la tabla 13 donde se resalta la propiedad de elongación a la ruptura manejando un rango de valores de 33 – 51%.

Artículos relacionados con la fibra de coco demuestran por medio de la experimentación que, al ser combinada con compuestos de PP, esta actúa como relleno de refuerzo y aumenta los módulos estáticos y dinámicos de los compuestos¹⁰⁶ selecciono cuatro niveles de contenido de fibra de coco (40, 50, 60 y 70% en peso) los cuales fueron mezclados con polvo de PP y 3% en peso de malezas; la resistencia a la tracción y la dureza de los compuestos en este caso aumentaba al aumentar el contenido de fibra de coco.

3.2 ELABORACIÓN DE BIOPELÍCULAS

3.3.1 Materias primas.

3.3.1.1 Almidón de cascara de banano. Extraído de la cascara de banano por medio de una deshidratación como se muestra en la Ilustración 9.

3.3.1.2 Almidón de yuca. Adquirido de forma comercial.

3.3.1.3 Fibra de coco. Se obtuvo de los residuos de la parte externa de la cascara del coco en algunos supermercados fruver. Fue sometida a un proceso de molienda en un molino de martillos (ver anexo) y tamizado (ver anexo) hasta obtener partículas con un diámetro de 180 µm.

3.3.1.4 Fibra de Fique. Fue obtenida de la empresa Empaques del Cauca (ubicada en Popayán, Cauca, Colombia), como subproducto (polvillo) del proceso de cardado que se les realiza a las fibras de fique. Se le realizó un proceso de secado, molienda y tamizado obteniendo partículas de un tamaño número de diámetro 180 µm.

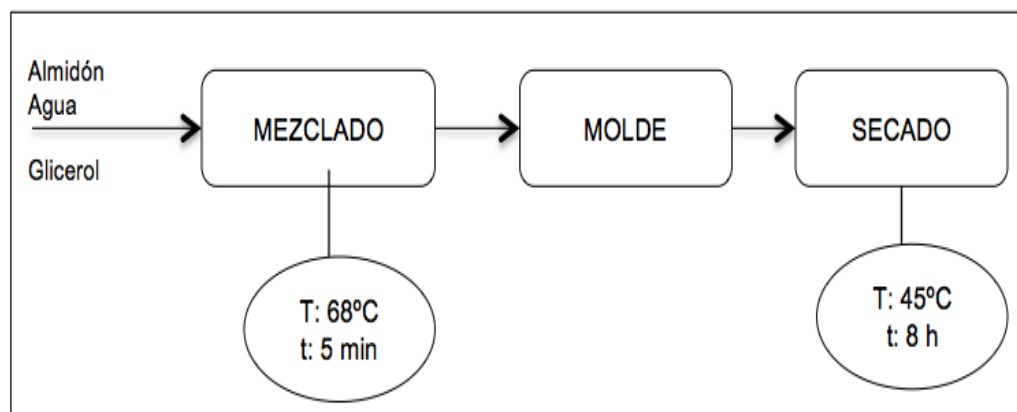
3.3.1.5 Plastificantes. Glicerol y agua

¹⁰⁶ RINCÓN REYNA. Op. Cit., p. 52.

3.3.1.6 Aditivos. Ácido acético.

3.3.2 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas con cascara de banano. Las pruebas preliminares para la elaboración de la biopelícula se realizaron con el objetivo de determinar la metodología de elaboración de las mismas y evaluar las concentraciones de almidón de cascara de banano, el porcentaje de agua y glicerol. Para el proceso de elaboración se adaptó las metodologías de Cárdenas M¹⁰⁷ y Bejarano Arana Nathalia¹⁰⁸

Ilustración 14 Procedimiento A para la elaboración de la biopelícula.



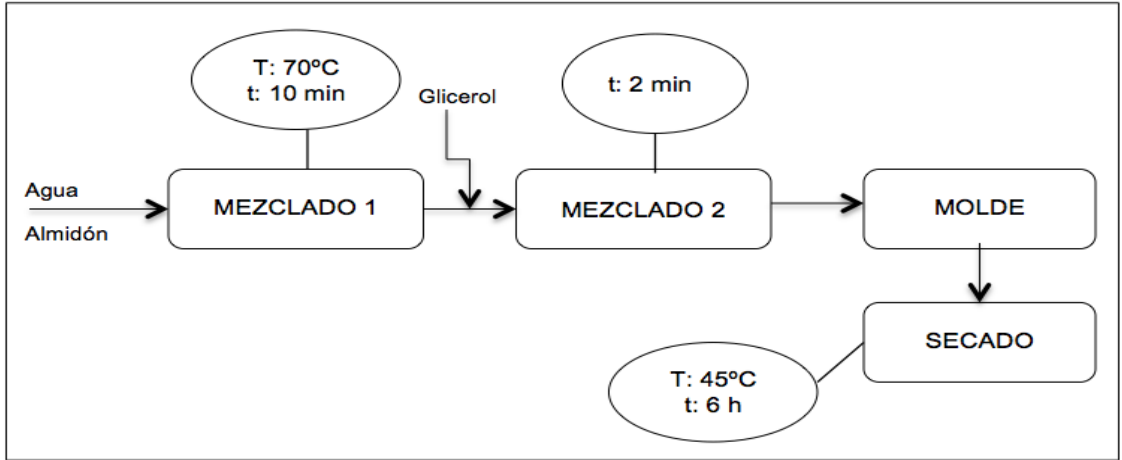
Fuente. elaboración propia

Los procesos para la elaboración de las biopelículas se muestran en las ilustraciones 14 y 15, la primera consistió en mezclar todos los componentes (Almidón de cascara de banano, agua y glicerol) a una temperatura con agitación constante a diferencia de la segunda que se basó primero en gelatinizar el almidón. Para seleccionar la mejor metodología se realizó las siguientes formulaciones ver tabla 14.

¹⁰⁷ CÁRDENAS FRIRE Marcos Adrián. Op. Cit., p. 18.

¹⁰⁸ BEJARANO ARANA Nathalia. Op. Cit., p. 19.

Ilustración 15 Procedimiento B para la elaboración de la biopelícula.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 14 Formulación para la elaboración de las biopelículas preliminares a partir de las metodologías A y B.

Muestra	Almidón (%)	Agua (%)	Glicerol (%)
1	5	60	35
2	10	60	30
3	15	65	20
4	20	70	10
5	25	75	5
6	25	60	15
7	20	80	0
8	15	80	5
9	10	85	5
10	5	85	10

Fuente: elaboración propia

La formulación se llevó a cabo para las dos metodologías (ilustración 14 y 15) mezclando el almidón de cascara de banana, agua y glicerol únicamente. Según Trujillo Cinthya¹⁰⁹, para la preparación de películas la concentración adecuada de almidón debe ser mayor al 3% y menor al 30% por tal motivo se manejó una escala proporcional, con el mismo intervalo para concentraciones de almidón entre 5 y 25

¹⁰⁹ TRUJILLO RIVERA CT. Op. Cit., p. 22.

%, el glicerol se manejó con niveles nulo, bajo, medio y alto para observar su comportamiento por medio de estas concentraciones se hizo la variación del agua. Para la metodología A (ilustración 14), con la formulación (tabla 14) los resultados no fueron satisfactorios, la formación de biopelículas no fue estable, las muestras 1 a la 5 no tuvieron facilidad de moldeo por lo tanto no hubo estabilidad en ellas, debido a altas concentraciones de glicerol. En comparación con las muestras 6 a la 10 que se dejaron moldear, pero tampoco hubo estabilidad ninguna de las muestras se formó debido a que se agregaron todos los componentes al inicio del proceso.

Para la metodología B (ilustración 15) y la formulación de la tabla 14, los resultados fueron diferentes ya que en todas las muestras de la 1 a la 10 se dejaron moldear, pero cada una se comportó diferente. Las muestras 1 a la 3 con menores concentraciones de almidón y altas concentraciones de glicerol no se formaron las biopelículas, se grietaron y no se pudieron desmoldar. Las muestras con mayores porcentajes de almidón de la 4 a la 6 tenían concentraciones bajas de glicerol y tuvieron un comportamiento con grietas, pero fácil de desmoldar. La muestra 7 no tenía glicerol y se comportó rígida pero quebradiza, esto nos demostró que el plastificante es necesario para darle flexibilidad a la biopelícula.

Las muestras 8 y 9 fueron las mejores con concentraciones de almidón de 15% y 10% y las dos se mantuvieron con concentraciones bajas del 5% de glicerol, se comportaron con mejor consistencia, fácil de desmoldar, pero con grietas. Respecto a los resultados de los procesos realizados como primera parte en la metodología A no se tomó en cuenta por sus resultados ya que no hubo estabilidad ni formación de biopelícula, en cambio la metodología B presentó mejores resultados, fácil desmoldeo, estabilidad pero con grietas a diferencia de la primera, por lo tanto se escoge como la mejor metodología la B donde se gelatiniza primero el almidón y luego se agrega el plastificante para proceder a elaborar las biopelículas con los demás componentes.

A partir de los resultados de las concentraciones de almidón de la metodología B escogida, se llevó a cabo la gelatinización del almidón de cascara de banano a diferentes concentraciones donde hubo mejor desmoldeo y estabilidad en la formación de biopelícula, se selecciona el mejor rango donde presente mayor viscosidad tomando en cuenta el tiempo y la temperatura.

Tabla 15 Porcentajes de almidón y agua para la mezcla de gelatinización.

Muestra	Almidón (%)	Agua (%)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)
1	5	95	70	15
2	10	90	72	10
3	15	85	73	10
4	20	80	75	7
5	25	75	-	-
6	30	70	-	-

Fuente: elaboración propia

Se realizaron 6 muestras de las cuales la muestra 1 presento gelatinización a pesar de tener una concentración de almidón baja del 5%. Las muestras 2 y 3 presentaron gelatinización a temperatura promedio como dice la literatura, mientras la muestra 4 se gelatinizo en menor temperatura y tiempo que las demás. Se realizó una muestra 5 y 6 que no aparece en la tabla con concentraciones de 25% y 30% pero sin temperatura de (Tg).

Según la tabla 15 mientras mayor sea la proporción de almidón empleada en la formulación mayor es la temperatura de gelatinización (Tg), como en el caso de la muestra 4 que contiene 20% de almidón y presento una Tg = 75°C, caso contrario la formulación 5 y 6 con concentraciones de 25% y 30% que no se muestra en la tabla ya que no hubo Tg por tener mayor concentración de almidón respecto al agua, con esto se comprueba que para llegar a la gelatinización es necesario que haya exceso de agua. La concentración escogida para llevar a cabo la mezcla gelatinizada fue la 3 ya que presenta una concentración de almidón entre los rangos descritos por la literatura ni baja ni alta.

Se llevó a cabo otras formulaciones a partir de la metodología escogida y la concentración de almidón para la mezcla gelatinizada y la combinación de los demás componentes (fibra de fique, fibra de coco y almidón de yuca), donde se evaluó el color, la estabilidad, la formación de biopelícula y las variables de tiempo y temperatura de secado, para el proceso de elaboración se estimaron realizando pruebas a distintas condiciones (45°C, 55°C, 65°C y ambiente) hasta obtener biopelículas completamente secas. En la tabla 15, se observan las concentraciones que se determinaron para llevar acabo las pruebas preliminares donde se realizaron ocho muestras con diferentes concentraciones de mezcla gelatinizada, plastificante, fibra y algunas con almidón de yuca a 4 temperaturas diferentes para un total de 32 muestras.

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 16, de las 32 muestras que se llevaron a cabo, las formulaciones con concentraciones de fibra de coco no se formaron a ninguna condición de secado ya que se presentaron grietas a la primera interacción con el calor, no se dejaron desmoldar. Esto se debe a que la fibra de coco tiene un alto grado de retención de agua y retrasa el control de la contracción plástica desarrollando grietas a edades tempranas en la formación de las biopelículas¹¹⁰.

Los criterios que se tomaron en cuenta para seleccionar las formulaciones con mejor comportamiento como biopelícula fueron color, estabilidad y facilidad de desmoldar, en la tabla 16, se identifican las muestras con mejores resultados. Para obtenerlas se realizaron pruebas de secado a distintos tiempos y temperaturas, de manera que a una temperatura ambiente y de 45°C con promedios de 24 y 7 horas se obtenían biopelículas con mayor facilidad para desmoldar.

Para este trabajo de grado, en la caracterización de la formación de biopelículas la palabra Nulo hace referencia a una no formación de biopelícula, lo cual involucra un gran porcentaje de grietas y una no estabilidad. La palabra Alta involucra lo contrario a la palabra Nulo, una formación de biopelícula con estabilidad y sin presencia de grietas

¹¹⁰ INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Op. Cit., p. 49.

Tabla 16 Formulaciones pruebas preliminares para la elaboración de la biopelícula.

Muestra	Mezcla de gelatinización(%)	Glicerol (%)	Fique (%)	Coco (%)	Yuca (%)	Facilidad de moldeo	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Forma Pelicula
C1	85	15	-	-	-	Alto	Ambiente	24	Nulo
							45	1.5	Nulo
							55	1.5	Nulo
							65	1	Nulo
C2	80	5	15	-	-	Alto	Ambiente	24	Alta
							45	2.5	Media
							55	3	Baja
							65	2	Nulo
C3	60	10	30	-	-	Alto	Ambiente	22	Nulo
							45	5	Media
							55	2	Nulo
							65	2	Nulo
C4	80	5	-	15	-	Alto	Ambiente	34	Nulo
							45	6	Nulo
							55	4.5	Nulo
							65	4.5	Nulo
C5	60	10	-	30	-	Alto	Ambiente	40	Nulo
							45	7	Nulo
							55	5	Nulo
							65	5	Nulo
C6	45	5	-	25	25	Alto	Ambiente	30	Nulo
							45	6	Nulo
							55	3.5	Nulo
							65	3	Nulo
C7	45	5	25	-	25	Alto	Ambiente	18	Media
							45	4.5	Alta
							55	3	Baja
							65	2.5	Baja
C8	25	5	25	-	45	Alto	Ambiente	18	Media
							45	4	Alta
							55	2.5	Alta
							65	1.8	Baja

Fuente: elaboración propia.

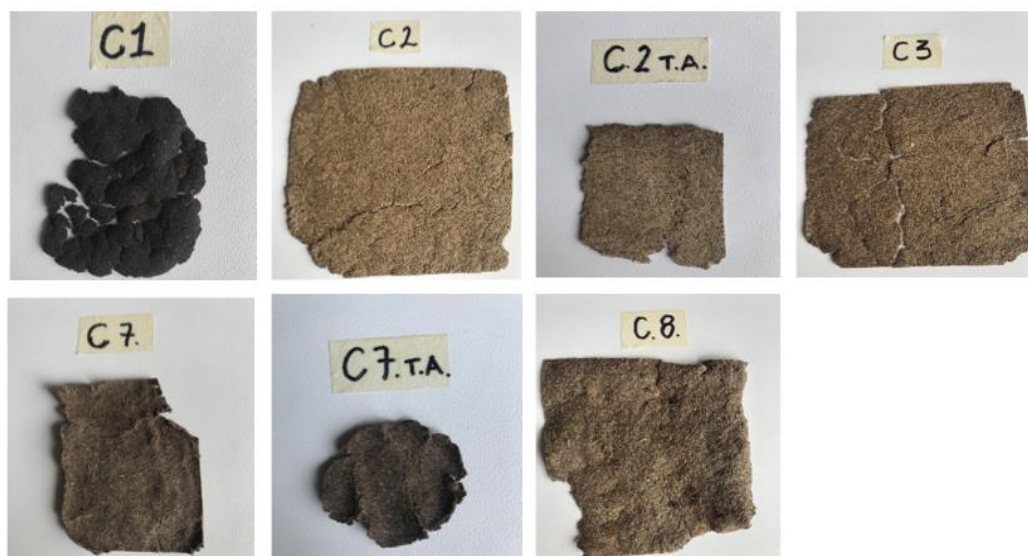
Tabla 17 Mejores resultados obtenido de películas con cascara de banano.

Muestra	Mezcla de gelatinización %	Glicerol %	Fique %	Yuca %	Facilidad de moldeo	Forma Película	Transparencia
C1	85	15	-	-	Si	No	No
C2	80	5	15	-	Si	No	No
C3	60	10	30	-	Si	No	No
C7	45	5	25	25	Si	Si	No
C8	25	5	25	45	Si	Si	No

Fuente: elaboración propia.

En la Ilustración 16, se observan las biopelículas obtenidas con las formulaciones C1, C2, C3, C7 y C8, que presentaron mayor facilidad para desmoldar, sin embargo, la muestra C1 no fue fácil para desmoldar, pero se usó como blanco para determinar la diferencia que hay entre ella y las que tienen fibra natural, esta se comportó quebradiza de color muy oscuro. La formulación C2 se comportó quebradiza a temperatura de 45°C mientras que a temperatura ambiente no se formaron grietas, su color fue café claro pero opaco. La C3 fue quebradiza a temperatura de 45°C con concentración del 30% de fique se observó más oscura que la anterior pero igual de opaca y con poca resistencia al tacto. La muestra C7 y C8 contenía almidón de yuca en diferentes composiciones, la C7 se comportó menos rígida con 25% de almidón de yuca que la C8 que contenía 45% de yuca, se observaron opacas y poco flexibles.

Ilustración 16 Pruebas preliminares de biopelículas.



Fuente: elaboración propia

Se analizan los resultados mostrados anteriormente, el almidón obtenido en la extracción con la totalidad de la cascara de banano, tenía una cantidad considerable de impurezas cerca del 75%, por lo tanto, esto no permitía que la elaboración de las biopelículas fuera exitosa y en el momento de gelatinizar no gelificara. Las biopelículas no presentaron características adecuadas en su color, forma, textura y sus propiedades mecánicas no permitieron llevar a cabo pruebas de flexión y tracción ya que eran frágiles.

3.3.3 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas Con el almidón de endocarpio. Debido a los resultados de las pruebas preliminares de la elaboración de la biopelícula a partir de cascara de banano que no fue exitosa, se ve necesario realizar otra extracción de almidón, en este caso solo con el endocarpio de la cascara de banano que se presenta en el capítulo anterior ver ilustración 10. En esta ocasión se realizó la extracción del almidón del endocarpio con un tratamiento químico para evitar el pardeamiento a partir de una solución de bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) y fue mezclado con un porcentaje de ácido acético ya que este actúa como un aditivo en la solución (siendo un agente espesante). Cerca del 10 % de la cascara de banano corresponde a azúcares, por lo tanto, se buscó un almidón con mayor pureza desechando el exocarpio de la cascara de banano.

La metodología adoptada para este proceso se muestra en la ilustración 15, donde el mezclado 1 hace referencia a la gelatinización del almidón. Se lleva a cabo la misma metodología de la elaboración de biopelícula con la totalidad de la cascara.

Con base a las experiencias anteriores, se realizaron 3 formulaciones las cuales se evidencian en la tabla 18, así como las diferentes composiciones, la temperatura y tiempo de secado. Para poder observar las diferencias con respecto a las anteriores biopelículas se realizan nuevamente combinaciones con yuca y fibra de fique. Como se mencionó anteriormente la fibra de coco no formó biopelícula debido a su alto contenido de humedad por tal motivo solo se decidió realizar las combinaciones con la fibra de fique.

Tabla 18 Formulaciones pruebas preliminares para la elaboración de biopelícula a partir del almidón con endocarpio.

Muestra	Mezcla de gelatinización (%)	Glicerol (%)	Fique (%)	Yuca (%)	Ácido Acético (%)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)
E1	80	10	-	-	10	Ambiente	24
E2	60	10	20	-	10	Ambiente	24
E3	45	5	25	20	5	Ambiente	24

Fuente: elaboración propia

Se observa en la ilustración 17, la biopelícula E1 presento mejores resultados con respecto a las muestras E2, E3 y a las anteriores experimentaciones. El proceso de extracción y el tratamiento antipardeamiento tuvo cambios significativos en la elaboración de las biopelículas. Para la muestra E1 que solo contenía mezcla gelatinizada de almidón de endocarpio glicerina y ácido acético, el resultado es estable, hubo formación de biopelícula, su textura fue lisa y de fácil desmoldeo, flexible, pero se presentaron grietas. Para la muestra E2 que contenía 20 % fique se comportó de fácil desmoldeo, pero quebradiza y la última muestra E3 que contenía 25% de fique y 20 % de almidón de yuca tuvo un comportamiento estable de fácil desmoldeo, hubo formación de película, un color amarillo quemado, pero opaca y sin flexibilidad.

Ilustración 17 Pruebas preliminares de biopelículas con almidón de endocarpio.



Fuente: elaboración propia

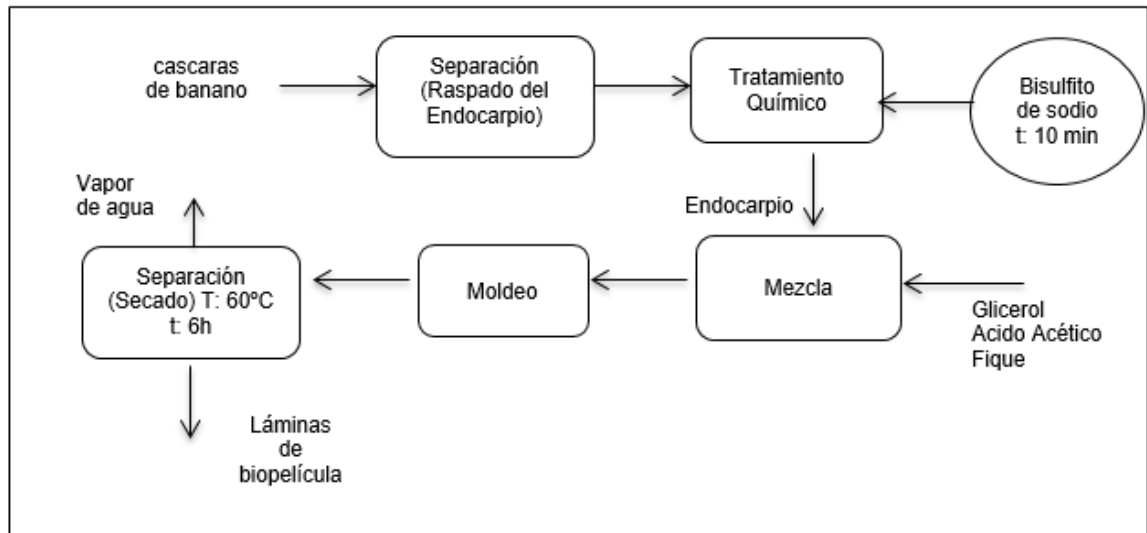
Respecto a los resultados anteriores de las biopelículas del almidón con la totalidad de la cascara y las biopelículas con el almidón de endocarpio las diferencias son notorias, esto debido a que el almidón se encuentra con mayor pureza al anterior y

con la ayuda del ácido acético mejoro su textura, estabilidad y color. A pesar de los resultados positivos para estas biopelículas, aún no se consigue una biopelícula de color claro, con textura lisa, sin grietas, que se vea flexible y resistente al tacto.

Revisando las metodologías y los diagramas ya expuestos, se analizó que en la extracción del almidón ya sea con la totalidad de la cascara o usando solo el endocarpio, se eliminaba agua en la etapa de secado para luego en la elaboración de la biopelículas volver a agregársela para la gelatinización del almidón, lo cual se decidió realizar una segunda metodología para la elaboración de la biopelícula donde no fuera necesario eliminar agua para luego agregarla, que en este caso consistió en ingresar el endocarpio de la cascara de banano sin ningún método de extracción para volverlo harina sino que se mezclara directamente después del tratamiento químico con los demás componentes ver diagrama de proceso Ilustración 18.

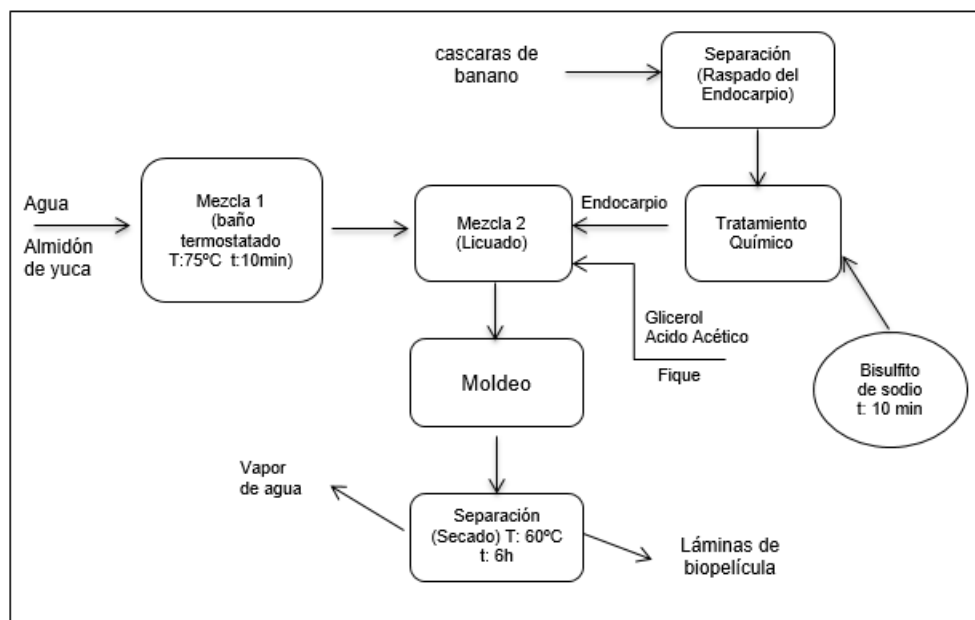
3.3.4 Pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción del endocarpio. Para el desarrollo de estas pruebas preliminares, se tuvo en cuenta que las mejores biopelículas de las pruebas anteriores fueron obtenidas a partir del uso del endocarpio con tratamiento químico, el uso de ácido acético como aditivo que actúa como agente espesante en la solución y en algunas formulaciones el uso de almidón de yuca formaba rigidez por tal motivo se decide seguir haciendo pruebas con este componente.

Ilustración 18 Procedimiento C para la elaboración de biopelícula sin proceso de extracción de almidón.



Fuente: elaboración propia

Ilustración 19 Procedimiento D para la elaboración de biopelícula sin proceso de extracción de almidón con almidón de yuca.



Fuente: elaboración propia

Se realizó otras formulaciones para la nueva metodología para la elaboración de biopelículas con diferentes concentraciones de endocarpio, glicerol, fique, ácido acético y almidón de yuca, ver tabla 18, donde se evaluó la estabilidad, color, formación de biopelícula y las condiciones de secado, las cuales se realizaron a 35°C, 40°C, 45°C y ambiente, hasta obtener biopelículas completamente secas. Las condiciones de secado se estimaron a partir de los resultados anteriores de las pruebas preliminares donde las biopelículas a 45°C y ambiente tenían facilidad de desmoldar, mientras que a temperaturas de 60°C los almidones pierden sus propiedades, por este motivo se toman estos rangos de temperatura para las diferentes formulaciones, donde se evalúan 36 muestras.

Tabla 19 Formulaciones de las pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción de almidón.

Muestra	Endocarpio (%)	Yuca (%)	Agua (%)	Fique (%)	Glicerol (%)	Ácido Acético (%)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Forma Película
N1	60	-	-	-	20	20	Ambiente	32.5	Alta
							35	13	Medio
							40	10	Bajo
							45	6	Nula
N2	60	-	-	10	15	15	Ambiente	31	Medio
							35	12	Medio
							40	8.5	Nula
							45	5	Nula
N3	70	-	-	15	10	5	Ambiente	30	Medio
							35	10	Medio
							40	6.5	Nula
							45	4.5	Nula
N4	21	7	67	-	4	1	Ambiente	25	Alta
							35	15	Medio
							40	10.5	Nula
							45	5	Nula
N5	15	12	67	-	4	2	Ambiente	26	Alta
							35	20.5	Medio
							40	12	Nula
							45	8.5	Nula
N6	17	14	63	-	4	2	Ambiente	34.5	Alta
							35	19	Nula
							40	15	Nula
							45	10	Nula
N7	21	4	67	2	4	2	Ambiente	23.5	Alta
							35	12	Medio
							40	8.5	Nula
							45	4	Nula
N8	15	8	67	4	4	2	Ambiente	25	Alta
							35	18	Medio
							40	10.5	Nula
							45	7	Nula
N9	25	4	59	6	4	2	Ambiente	32	Alta
							35	17.5	Nula
							40	12	Nula
							45	8.5	Nula

Fuente: elaboración propia.

Las muestras N1, N2 y N3 no contenían almidón de yuca por lo tanto se realizaron por el procedimiento C (ver Ilustración 18). La muestra N1 a temperatura ambiente formó biopelícula, fue estable, de color oscuro y era pegajosa. Las muestras N2 y N3 contenían % de fique y no hubo formación de biopelícula a las cuatro condiciones de temperatura, fueron quebradizas y de color oscuro. Las muestras N4, N5, N6, N7, N8 y N9 fueron estables, hubo formación de biopelícula, estas muestras tenían concentraciones de almidón de yuca por lo tanto se llevaron a cabo por el

procedimiento D (ver Ilustración 19). A continuación, en la tabla 20, se muestran las formulaciones de las biopelículas con los mejores resultados.

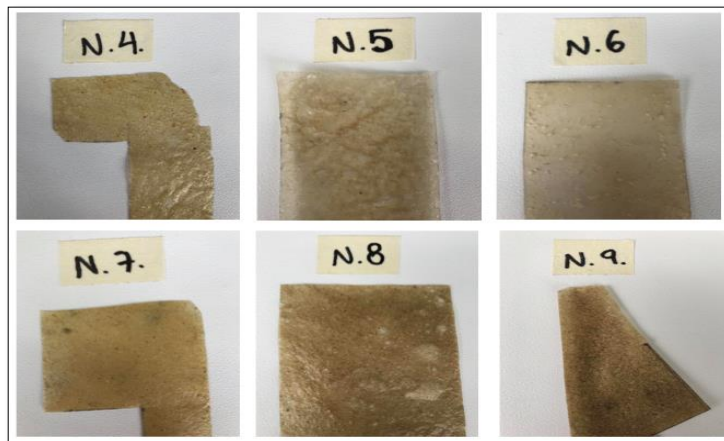
Tabla 20 Mejores formulaciones de las pruebas preliminares para la elaboración de las biopelículas sin proceso de extracción de almidón.

Muestra	Endocarpio (%)	Yuca (%)	Agua (%)	Fique (%)	Glicerol (%)	Ácido Acético (%)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Forma Película
N4	21	7	67	-	4	1	Ambiente	25	Si
N7	21	4	67	2	4	2	Ambiente	23.5	Si
N5	15	12	67	-	4	2	Ambiente	26	Si
N8	15	8	67	4	4	2	Ambiente	25	Si
N6	17	14	63	-	4	2	Ambiente	34.5	Si
N9	17	8	63	6	4	2	Ambiente	32	Si

Fuente: elaboración propia

Las formulaciones de la tabla 20 se dieron en condiciones de temperatura ambiente, donde tuvieron un comportamiento mejor que las demás pruebas realizadas anteriormente, se observaron de un color más claro las que no contenía % de fique mientras que las que si contenían fique se vieron de un tono más opaco, también se vieron con transparencia, flexibles y resistentes al tacto. Ver ilustración 20.

Ilustración 20 Pruebas preliminares de biopelículas sin proceso de extracción de almidón



Fuente: elaboración propia.

3.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Por medio de las pruebas preliminares se pudo controlar variables como la concentración de los componentes, temperaturas y tiempos de mezclas. Se tomó la decisión de evaluar las 6 composiciones que obtuvieron los mejores resultados y se adiciono una etapa de calentamiento seguido de la etapa del licuado para reducir las burbujas y llevar a cabo la experimentación. Las pruebas a evaluar tuvieron una muestra en blanco que no tiene fique, para comprobar si la adición de la fibra mejora las propiedades mecánicas de la biopelícula.

Las variables del proceso de elaboración de las biopelículas a partir de almidón las constituyen las temperaturas de 30°C y Ambiente. Las concentraciones especificadas como glicerol y ácido acético se mantuvieron constantes durante la experimentación.

Tabla 21 Parámetros para el diseño de experimentos.

FACTORES	NIVELES	VARIABLE RESPUESTA
Temperatura de secado (30 ° C)	M1: 21%E, 4%HY, 2%FF	Resistencia a la tracción y a la flexión
Temperatura de secado (Ambiente)	M2: 15%E, 8%HY, 4%FF	
	M3: 17%E, 8%HY, 6%FF	

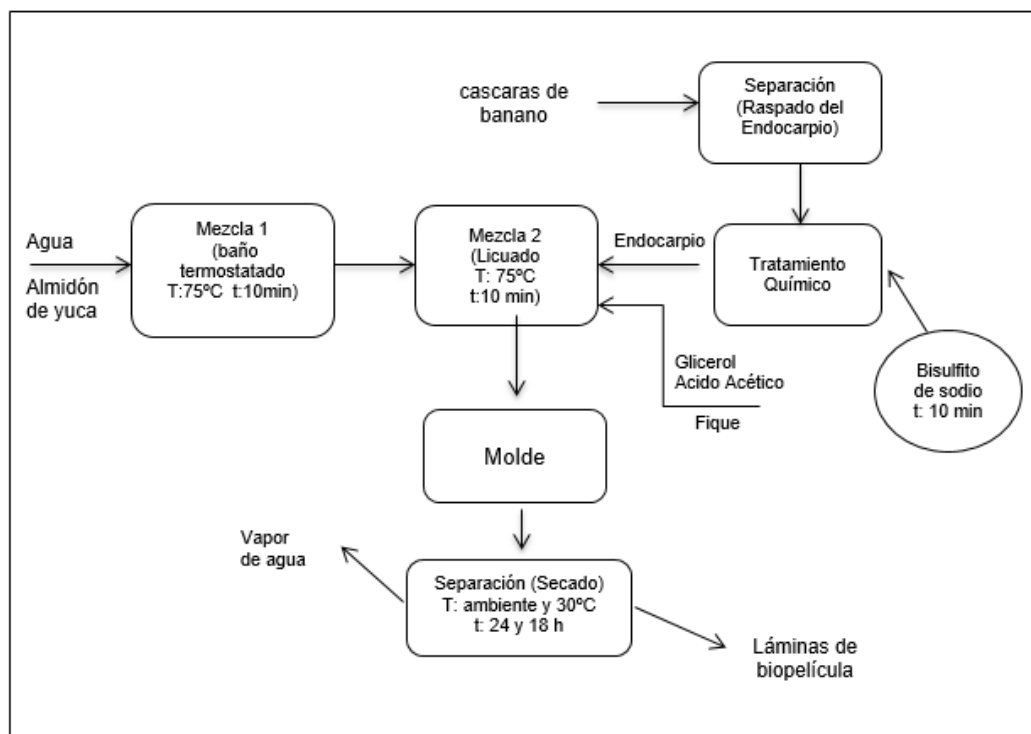
Fuente: elaboración propia.

E: Endocarpio; HY: Almidón de yuca; FF: Fibra de fique

Se evaluó el efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades mecánicas (flexión y tracción) de las biopelículas del experimento, teniendo como variables constantes 3 tipos de mezclas como se muestra en la tabla 21.

Para el procedimiento de la elaboración de las biopelículas se rasparon las cascaras de banano, donde se extrajo el endocarpio que luego se sumergió en una solución de bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Se filtró a través de un lienzo y posteriormente se licuo con el almidón de yuca ya gelatinizada, el fique, el glicerol y el ácido acético por 3 min a velocidad Max. El almidón de yuca fue previamente mezclado con agua en un beaker de 150 ml con agitación constante en un baño termostatado hasta llegar a su temperatura de gelatinización a 75 °C por 10 min. Después del licuado se calienta la solución de nuevo en un baño termostatado a 70 °C por 10 min. Pasado este tiempo la solución se pasa a moldes de acrílico y luego se llevan a secar al ambiente por 24 horas y a 30 °C por 18 horas. Se dejó enfriar hasta que la película se pudo desmoldar con facilidad. A continuación, en la Ilustración 22 el diagrama de flujo de la elaboración de las biopelículas.

Ilustración 21 Diagrama de flujo de la elaboración de las biopelículas.



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla 22 se observa las concentraciones correspondientes para cada muestra y la ilustración 23 las biopelículas obtenidas.

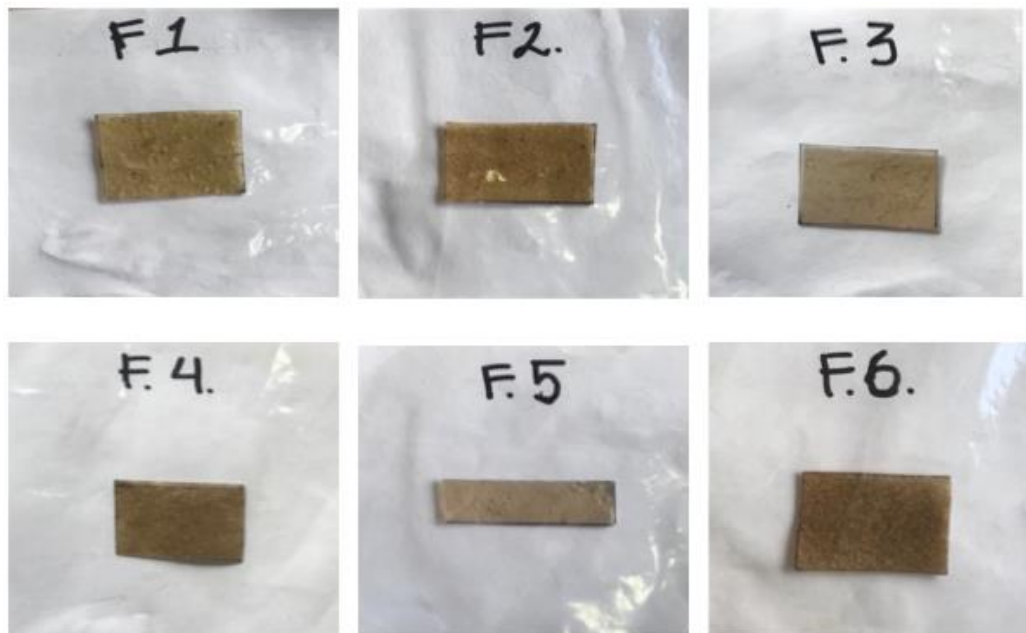
Tabla 22 Formulación para la elaboración de las biopelículas finales.

Muestra	Endocarpio (%)	Yuca (%)	Agua (%)	Fique (%)	Glicerol (%)	Ácido Acético (%)	Temperatura de secado (°C)	Tiempo de secado (h)	Formación de biopelícula
F1	21	7	67	-	4	1	Ambiente	25	Alta
							30	18	Media
F2	21	4	67	2	4	2	Ambiente	23.5	Alta
							30	15	Media
F3	15	12	67	-	4	2	Ambiente	26	Alta
							30	19.5	Media
F4	15	8	67	4	4	2	Ambiente	25	Alta
							30	17.5	Media
F5	17	14	63	-	4	2	Ambiente	34.5	Alta
							30	25	Media
F6	17	8	63	6	4	2	Ambiente	32	Alta
							30	20	Media

Fuente: elaboración propia.

Las muestras F1, F3 y F5 que no contenían fibra de fique a una temperatura ambiente se presentaron visualmente con transparencia, flexibles y resistentes. La muestra F1 que contenía más porcentaje de endocarpio tuvo un color más oscuro que las otras dos con menor porcentaje de endocarpio. Las muestras F2, F4 y F6 contenían porcentaje de fique, donde tuvieron un comportamiento flexible, resistente y opaco. Ver Ilustración 23. Todas las muestras que se acondicionaron a una temperatura de 30°C no fueron estables y tuvieron grietas. Ver Ilustración 23.

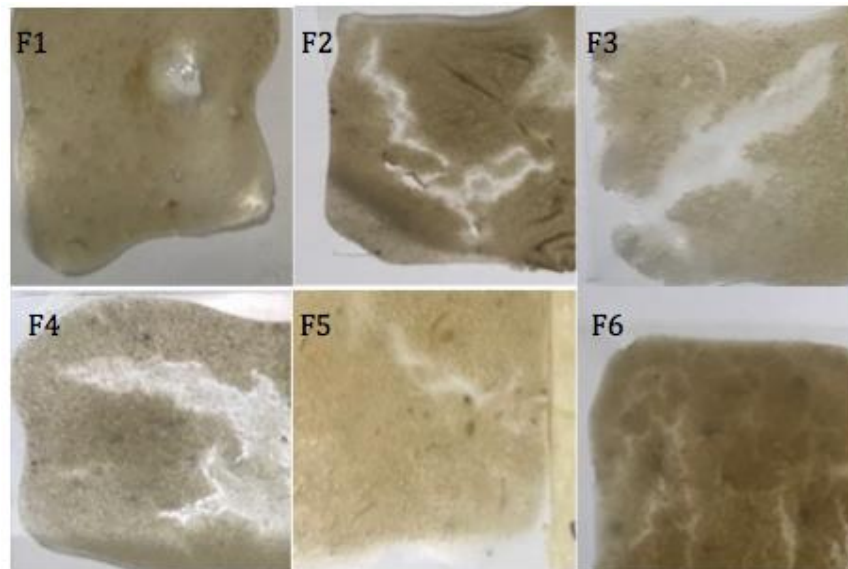
Ilustración 22 Resultados finales de biopelículas muestras a temperatura Ambiente.



Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados de la tabla 22 se evaluó el efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas de tracción y flexión de las biopelículas para aplicar un diseño factorial 3^2 , donde se tiene como variable respuesta la resistencia. Las muestras F1, F2, F3, F4, F5, F6 a una temperatura de secado de 30°C tuvieron una formación de biopelícula media, esto quiere decir que se presentaron grietas, no se dejaron desmoldar y no eran estables (ver Ilustración 24). Debido a este comportamiento no se permitieron realizar las pruebas de resistencia a la tracción y a la flexión a la temperatura de secado de 30°C por la inestabilidad que estas presentaron. Como se muestra en la ilustración 23, las muestras que se secaron a temperatura ambiente tuvieron una mejor formación y estabilidad lo que permitió realizar las pruebas mecánicas. Por tal motivo la temperatura de secado de 30°C ya no es un factor y el diseño factorial se redujo a 3^1 lo que hace referencia a que no hay variable efecto dentro del desarrollo experimental.

Ilustración 23 Resultados finales muestras a temperatura de 30°C.



Fuente: elaboración propia

3.4.1 Pruebas mecánicas. Para caracterizar un material es necesario estudiar su comportamiento ante el tipo de esfuerzo al que se ve a ver sometido¹¹¹. En tales condiciones, es necesario evaluar propiedades como la resistencia máxima y módulo elástico que presenta el material ante la tensión y flexión, que está relacionada directamente con la ductilidad del material¹¹²

Los ensayos se realizaron en la Universidad Nacional de Colombia, en una Máquina Universal de Ensayos marca Shimadzu® 5kN, con certificado de calibración No. 6305 expedido por ICCLAB, en el mes de Julio del 2017. Adicionalmente para el ensayo de Tensión fue implementado un Extensómetro de contacto Ref.: SES 1000, marca Shimadzu®, con certificado de calibración No. 3644, expedidos por el laboratorio de calibración ICCLAB, en el mes de diciembre del 2015. Para la longitud calibrada del ensayo de Tensión de la probeta se instaló una galga de 10mm, adaptada al extensómetro.

El instrumento con el que se registró el espesor de las muestras fue un micrómetro marca Mitutoyo con una resolución de 0,001mm, y para el ancho de las muestras se utilizó un calibrador Pie de Rey, marca Mitutoyo con una resolución de 0,05mm. Las condiciones atmosféricas en el momento de realizar los ensayos, fueron: Humedad Relativa 49,7 % y Temperatura 18°C. Se implementó una celda de carga de 50N para el registro de los resultados.

¹¹¹ BELTRÁN M, MARCILLA A. Op. cit., p. 28

¹¹² NAVIA PORRAS. Op. Cit., p. 49.

3.4.1.1 Ensayo de Tracción. La tracción es una medida de la respuesta de un material ante una fuerza que tiende a estirarlo. Para la longitud calibrada del ensayo de Tracción de la muestra se instaló una galga de 10mm, adaptada al extensómetro. La velocidad del ensayo a la Tracción fue de 0,1mm/min.

La tabla 23 muestra las especificaciones que presentaban las muestras (probetas). La forma geométrica que presentaron fue rectangular.

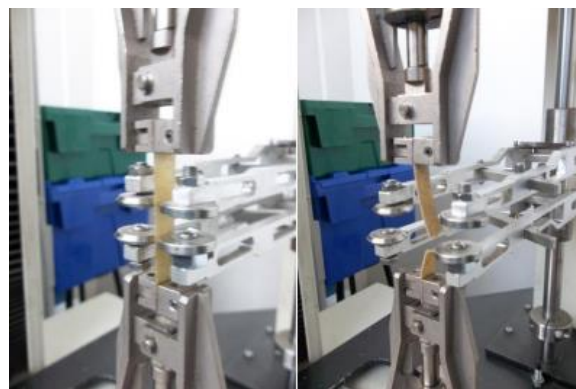
Tabla 23 Dimensiones de las muestras del ensayo de tracción.

Nombre de las muestras	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Distancia entre apoyos (mm)
F1	0.437	9.45	10
F2	0.46	10	10
F3	0.5	9.7	10
F4	0.438	10.1	10
F5	0.423	9.85	10
F6	0.476	10.05	10

Fuente: elaboración propia, con base en UNIVERSIDAD NACIONAL, ensayos mecánicos. Laboratorios Interfacultades.

En la Ilustración 25 se observa el equipo en el cual se realizó el ensayo de tracción y la deformación que ocurrió en la muestra.

Ilustración 24 Imagen de la izquierda: instalación de la muestra. Imagen de la derecha: muestra ensayada.



Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL. Ensayos mecánicos, laboratorio interfacultades

En la tabla 24, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de tensión realizada a las muestras ya mencionadas anteriormente.

Tabla 24 Resultados del ensayo de tensión de las muestras de biopelícula.

Nombre de las muestras	Fuerza máxima (N)	Desplazamiento a fuerza máxima (mm)	Esfuerzo a fuerza máxima (N/mm ²)	Deformación a fuerza máxima (%)
N4	1.39375	1.87875	0.3375	18.7875
N7	2.71797	2.08875	0.48535	20.8875
N5	9.5625	0.50375	1.01947	5.0375
N8	9.05937	1.32344	1.66723	13.2344
N6	7.12344	2.29813	1.38278	22.9813
N9	8.73125	1.53188	0.99176	15.3188

Fuente: elaboración propia, con base en UNIVERSIDAD NACIONAL, ensayos mecánicos. Laboratorios Interfacultades.

3.4.1.2 Ensayo de Flexión. Este ensayo permite medir la capacidad de un material para soportar fuerzas aplicadas en su eje longitudinal. Las propiedades de flexión se calculan referidas al esfuerzo y deformación que se producen en la superficie externa de la muestra.

Las dimensiones de los apoyos e indentador del dispositivo implementado para las pruebas de Flexión sobre muestra fueron de 1,5mm, y la distancia entre soportes se estableció en 15mm. La velocidad del ensayo a Flexión fue de 1mm/min.

Tabla 25 Dimensiones de las muestras del ensayo de flexión.

Nombre de la muestra	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Longitud calibrada (mm)
N4	0.437	20.45	15
N7	0.46	19.6	15
N5	0.467	19.85	15
N8	0.438	20.1	15
N6	0.423	20.45	15
N9	0.476	20.55	15

Fuente: elaboración propia, con base en UNIVERSIDAD NACIONAL, ensayos mecánicos. Laboratorios Interfacultades.

En la tabla 25, se muestran los resultados obtenidos en la prueba de flexión realizada a las muestras ya mencionadas anteriormente.

Ilustración 25 Imagen de la izquierda: instalación de la muestra. Imagen de la derecha: muestra ensayada.



Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL. Ensayos mecánicos, laboratorio interfacultades.

A continuación, se mostrará la tabla 26 la cual presenta resultados con respecto a la prueba de flexión.

Tabla 26 Resultados de ensayo de flexión.

Nombre de la muestra	Fuerza máxima (N)	Desplazamiento a fuerza máxima (mm)	Esfuerzo a fuerza máxima (N/mm ²)	Deformación a la fuerza máxima (%)
N4	0.010	3.724	0.055	4.339
N7	0.027	4.075	0.100	6.085
N5	1.029	3.493	1.247	9.007
N8	0.822	4.269	3.180	6.125
N6	0.462	3.453	1.859	4.815
N9	0.146	3.919	0.209	9.155

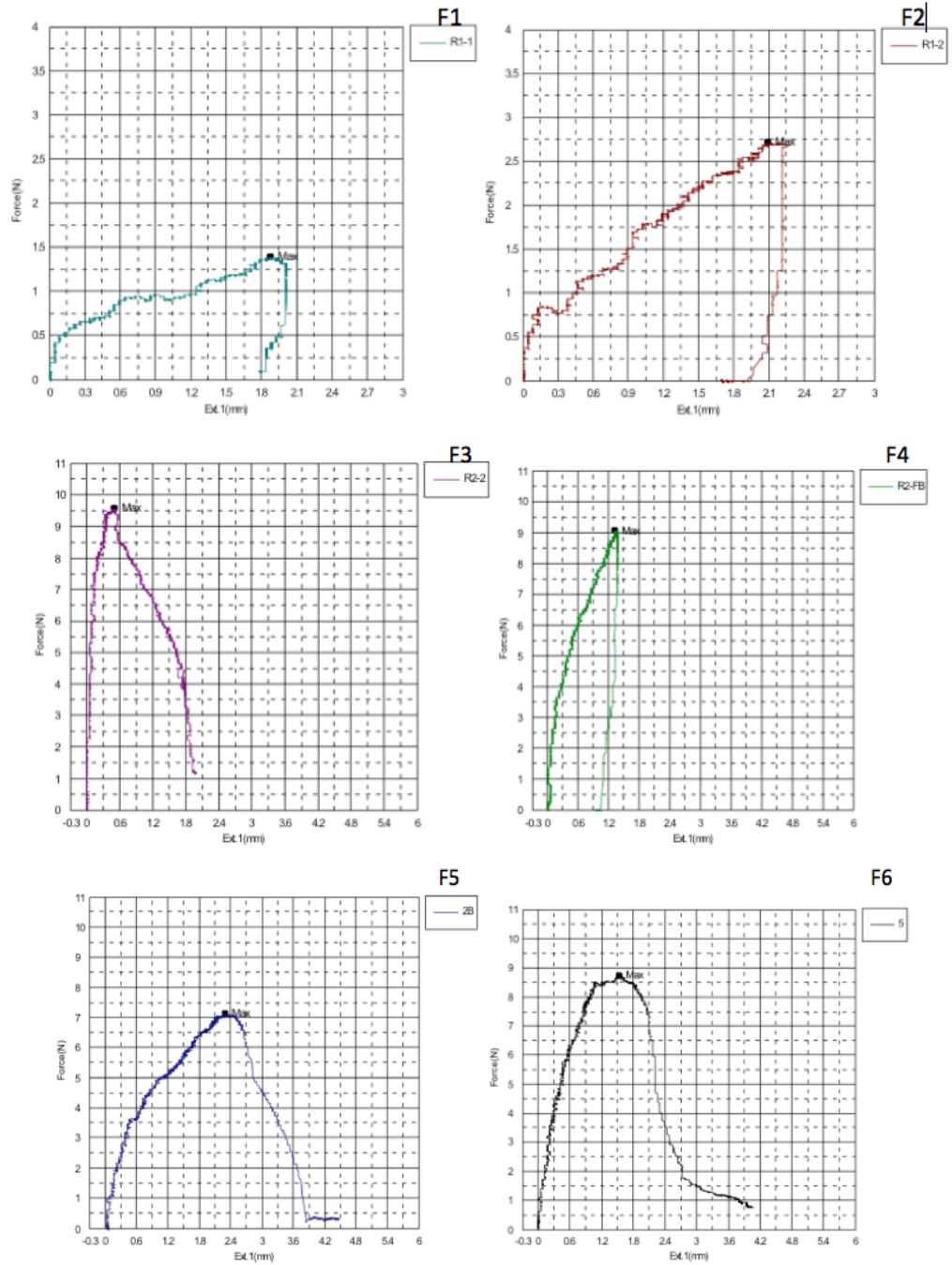
Fuente: elaboración propia, con base en UNIVERSIDAD NACIONAL, ensayos mecánicos. Laboratorios Interfacultades.

ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados que se observan en la tabla 22 y la ilustración 23 con las muestras F están dados a diferentes concentraciones y temperaturas. Los resultados menos favorables en cuanto a la formación de biopelícula se obtuvieron a una temperatura de secado de 30°C (temperatura máxima de la última experimentación), este comportamiento se debe a que el proceso de secado es crucial para la formación de las películas de almidón, cuando el proceso de secado es acelerado la solución acuosa de almidón o amilosa con alto contenido de amilo no logra gelificarse de manera correcta. En la formación de biopelículas a partir de almidón es necesario que se den dos etapas, en primera instancia se da la gelatinización, en esta etapa el almidón se hidrata por la absorción de agua mediante la acción del calor, para que las cadenas poliméricas formadas en la gelatinización se cristalicen. Se debe dejar enfriar la solución a temperatura ambiente y es allí donde se va a dar la segunda etapa llamada gelificación, en donde las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse por la asociación de las cadenas de glucosa ya que en el proceso de enfriamiento la evaporación del agua conduce a la concentración de la solución reduciendo la mayor parte del gel.

Las siguientes graficas presentan el comportamiento de las muestras durante los ensayos de tensión comparando la fuerza aplicada vs el desplazamiento.

GRAFICA 1 Fuerza aplicada vs el desplazamiento de las biopelículas



Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL. Ensayos mecánicos laboratorios interfacultades.

Teniendo en cuenta los resultados de ensayo de tracción las muestras F2, F4 y F6 presentan mejores valores de resistencia en comparación con las muestras F1, F3 y F5, de acuerdo a la composición de dichas muestras se puede decir que la adición de fibra de fique mejora significativamente esta propiedad. Por el contrario, cuando existe un contenido de endocarpio superior al 20% en la composición de la biopelícula y el porcentaje de fibra de fique es inferior al 5% disminuyen las propiedades mecánicas, mientras que para porcentajes menores al 20% de endocarpio, las propiedades mecánicas de la biopelícula tienden a mejorar siempre y cuando el contenido de fibra de fique sea cercano al 5%. Esta información se puede apreciar en la tabla 27.

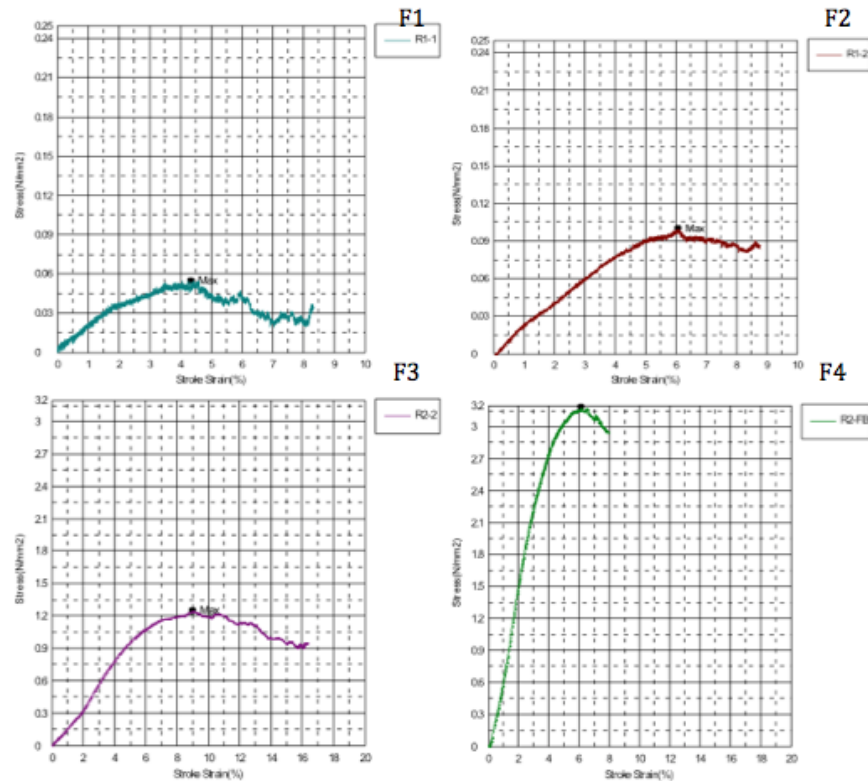
Tabla 27 Composición de muestras y resultados de resistencia a la tracción y a la flexión.

Muestra	Endocarpio (%)	Yuca (%)	Agua (%)	Fique (%)	Glicerol (%)	Ácido Acético (%)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)
F1	21	7	67	-	4	2	0,3375	0,055
F2	21	4	67	2	4	2	0,48535	0,1
F3	15	12	67	-	4	2	1,01947	1,247
F4	15	8	67	4	4	2	1,66723	3,180
F5	17	14	63	-	4	2	1,38278	1,859
F6	17	8	63	6	4	2	0,99176	0,209

Fuente: elaboración propia.

Las muestras, en el ensayo de flexión presentaron comportamientos similares que en el ensayo de tracción. Es decir, que los mejores valores de resistencia siempre fueron asignados a la muestra F4.

Grafica 2. Esfuerzo vs deformación de la flexión de las biopelículas.



Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL. Ensayos mecánicos laboratorios interfacultades.

En las muestras F1, F2, F3 y F4 se evidencia un aumento progresivo con respecto al valor de resistencia a la Flexión, esto puede ser causa de la disminución del porcentaje de endocarpio y al aumento del porcentaje de fibra de fique. Las muestras F5 y F6 presentan una disminución progresiva en la resistencia a la flexión, al aumentar el contenido de fique.

Con las gráficas de esfuerzo vs deformación de las muestras, se observan las curvas obtenidas del ensayo de flexión en el cual el esfuerzo aplicado varía de forma constante. El comportamiento es parecido en las muestras, pero no el mismo esto debido a las diferentes concentraciones de los componentes. El pico más alto de las curvas muestra la máxima indentación que soporta el material antes de lograr fracturarse, para la muestra F4 tuvo un mayor desplazamiento a la fuerza lo que le permitió alcanzar un valor de 3.18 MPa de resistencia a la flexión. La muestra F5 también muestra un valor considerable de resistencia a la flexión 1.859 MPa, el cual es importante resaltar porque la muestra no tiene concentración de fibra de fique.

En el desarrollo experimental donde se evaluaron las propiedades mecánicas la muestra F4 presento mejores resultados de resistencia a la tracción y a la flexión logrando valores de 1.6 MPa y 3.1 MPa, respectivamente. Haciendo una comparación con biopelículas de almidón de cascara de banano en donde obtienen un valor de 0.5994 MPa¹¹³ de resistencia a la tracción de una muestra compuesta por 75% de almidón de cascara de banano, 9% de HCl, 6% de glicerol y 9% de NaOH, por lo cual se puede decir que la adición de fibra de fique es favorable para esta propiedad. Analizando la resistencia de la biopelícula con el polietileno de baja densidad ¹¹⁴ al cual se le confiere una resistencia promedio de 5.44 MPa los resultados obtenidos no son satisfactorios.

¹¹³ GIRALDO LOPEZ J, Cuarán Cuarán JC, Arenas Garcia LV, Florez Pardo LM. Usos potenciales de la cáscara de banano: Elaboración de un bioplástico. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. 2014;1:7-21.

¹¹⁴ HERNANDEZ N, ESCOBAR M. *Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado*. ; 2009.

4. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROCESO DE PRODUCCION DE LA BIOPELICULA

En este capítulo se define el diagrama de proceso para la elaboración de la biopelícula con su respectivo balance de materia y la descripción de los equipos y herramientas utilizados a una escala piloto para la producción de cinco biopelículas de 60 x 70 cm.

Para este trabajo de grado, la escala piloto hace referencia a una producción de 4200 m² por biopelícula lo cual corresponde a 21000 m² por las cinco biopelículas. Para la elaboración de estas se procesarán aproximadamente 2335 g gramos de cascaras de banano lo cual corresponde a 467 gramos de endocarpio. 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.

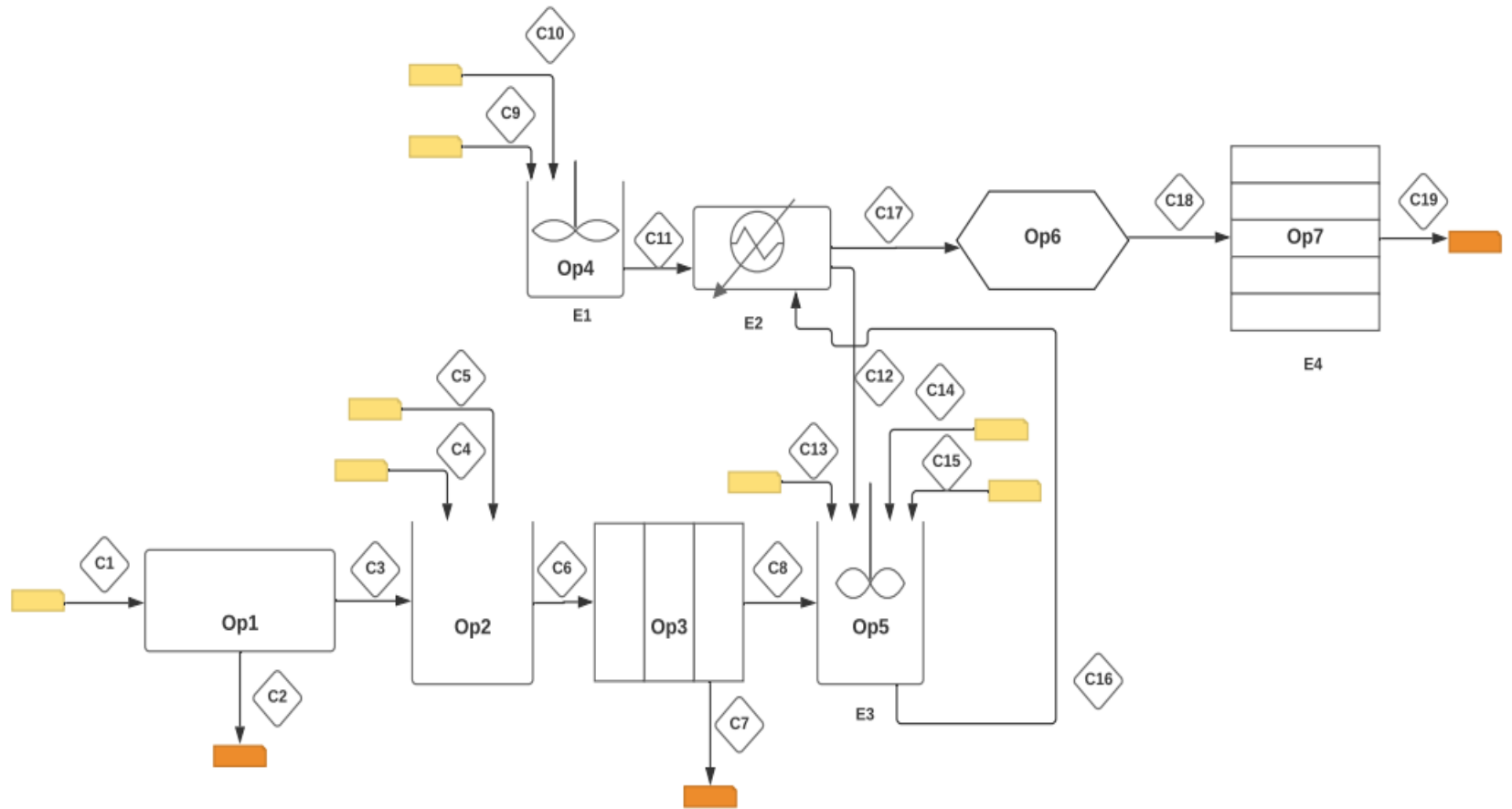
4.1 DIAGRAMA DEL PROCESO

Tabla 28 Lista de operaciones en el proceso.

Lista de Operaciones	
<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
Op1	Raspado
Op2	Tratamiento químico
Op3	Filtrado
Op4	Gelatinización
Op5	Licuado
Op6	Moldeo
Op7	Secado

Fuente: elaboración propia

Ilustración 26 Diagrama de proceso para la elaboración de la biopelícula.



Fuente: elaboración propia.

Tabla 29 Lista de corrientes en el proceso.

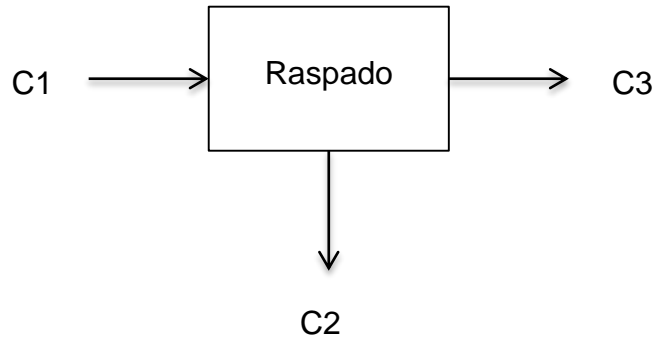
Lista de Corrientes	
<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>
C1	Cascaras de banano
C2	Residuo de Cascara de banano
C3	Endocarpio
C4	Bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
C5	Agua
C6	Endocarpio Con Sln de ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
C7	Solución de ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
C8	Endocarpio filtrado
C9	Almidón de yuca
C10	Agua
C11	Mezcla AY
C12	Mezcla AY gelatinizada
C13	Glicerol
C14	Fique
C15	Ácido Acético
C16	Mezcla FA
C17	Mezcla FA caliente
C18	Mezcla moldeada
C19	Biopelícula

Fuente: elaboración propia

4.2 BALANCE DE MATERIA

Para determinar la cantidad y dimensiones de biopelícula que se obtiene, se plantea un balance de materia del diagrama de proceso diseñado a escala piloto a partir del desarrollo de las etapas correspondientes del proceso que se llevó a cabo a nivel laboratorio, teniendo en cuenta las pérdidas presentadas en la experimentación.

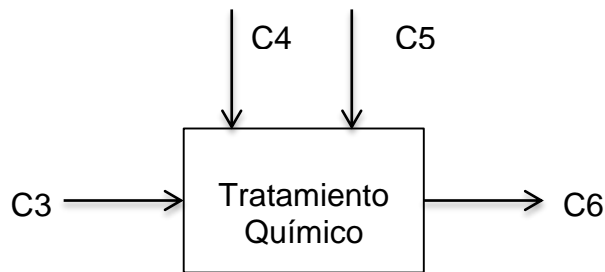
El balance de materia para la etapa de raspado, como se mencionó anteriormente se separa el endocarpio del exocarpio donde el endocarpio corresponde aproximadamente a un 20% de la totalidad de la cascara de banano.



$$C1 - C2 = C3$$

$$2335 \frac{g}{dia} - 1868 \frac{g}{dia} = 467 \frac{g}{dia}$$

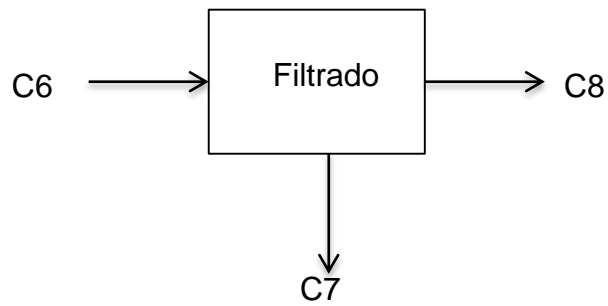
Balance de materia para la operación del tratamiento químico: En esta etapa el endocarpio recibe humedad aproximadamente de un 15 %, a partir de la solución de Bisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$).



$$C3 + C4 + C5 = C6$$

$$467 \frac{g}{dia} + 1747 \frac{g}{dia} = 2214 \frac{g}{dia}$$

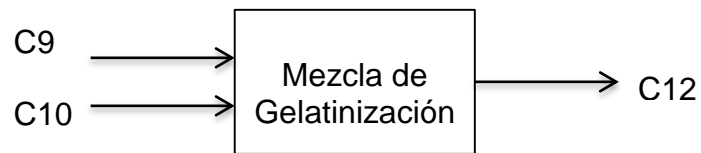
Balance de materia para la operación de Filtrado: En esta etapa se quita una gran parte de solución de bisulfito de sodio al endocarpio.



$$C6 - C7 = C8$$

$$2214 \frac{g}{dia} - 1674 \frac{g}{dia} = 540 \frac{g}{dia}$$

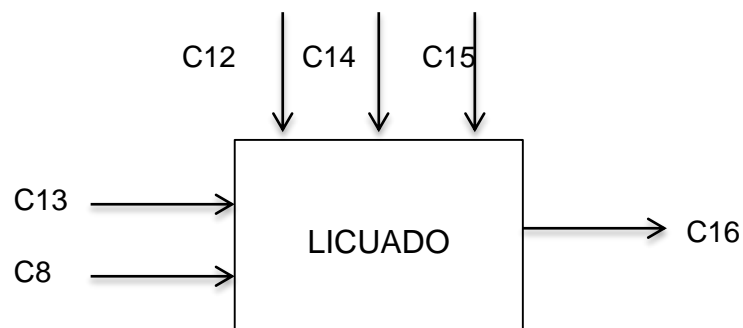
Balance de materia para la operación de mezcla (Gelatinización): En esta etapa el almidón de yuca se gelatiniza absorbiendo en su totalidad el agua ingresada.



$$C9 + C10 = C12$$

$$2087 \frac{g}{dia} + 250 \frac{g}{dia} = 2337 \frac{g}{dia}$$

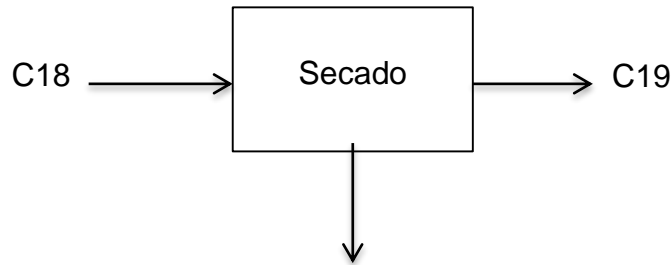
Balance de materia para la operación de licuado: Esta operación disminuye el endocarpio y a la vez mezcla los demás componentes.



$$C8 + C13 + C12 + C14 + C15 = C16$$

$$540 \frac{g}{dia} + 125 \frac{g}{dia} + 2337 \frac{g}{dia} + 62 \frac{g}{dia} + 125 \frac{g}{dia} = 3189 \frac{g}{dia}$$

Balance de materia para la operación de secado: En esta etapa la mezcla de la solución final presenta pérdida de peso por la eliminación de humedad.

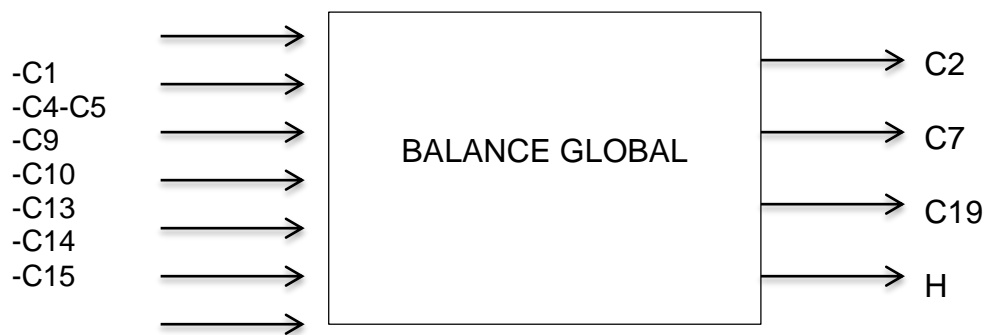


$$C18 - H = C19$$

$$3189 \frac{g}{dia} - 2705 \frac{g}{dia} = 484 \frac{g}{dia}$$

Dónde: H = Humedad

BALANCE GLOBAL



$$C1 + C4 + C5 + C9 + C10 + C13 + C14 + C15 = C2 + C7 + C19 + H$$

$$2335 + 1747 + 2087 + 250 + 125 + 62 + 125 = 1868 + 1674 + 484 + 2705$$

$$6731 \frac{g}{dia} = 6731 \frac{g}{dia}$$

4.3. REQUERIMIENTOS

Las cascaras de banano son la principal materia prima o insumo del proceso. Este al ser un residuo del proceso de deshidratación del banano no tendría ningún costo para la empresa.

El tratamiento o almacenamiento de las cascaras de banano se debe realizar antes de las 48 horas, de esta manera se evita la descomposición o perdidas de las mismas. El tratamiento con bisulfito de sodio permite recuperar el endocarpio solo del pardeamiento, pero no de la descomposición.

4.3.1 Equipos y herramientas. Todos los equipos y herramientas mostradas a continuación están relacionadas con la escala de producción ya explicada anteriormente. Los mismos operarios que reciben la cascaras de banano son los encargados de llevar a cabo el proceso y entregar el producto terminado.

Mesa de acero inoxidable

El primero proceso es realizar el raspado de las cascaras de banano obteniendo así el endocarpio. La cantidad de cascaras de banano a la entrada del proceso es de 2337 g al día, se requiere de una mesa en acero inoxidable la cual evita contaminación del producto y cuenta con el área necesaria para llevar a cabo el proceso.

Ilustración 27 Características de la mesa de trabajo en acero inoxidable.

Especificaciones técnicas

Medidas: 90 cms de ancho x 18 cms de alto.

Altura: 90 cms.

Tapa: En acero inoxidable referencia 304 anti-acido, calibre 18.

Entrepaño: En acero inoxidable 430 brillante.

Patas: En tubo redondo inoxidable de 2 pulgadas con niveladores o protectores plásticos.

Fuente. EXHIBIR EQUIPOS. En línea. Disponible en <https://exhibirequipos.com/> Consultado el 20 de mayo de 2019.

Espátulas planas

Las espátulas planas son la herramienta con la cual se realiza el raspado de las cascaras. En la ilustración # se muestran cuatro diferentes tamaños, por facilidad de agarre se utilizarán espátulas de referencia 1802 (REF 1802). Es posible usar

otro tipo de herramienta para realizar la operación, pero en este caso se prefieren instrumentos que no comprometan el bienestar de los operarios o sean peligrosos.

Ilustración 28 Descripción de las espátulas planas de tipo rectangular.

Descripción					
Espátulas planas tipo rectangular					
Ref.	a	b	c	d	
1802	200	75	40	25.4	
1803	300	170	40	25.4	
1804	325	200	40	25.4	
1805	400	275	40	25.4	
Conversiones					
a= Largo Total (mm)					
b= Largo Efectivo (mm)					
c= Ancho (mm)					
d= Diámetro Mango (mm)					

Fuente. SERVILAB. <https://servilab.com.co/>. Consultado el 20 de mayo 2019.

Balde en acero inoxidable

En el proceso se requiere de 3 baldes en acero inoxidable para diferentes procesos. En el tratamiento químico se depositará la solución de bisulfito de sodio con el endocarpio, en el filtrado se recogerá la solución separada por el filtro y en la gelatinización del almidón de yuca se depositará el agua y el almidón. Los baldes cumplen con las especificaciones requeridas por los equipos del proceso. La capacidad máxima de estos es de 10 litros, por lo que son suficientes para la máxima cantidad de solución que se tiene en el proceso que es de 4 litros.

Ilustración 29 Características del balde en acero inoxidable.

Descripción

Balde con tapa.

- Medidas generales d_{inf}= 20 cm x 30 cm de longitud x d_{ext}= 24 cm.
- Fabricado en lámina de acero inoxidable calibre 16.
- Capacidad 10 litros.
- Incluye tapa con manija y pico dosificador.
- Incluye agarre en varilla d 5/16.

Fuente. SERVILAB. <https://servilab.com.co/> consultado el 20 de mayo 2019.

Colador

Se requiere de un colador de 24 cm de diámetro para que encaje de forma correcta con el balde de acero inoxidable especificado anteriormente. El material de este permitirá que las soluciones con el tiempo no se contaminen y que tenga un tiempo mayor de vida útil. Las especificaciones se muestran en la ilustración #.

Ilustración 30 Descripción del colador de acero inoxidable.

Colador de acero inoxidable 18/10 de 24 cm. De 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. Apto para lavavajillas.

Fuente. MIMAR HOME. En línea <https://mimarhome.com/33-coladores>. Consultado el 20 de mayo 2019.

Láminas de vidrio

Las láminas de vidrio cumplen la función de moldeo dentro del proceso. Estas también satisfacen los requerimientos de forma y medidas del secador de las biopelículas. El secador cuenta con 5 sets, en los cuales se depositarán de manera equitativa los 3115 gramos de solución. La ilustración # muestra algunas especificaciones de las láminas.

Ilustración 31 Especificaciones de las láminas de vidrio.

<p>Especificaciones</p> <ul style="list-style-type: none">• Producto Laminado Rectangular.• Lados 60cm x 70 cm.• Grosor 4+4mm.• Tipo de Cristal Transparente.• Canto Pulido.• Punta Punta Normal.
--

Fuente. CRISTAL A MEDIDA. En línea <https://www.cristalamedida.com/>. Consultado el 20 de mayo 2019.

Agitador de varillas

Para que se dé la gelatinización del almidón de yuca es necesario agitar o mezclar constantemente. El agitador de varillas SE-100, cuenta con 42 cm de largo lo que le permite encajar con el baño termostático que tiene 30.5 cm de largo. Su función se da me forma eléctrica, por lo tanto, no se requiere de un operario para que funcione. Este trabaja en perfectas condiciones en soluciones cuya viscosidad es variable durante el proceso.

Ilustración 32 Características del agitador de varilla.

<p>Características</p> <p>Resultados de mezcla excelentes en un control exacto y reproducible. Agitación por regulación electrónica de la velocidad de 60 hasta 1500 rpm.</p> <p>Especialmente diseñados para aquellas muestras en las que su viscosidad varía durante el proceso.</p> <p>Volumen máx. de agitación: Hasta 40 L (en H₂O)</p> <p>Viscosidad máx. de agitación: Hasta 100.000 mPas.</p> <p>Preselección y lectura digital de la velocidad (rpm).</p> <p>Cabezal adaptable a varillas de agitación hasta 9.5 mm d.</p>
--

Fuente. GRUPO SELECTA. En línea <http://www.grupo-selecta.com/es/catalogo/subcategorias/18/APARATOS%20PARA%20REGULACION%20Y%20CONTROL>. Consultado el 21 de mayo 2019.

Ilustración 33 Complemento de las características del agitador de varillas.

COMPLEMENTO

Elevador automático para agitadores de varillas.

Especialmente diseñado para facilitar el uso del agitador de varillas, elevándose y descendiendo a la altura requerida por el usuario.

Código	Alto/Ancho/Fondo (exterior) cm	Elevación máx. cm
6000412	74 41 42	25.5

Fuente: GRUPO SELECTA. En línea <http://www.grupo-selecta.com/es/catalogo/subcategorias/18/APARATOS%20PARA%20REGULACION%20Y%20CONTROL>. Consultado el 21 de mayo 2019.

Baño termostático

El baño termostático Precistem capacidad de 45 litros, tiene medidas generales de 30.5x27.4x15.2 cm. Maneja un rango de temperaturas de 5 °C a 100 °C. El tanque cuenta con dimensiones de 12.7x27.4x15.2 cm, estas permiten que el balde de acero inoxidable se acople de manera correcta. Este cumple una función muy importante en dos procesos dar calor para permitir la gelatinización de la yuca y calentar la mezcla final para eliminar las burbujas.

Ilustración 34 Características del baño termostático.

CARACTERISTICAS

Capacidad desde 2 litros hasta 45 litros.

Doble cuerpo, cubeta inferior estampada en acero inox. AISI 304 y mueble exterior en acero inox. AISI 304.

Elementos calefactores en acero inox. De aleación especial INCOLOY y resistente a la corrosión y alta temperatura.

PANEL DE MANDOS

Interruptor general, con indicador luminoso.

Termostato hidráulico regulador de la temperatura, sincronizado con lámparas de señalización.

Lampeara de señalización del termostato de seguridad.

Fuente. GRUPO SELECTA. En línea <http://www.grupo-selecta.com/es/catalogo/subcategorias/10/TERMOSTATOS%20DE%20INMERSION%20Y%20DE%20BLOQUE%20METALICO>. Consultado el 21 de mayo 2019.

Licuada industrial

En el proceso se debe llevar a cabo una disminución de partículas de endocarpio y una mezcla de todas las materias primas, la licuada industrial de 5 litros en acero inoxidable satisface estas dos necesidades. Cuenta con una cuchilla de doble acción en acero reforzado y con un motor eléctrico para trabajo continuo.

Ilustración 35 Especificaciones técnicas de la licuada industrial.

Especificaciones técnicas

- Voltaje 110 voltios
- Capacidad de licuado: 5 litros

Fuente. EXHIBIR EQUIPOS. En línea https://-exhibirequipos.com/?s=LICUADORA+&post_type=product consultado el 21 de mayo 2021.

Secador

La secadora industrial cuenta con cinco compartimentos en los cuales se ubican las láminas de vidrio con la solución de las biopelículas. Su capacidad máxima es de 50 Kg, la cual es adecuada para la producción que se efectúa en este proceso que es de 3115 gramos. Las características se muestran en la ilustración #. Este equipo permite que la temperatura sea ajustable lo cual favorece el proceso. En el mercado se pueden encontrar secadoras con diferentes características y precios.

Ilustración 36 Características del secador

Nombre: secadora industrial de modelo: HG-420L Voltaje: 220V/380V de potencia: 380 V Peso: 180 Kg Temperatura: Largo ~ 100°C (ajustable) Medidas interiores: 700 x 600 x 1000 mm Tamaño: 1200 x 900 x 1600 mm
--

Fuente. ZHAOQING HIGH AND NEW TECHNOLOGY DEVELOPMENT DISTRICT SHENGHUI MACHINERY CO, LTD. En línea
<http://www.shh28.com/EnAboutus.asp?Title=Aboutus>
consultado el 23 de mayo 2019.

Con las especificaciones técnicas del proceso de producción de biopelículas y cada uno de los equipos con sus características, se hará una estimación de los posibles costos en el siguiente capítulo. Teniendo en cuenta que la escala de producción fue piloto y que la base en la capacidad de producción fue la que permitía el secado del producto final.

5. COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA BIOPELICULA A ESCALA PILOTO

La estimación del costo para la producción de 5 biopelículas de 70 x 60 cm y el procesamiento de 2337 gramos de cascara de banano se muestra a continuación. La inversión de equipos, materiales, mano de obra y servicios públicos involucrados en cada una de las operaciones del proceso harán parte del análisis financiero.

5.1 INVERSIÓN DE EQUIPOS

Tabla 30 Estimación de los costos de equipos y herramientas.

Cant	Equipos y herramientas	Precio x unidad	Precio Total
1	Baño termostático	\$ 2.300.000	\$ 2.300.000
1	Agitador	\$ 2.889.441	\$ 2.889.441
1	Secador	\$ 5.532.565	\$ 5.532.565
1	Licuada industrial	\$ 940.000	\$ 940.000
1	Mesa en acero inoxidable	\$ 900.00	\$ 900.00
2	Espátulas	\$78.130	\$156. 260
5	Láminas de vidrio	\$168.405	\$842.025
3	Baldes	\$390.000	\$1.117.000
1	Colador	\$114.085	\$114.085
Instalación de equipos			\$2.350.000
Total			\$17.141.376

Fuente: elaboración propia.

5.2 INVERSIÓN DE INSUMOS

El agua que se utiliza durante el proceso es proveniente del alcantarillado de Bogotá, esta tiene un costo muy bajo además de ser potable.

Tabla 31 Estimación de los costos de las materias primas.

Insumo	Unidad	Cantidad	Precio
Cascaras de banano	g	2337	\$0
fibra de fique	g	124.6	\$0
Bisulfito de sodio	g	9	\$50
Almidón de yuca	g	249.2	\$263
Agua	ml	3825	\$1
Glicerol	ml	44.4	\$450
Ácido Acético	ml	28	\$100
Total			\$864

Fuente: elaboración propia

5.3 MANO DE OBRA

Se requiere de dos operarios, no necesariamente con mano de obra especializada. Es necesario realizar una capacitación del manejo adecuado de cada uno de los equipos y de prevención contra accidentes.

Para el año de 2019 el salario mínimo legal vigente se estableció por un equivalente a \$925.148 pesos colombianos con auxilio de transporte el cual corresponde a \$97.032 (\$828.116 sin auxilio de transporte).

Tabla 32 Porcentaje de riesgo laborales.

Clase de riesgo	Tarifa	Valor cotización SMMLV
I	0.52%	\$4.306
II	1.044%	\$8.646
III	2.436%	\$20.173
IV	4.350%	\$36.023
V	6.960%	\$57.637

Fuente. MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. en línea <https://www.minsalud.gov.co/salud/PO/Paginas/talento-humano-salud.aspx> CONSULTADO 20 de mayo de 2019.

En la tabla 32 se muestran los porcentajes equivalentes al tipo de riesgo laboral y los valores correspondientes a cada uno de los riesgos dentro del valor estimado del SMMLV para el año 2019. Teniendo en cuenta la cotización para trabajadores dependientes, los empleados clasifican en el riesgo número III con un porcentaje del 2.436%. El proceso manufacturero no está limitado por manejo de sustancias químicas por lo tanto está catalogado como poco peligroso con riesgos medios.

Según la normatividad del Sistema de Seguridad Social, los contratos laborales para trabajadores dependientes deben estar estipulados con un pago del 16% en pensión (12% el empleador y 4% el trabajador). Lo que a salud confiere el porcentaje a pagar es el 12.5% (8.5% el empleador y 4% el trabajador).

Tabla 33 Estimación del costo por empleado al mes.

Salario	\$828.116		
	Aporte del empleador	Aporte del empleado	Total
Salud	\$70.390	\$33.125	\$103.515
Pensión	\$99.374	\$33.125	\$132.499
ARL	\$20.173		\$20.173
Costo mensual por operario			\$1.018.053
Costo mensual 2 operarios			\$2.036.106

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 33 se evidencia el costo estimado que se debe pagar por empleado teniendo en cuenta salud, pensión y ARL sin auxilio de transporte. El valor del salario por empleado con el auxilio de transporte sería de \$1.115.085 pesos colombianos. Los contratos de los operarios se establecerán con las prestaciones sociales de ley (cesantías, prima, vacaciones, caja de compensación). Por lo tanto, se sugiere que la empresa realice una provisión con la cual pueda hacer efectivo los pagos de dichas prestaciones en los tiempos pertinentes.

El salario mensual con todos los gastos que se requieren por empleado tiene un valor de \$ 1.300.142. Este valor se obtiene de la multiplicación entre el salario mínimo y el 1.57 el cual hace referencia a las prestaciones mencionadas. Dicha operación se muestra a continuación.

$$\text{Salario} = (\$828.116) * (1.57) = \$1.300.142$$

La siguiente ecuación muestra el desarrollo que se llevó a cabo para determinar el valor en pesos del porcentaje en salud y pensión teniendo como base el valor del salario mínimo para el año 2019.

$$\text{Salud} = (\$828.116) * \left(\frac{12.5}{100}\right) = \$103.515$$

5.4 SERVICIOS PUBLICOS

La estimación del costo de los servicios públicos se realizó por día de operación para las cantidades anteriormente expuestas. En la tabla 34 se estima el costo de 1738 ml de agua, destinados para realizar el tratamiento químico del endocarpio.

Tabla 34 Estimación costo consumo de agua.

	m3	costo m3	Total
Costo de agua	0.001738	\$2534	\$4.4

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestran las ecuaciones pertinentes para realizar la estimación del costo del agua. Las siguientes ecuaciones reflejan la conversión de metros cúbicos a mililitros y el equivalente de metros cúbicos en pesos.

$$\frac{1m^3}{x} \rightarrow \frac{1000000ml}{1738 ml} = \frac{1 m^3 * 1738 ml}{1000000 ml} = 0.001738m^3$$

$$0.001738m^3 * \$2534 = \$4.4$$

En el caso de los equipos, el que mayor consumo tiene es el secador como se muestra en la tabla 35, allí se especifican los costos y consumos.

Tabla 35 Estimación consumo de energía por equipo.

Equipo	Consumo (KW/h)	Tiempo (h)	Costo KW/h (\$)	Total consumo (\$)
Agitador	0.1	0.25	\$467.14	\$0.39
Baño termostático	0.6	0.33	\$467.14	\$3
Licuada	0.11	0.083	\$467.14	\$0.14
Secador	4	24	\$467.14	\$1495
Total				\$1498.53

Fuente: elaboración propia.

En las especificaciones técnicas del proceso se muestra el consumo de energía (KW/h) por equipo. La estimación del costo de dicho consumo por equipo se realizó bajo la siguiente ecuación:

$$C_x = E_x * Pre$$

Donde:

C_x= costo de x equipo

E_x= Energía gastada por equipo

Pre= Precio por KW/h

$$E_x = P_x * t$$

Donde:

E_x= energía consumida por el equipo x

P_x= potencia del equipo

t= tiempo de operación del equipo x

x= equipo

$$C_A = E_A * Pre_A$$

$$E_A = \left(0.1 \frac{KW}{h}\right) * \left(0.25 \frac{h}{dia}\right) = 0.025 \frac{KW}{dia}$$

$$Precio = \left(\$467.14 \frac{KWh}{mes}\right) * \left(\frac{1 mes}{30 dias}\right) = \$15.57 \frac{KWh}{dia}$$

$$C_A = \left(0.025 \frac{KW}{dia}\right) * \left(15.57 \frac{kwh}{dia}\right) = 0.389 \frac{KWh}{dia}$$

Las ecuaciones anteriores se observa el desarrollo del proceso para llegar al valor de la estimación del costo en este caso del agitador. Los costos de los demás equipos se hallan de la misma manera.

Teniendo en cuenta las anteriores tablas, el costo de producción diario para 5 biopelículas de 60 x 70 cm con mano de obra tendría un valor de \$32.932 pesos colombianos. No se tiene un valor de precio de venta de las biopelículas por lo cual no se realiza un análisis financiero. Los anteriores costos y operaciones tuvieron la finalidad de hacer una estimación de cuánto costaría producir al día biopelículas con los residuos que se generan de la deshidratación de banano.

6. CONCLUSIONES

- En el proceso de extracción de almidón de las cascaras de banano por el método seco, se obtuvo una cuantificación del 25 % de almidón, este resultado se debe al estado de maduración de las cascaras, es decir, a mayor estado de maduración menos contenido de almidón. Este resultado se ve reflejado en la elaboración de biopelículas ya que altero su formación.
- La fibra de fique como agente de refuerzo mejoro las propiedades mecánicas de tracción y flexión en la elaboración de la biopelícula, lo cual permitió el mayor resultado de resistencia a la tracción de 1.6 Mpa y una resistencia a la flexión de 3.1 Mpa
- La mejor formación de biopelícula se llevó a cabo con las concentraciones de 15% de endocarpio, 8% de almidón de yuca, 67% de agua, 4% de fibra de fique, 4% de glicerol y 2 % de ácido acético.
- Los costos de producción para la elaboración de la biopelícula se estimaron teniendo en cuenta el valor de los insumos, el consumo de energía por equipo y el servicio de alcantarillado de la ciudad de Bogotá para el año 2019. Dicho valor equivale a \$32.392 pesos colombianos por día sin el salario de los operarios.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer combinaciones con otro tipo de almidón para mejorar la estructura de las cadenas poliméricas.
- Realizar el tratamiento químico antipardecimiento a las cascara de banano antes de realizar la extracción del almidón con la totalidad de la cascara.
- Desarrollar una biopelícula en la cual se involucre la composición de 2 fibras naturales.
- Llevar a cabo el moldeo de las biopelículas por medio de los métodos como la inyección y la compresión.
- Realizar prueba de biodegradabilidad a las biopelículas.

BIBLIOGRAFIA

AGRI-NOVA Science. El cultivo del plátano (banano). [http://www.infoagro.com/documentos/el cultivo del platano banano .asp](http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano_banano_.asp). Accessed Mar 15, 2019.

AMIGO Vicente, Salvador M^a Dolores, Sahuquillo Oscar. Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos ; .

ARIAS Pedro, Dankers Cora, Liu Pascal, Pilkauskas Paul. La economía mundial del banano ; Roma: ; 2004. <http://www.fao.org/3/y5102s/y5102s04.htm>.

ARISTIZABAL J, Sanchez T. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca ; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2007;163:61.

BEJARANO ARANA N. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada. Universidad de san buenaventura cali; 2014.

BELTRAN M, Marcilla A. Estructura y propiedades de los polimeros ; In: Tecnología de polímeros. :38-39.

Barragán Huerta Blanca E, Téllez Díaz Yolotli Azucena, Laguna Trinidad Adriana. utilización de residuos agroindustriales ; Revista Sistemas Ambientales. 2008;2(1).

BODROS E, Pillin I, Montrelay N, Baley C. Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibre be used in structural applications? Composites science and technology. 2007;67:462-470.

CHARRO ESPINOSA MM. Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata ; universidad central del ecuador; 2015.

Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (cocos nucifera L.) ; rincón et al. ;1(2):279-28

Carbohidratos ;In: Bioquímica6. :228. <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/Bioquimica/10-O.pdf>

CASALLAS Malaver Luisa Fernanda. Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (musa sapientum l) transformado por acción de la levadura candida guilliermondii. pontificia universidad javeriana.

CASTRO Zavaleta V. Composición bioquímica de productos agroindustriales. Universidad Nacional del Santa Perú; 2014

CIRO Velásquez Héctor José, Montoya López Mary Luz, Millán Cardona Leonidas de Jesús. caracterización de propiedades mecánicas del banano (cavendish valery). Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín.

GOENAGA Raúl BC. Aumento del rendimiento en la extracción del almidon a partir del grano de maiz y la influencia del carbonato de acido sodico en las propiedades fisico-quimicas del slurry. Universidad nacional abierta y a distancia – unad.

DAWSON Carolina. Banano. . 2011:1-3.

DEAQUIZ-OYOLA YA, MORENO MEDINA BL. Producción y biosíntesis de fibras vegetales una revisión Conexión Agropecuaria. 2016;6(1):38. <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/view/53/51>.

DE CAMPOS A, Teodoro KBR, Marconcini JM, Mattoso LHC. Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal. Polimeros. ;20(10).

DHAKAL H.N. *, Z.Y. Zhang, M.O.W. Richardson. Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites. Composites science and technology. 2007;67:1674-1683.

FAO. Carbohidratos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Web site. <http://www.fao.org/nutrition/requisitos-nutricionales/carbohydrates/es/>. Accessed Mar 2, 2019.

Ficha del cultivo del banano. INTA

GIRALDO Lopez J, Cuarán Cuarán JC, Arenas Garcia LV, Florez Pardo LM. Usos potenciales de la cáscara de banano: Elaboración de un bioplástico. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. 2014;1:7-21.

GOMEZ Berrio Ana Maria. Transformación del banano en urabá : Experiencias pasadas, iniciativas presentes y nuevas oportunidades de industrialización. UNIVERSIDAD EAFIT; 2011.

GRANDE Tovar CD. Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales. Cali: Bonaventuriana; 2016:42. <http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>.

GUADRÓN DE DELGADO, Erika N. Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidon a partir de guineo majoncho verde (musa sp. variedad cuadrado), para su uso en la industria de alimentos. Universidad de el salvador; 2013.

GUERRERO VH, Pontón P, Tamayo A, Villacís H, Delgado F, Galeas S. Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas ESPE. 2013.

HERNÁNDEZ, Israel*†, MARTÍNEZ, Mauricio, CONTRERAS, Raúl y PÉREZ, Rosario. Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. Revista de Simulación y Laboratorio. ;4(13):1

HERNANDEZ N, Escobar M. Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado.; 2009.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

LAWTON J.W., Shogren R.L., Tiefenbacher K.F.. Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams. INDUSTRIAL CROPS AND PRODUCTS. 2004;19:41 48. <https://pubag.nal.usda.gov/download/25907/PDF>.

LIU Z. Edible films and coatings from starches In: Han JH, ed. Innovations in food packaging. Elsevier Ltd; 2005:321-322.

MADS. Llegó la hora del fique. Ministerio de Ambiente Web site. <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3063-llego-la-hora-del-figue>. Updated 2017.

MAZUKI, S. H.M. Akil , M.F. Omar, A.A.M.. Safiee, Z.A.M. Ishak, A. Abu Bakar. Kenaf fiber reinforced composites: A review. Materials and Design. 2011;32:4107-4121. Part A: applied science and manufacturing. 2000;31:143-150.

MEJIA Mesa Gonzalo Alberto, Gómez López John Santiago. los desechos generados por la industria bananera colombiana .

MENESES J, Corrales C, Valencia M. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del amidón de yuca EIA. 2007(8):57-67.

Ministerio de Agricultura. MinAgricultura lanza estrategia 'Colombia vende' para apoyar la comercialización de las cosechas de los campesinos. . Updated 2017. 2005;58(2):2976. <file:///C:/Users/kadar/Downloads/24254-84956-2-PB.pdf>.

M TS John. Biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers. 2008;71(3):343-364.

MOHANTY A.K., Khan M.A., Hinrichsen G. Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics—polyester amide composites. Composites

MUÑOZ Velez MF, Hidalgo Salaza MA, Mina Hernandez JH. Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. Influencia de la modificación

NAVIA Porras DP. Desarrollo de un material para empaques de alimentos a partir de harina de yuca y fibra de fique Universidad del Valle; 2011.

PEREZ Serge. Polysaccharides structure and models. . 2006:100-110.

PROTZMAN TF, Decatur JA, Wagoner MZ, Young AH, inventorsPROCESS OF CASTING AMYLOSE FILMS. patent US3,344,26. Sep 26, 1967.

PUGLIA D, Tomassucci A, Kenny J. Processing, properties and stability of biodegradable composites based on mater-Bi1 and cellulose fibres. Polymers for advanced technologies. 2013;14:749 756.

RINCON Reyna J.F. , Rincón Reyna P. G. , Torres Maravilla E., Mondragón Rojas A. G., Sánchez Pardo M. E., Arana Cuenca A. , Ortiz Moreno A. Jiménez García E.

SANDOVAL, M. , Zapata, M. , Celis, J. , Quezada, C. , Capulín, J. c , Solís, A. Efecto de la aplicación de fibra de coco (cocos nucifera L.) en el almacenamiento y eficiencia del uso del agua en un alfisol, sembrado con ballica (lolium multiflorum L.) y en la toxicidad en lechuga (lactuca sativa L.). Sandoval et al. / Agro Sur. 2013;41(3):1-13. <http://mingaonline.uach.cl/pdf/agrosur/v41n3/art01.pdf>.

SHARIFAH H. Aziz, Martin P. Ansel. The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fibre composites: Part 1 – polyester resin matrix. COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY. ;64:1219-1230.

superficial. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2014;12(2):60 70.

TAPIA Clotario, Paredes Cecilia, Simbaña Andrés, Bermúdez Javier. Aplicación de las fibras naturales en el desarrollo de materiales compuestos y como biomasa. Tecnológica ESPOL. ;19(1):113-120.

THI-THU Loan Doan, Shang-Lin Gao, Edith Ma"der. Jute/polypropylene composites I. effect of matrix modification. COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2006;66:952-963.


TRUJILLO RIVERA CT. "Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculenta crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos" Universidad nacional amazónica madre de dios; 2014.


VÁSQUEZ TAUTIVA LA. Evaluación de la obtención de melaza por medio de hidrolisis ácida de cáscaras de plátano dominico–hartón (musa aab simmonds) a nivel laboratorio. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA; 2017.

YEPES Sandra Milena, Montoya Naranjo Lina Johana, Orozco Sanchez Fernando.
Valorización de residuos agroindustriales – frutas – en Medellín y el sur del valle del
aburrá, colombia . 2008:4422-4431.

ANEXOS

ANEXO A.
PRUEBA CUANTITATIVA DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE LA
CASCARA DE BANANO.

F-EC-001 REVISION 03 FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017	INFORME DE ANALISIS	
INFORME DE ANALISIS No. F-19-18737-0		
INFORMACION DEL CLIENTE CLIENTE: KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ NIT/CC: 1054681858-0 DIRECCION: CALLE 7 N 87B - 90 TELEFONO: 3123540716 MAIL: karen_rubiano@estudiantes.uamercos.edu.co CIUDAD: BOGOTÁ D.C. CONTACTO: KAREN RUBIANO CARGO: ESTUDIANTE		INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO LUGAR DE TOMA DE ITEM: UNIVERSIDAD INCA RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-03-21 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-29 HORA: 09:20:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-29 FECHA DE INFORME: 2019-04-01 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO		
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION	FABRICANTE Y/O PROVEEDOR
19-18737	ALMIDON DE CASCARA DE BANANO	N.E.
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD
BOLSA ZIPLOC X 100g	1	N.E.
FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO
N.E.	N.E.	N.E.
T. RECEPCION	20.0°C	
OBSERVACIONES		
TABLA DE RESULTADOS		
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS
Almidón Cuantitativo	Espectrofotometría	24,94
UNIDADES	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO
g/100g	*	NO APLICA
Analizado por: C 27		
INTERPRETACION DE RESULTADO "PARA LOS PARAMETROS SOLICITADOS NO EXISTE NORMA DE COMPARACION"		
Observaciones -Los resultados son validos unicamente para el item analizado. -Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S -* Parametro no requerido en especificacion -** Parametro no solicitado por el cliente		
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.		
REVISO: DIRECTOR TECNICO	APROBO: GERENTE	

F-EC-001 REVISION 03	INFORME DE ANALISIS					
FECHA DE ACTUALIZACION 02-NOV-2017						
INFORME DE ANALISIS No. F-19-18737-0						
INFORMACION DEL CLIENTE		INFORMACION DE TOMA DE ITEM DE ENSAYO				
CLIENTE: KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ NIT/CC: 1054681858-0 DIRECCION: CALLE 7 N 87B - 90 TELEFONO: 3123560716 MAIL: karen.rubiano@estudiantes.uamerica.edu.co CIUDAD: BOGOTA D.C. CONTACTO: KAREN RUBIANO CARGO: ESTUDIANTE		LUGAR DE TOMA DE ITEM: UNIVERSIDAD INCA RESPONSABLE DE TOMA DE ITEM: KAREN DAYANA RUBIANO HERNANDEZ FECHA DE TOMA DE ITEM: 2019-09-21 HORA: N.E. FECHA DE RECEPCION: 2019-03-29 HORA: 09:20:00 FECHA DE ANALISIS: 2019-03-29 FECHA DE INFORME: 2019-04-01 METODO DE TOMA DE ITEM: ALEATORIO SIMPLE				
IDENTIFICACION DEL ITEM DE ENSAYO						
ITEM DE ENSAYO NO.	IDENTIFICACION		FABRICANTE Y/O PROVEEDOR			
19-18737	ALMIDON DE CASCARA DE BANANO		N.E.			
PRESENTACION DURANTE LA RECEPCION	CANT. ENTREG. (UN)	FECHA DE PROD	FECHA VENC	LOTE	T. MUESTREO	T. RECEPCION
BOLSA ZIPLOC X 100g	1	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	20.0°C
OBSERVACIONES						
TABLA DE RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO UTILIZADO	RESULTADOS	UNIDADES	ESPECIFICACION	CUMPLIMIENTO	
Almidón Cuantitativo	Espectrofotometría	24,94	g/100g	-	NO APLICA	
Analizado por: C 27						
INTERPRETACION DE RESULTADO						
"PARA LOS PARAMETROS SOLICITADOS NO EXISTE NORMA DE COMPARACION"						
Observaciones						
-Los resultados son validos unicamente para el item analizado.						
-Este certificado de analisis solo puede ser reproducido integramente y con autorizacion escrita de BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S						
-* Parametro no requerido en especificacion						
-** Parametro no solicitado por el cliente						
BIOTRENDS LABORATORIOS S.A.S.						
REVISO: DIRECTOR TECNICO			APROBO: GERENTE			