



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TEMA:

ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA
Y ALMIDÓN- CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa*
Paradisiaca).

AUTORA

FÁTIMA ROCÍO GÓMEZ SIERRA

TUTORA

ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ MSc.

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2021



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

TEMA:
ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA
Y ALMIDÓN- CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa*
Paradisiaca).

AUTORA
FÁTIMA ROCÍO GÓMEZ SIERRA

DIRECTORA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:
ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ. MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR
CICLO I 2021 - 2022

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN
REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN		
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN- CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (<i>Musa Paradisiaca</i>).	
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):	GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):	ING. DESIREE ÁLVAREZ MACÍAS. MSC. ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ MSC.	
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
UNIDAD/FACULTAD:	INGENIERIA QUIMICA	
MAESTRIA/ESPECIALIDAD:	-	
GRADO OBTENIDO:	TITULO DE INGENIERO QUIMICO	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	No. DE PÁGINAS:	123
ÁREAS TEMÁTICAS:	TECNOLOGIA, PROCESOS Y DESARROLLO INDUSTRIAL	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Películas biodegradables, almidón-celulosa, PCL, caracterización. Biodegradable films, starch-cellulose, PCL, characterization.	
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El presente trabajo elaboró películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (<i>Musa Paradisiaca</i>) como posible alternativa para la sustitución de fundas plásticas El proceso para la extracción del almidón-celulosa se realizó mediante el método húmedo e hidrólisis básica planteando 12 diferentes formulaciones en las que se modificó la cantidad de glicerina y policaprolactona. La caracterización física, mecánica, óptica, funcional y biodegradable se desarrolló teniendo como referencia las normas: ASTM E96-80, D-882-18, D5488-944, INEN 2636:2012 y artículos científicos. Los resultados mostraron que en la cáscara de plátano verde existe un porcentaje de rendimiento, humedad y celulosa de 41,65; 95,18 y 31,46% respectivamente. La película biodegradable presentó una diferencia significativa en su solubilidad pero no en la opacidad y absorción de agua; la tensión y permeabilidad dependen del tipo formulación, además, se cumplió con en el espesor establecido y se proyecta una degradación en un máximo de 30 días. Se concluyó que las películas con mayor cantidad de policaprolactona presentan una mejora en las propiedades mecánicas, funcionales, físicas y biodegradables presentando una degradabilidad superior en comparación a los plásticos convencionales.		
ADJUNTO PDF:	SI (X)	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 978823496	E-mail: fatima.gomezs@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
	Teléfono: 04 – 229 - 2949	
	E-mail: http://www.fiq.ug.edu.ec	



ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

Guayaquil, 20 de Septiembre del 2021

Ing. Sandra Peña, MSc
DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. El informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación
“ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN-CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa Paradisiaca*).”

De la estudiante: **GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 16 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.

La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que la estudiante está apta para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
DESIREE
ALEJANDRA
ALVAREZ MACIAS

Desiree Álvarez Macías

C.I. 0921996203

FECHA: 20/09/2021

ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado Ing. Augusta Jiménez Sánchez, MSc., tutora del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO**, C.C.: 0926423096, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO QUÍMICO**.

Se informa que el trabajo de titulación: **“ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN-CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa Paradisiaca*).”**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio (URKUND) quedando el 0% de coincidencia.



Urkund Analysis Result

Analysed Document:	PROYECTO DE TITULACION FGS PARA URKUND 1.docx (D112410912)
Submitted:	9/12/2021 3:50:00 AM
Submitted By:	dolores.jimenezs@ug.edu.ec
Significance:	0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MSC.



Firmado electrónicamente por:
**DOLORES AUGUSTA
JIMENEZ SANCHEZ**

**TUTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
SEPTIEMBRE 13 DEL 2021**

ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE - TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

MSc. Sandra Peña

Director (a) de la Carrera de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería Química

Universidad de Guayaquil

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación denominado: **“ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN-CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa Paradisiaca*).”** de la estudiante, **GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO**, indicando que cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el (los) estudiante (s) está(n) apto(s) para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

ING. AUGUSTA JIMÉNEZ SÁNCHEZ, MSC.



Firmado electrónicamente por:
**DOLORES AUGUSTA
JIMENEZ SANCHEZ**

TUTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FECHA: 13/09/2021



**ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA
GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL
DE LA OBRA CON FINES NO ACADÉMICOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE TITULACIÓN

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON
FINES NO ACADÉMICOS**

Yo, **GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO**, con C.I. No. **0926423096**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN- CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa Paradisiaca*)** son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

GÓMEZ SIERRA FÁTIMA ROCÍO

C.I. No. 0926423096

***CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN
(Registro Oficial n. 899-**

Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

DEDICATORIA

A mi mamá por estar conmigo, amarme, apoyarme y creer en mí.

A mi papá por confiar en mí, quererme tanto y ser un ejemplo.

A Rosy Sierra por su cariño, aprecio y amor.

A C.M.F por haber llegado a mi vida, enseñarme sobre el amor, la responsabilidad y el cuidado.

Fátima Rocío Gómez Sierra

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme cumplir una de mis metas.

A mis padres Verónica Sierra y José Gómez, por enseñarme sobre la constancia, el trabajo y la disciplina.

A mis tías Rosy, Karina y Teresa y mis primas Nohe y Nat por estar conmigo y ayudarme durante todo este proceso.

A mi tutora Ing. Augusta Jiménez por sus consejos, apoyo y enseñanzas durante toda mi carrera.

Al Lic. Daniel Calle, por su ayuda en mi formación académica.

Al Ing. David Hugo por su motivación en el estudio y desarrollo personal.

Al Ing. Brenyx Giraldo por sus enseñanzas sobre la constancia y paciencia durante el trayecto.

A mis amigos y amigas de antes y ahora, por estar conmigo durante gran parte de mi vida y creer que podía lograrlo.

Fátima Rocío Gómez Sierra

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIX
ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	XX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT.....	XXII
INTRODUCCIÓN	XXIII
CAPITULO I	1
1.1. Tema	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Formulación y sistematización	2
1.3.1. Formulación del problema.....	2
1.3.2. Sistematización del problema.....	2
1.4. Delimitación del estudio	3
1.4.1. Delimitación temporal.....	3
1.4.2. Delimitación espacial	3

1.4.3.	Delimitación del contenido.....	4
1.5.	Justificación de la investigación	5
1.5.1.	Justificación teórica.....	5
1.5.2.	Justificación metodológica.....	5
1.5.3.	Justificación práctica	6
1.6.	Objetivos de la investigación.....	7
1.6.1.	Objetivo general	7
1.6.2.	Objetivos específicos.....	7
1.7.	Hipótesis general o premisa.....	7
1.8.	Variables de la investigación	7
1.8.1.	Variable independiente.....	7
1.8.2.	Variables dependientes.....	7
1.9.	Operacionalización de las variables.....	9
CAPÍTULO II		11
2.1.	MARCO REFERENCIAL.....	11
2.1.1.	Antecedentes	11
2.2.	MARCO TEÓRICO	13
2.2.1.	Historia de los polímeros	13
2.2.1.1.	Clasificación de los polímeros.....	13
2.2.2.	Plásticos y bioplásticos.....	15

2.2.2.1.	Los plásticos	15
2.2.2.2.	Tipos de plásticos	16
2.2.2.3.	Bioplásticos sus tipos.....	17
2.2.3.	Películas Biodegradables.....	17
2.2.3.1.	Propiedades de las películas biodegradables	18
2.2.3.2.	Métodos de obtención de las películas biodegradables	19
2.2.3.3.	Aplicaciones de las películas biodegradables.....	20
2.2.3.4.	Composición de la película biodegradable de la cáscara de plátano	20
2.2.3.4.1.	Almidón	20
2.2.3.4.1.1.	Amilopectina.....	21
2.2.3.4.1.2.	Amilosa	22
2.2.3.4.2.	Celulosa	23
2.2.3.4.3.	Glicerina	23
2.2.4.	Plátano verde	24
2.2.4.1.	Origen y descripción del plátano	25
2.2.4.2.	Taxonomía del plátano verde	25
2.2.4.3.	Composición del plátano verde	26
2.2.5.	Cáscara de plátano.....	27
2.2.5.1.	Almidón-celulosa en la cáscara de plátano.....	27
2.2.6.	Policaprolactona	28

2.2.6.1.	Propiedades del PCL.....	29
2.2.6.2.	Aplicaciones del PCL	30
2.2.7.	MARCO CONCEPTUAL	31
2.2.8.	MARCO CONTEXTUAL	34
2.2.8.1.	Actualidad de la industria del plástico biodegradable	34
2.2.8.2.	Industria de plásticos en Ecuador	35
2.2.9.	Aplicaciones de la cáscara de plátano	36
2.2.10.	MARCO LEGAL	37
CAPITULO III.....		40
3.	METODOLOGÍA.....	40
3.1.	Enfoque	40
3.2.	Modalidad básica de investigación	40
3.2.1.	Tipo de investigación	41
3.3.	Método para de obtención del almidón-celulosa	42
3.4.	Procedimiento experimental	43
3.4.1.	Materiales, equipos y reactivos	43
3.4.2.	Procedimiento para la extracción del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.....	43
3.5.	Diseño experimental de la película biodegradable	47
3.5.1.	Determinación de las formulaciones para la película biodegradable	47
3.5.2.	Sustancias, materiales y equipos a utilizar	48

3.5.3. Procedimiento para la elaboración de la película biodegradable (Método de casting)...	48
3.6. Análisis del almidón-celulosa de la cáscara de plátano	50
3.7. Análisis del producto terminado	50
3.7.1. Pruebas físicas	50
3.7.2. Pruebas mecánicas.....	51
3.7.3. Pruebas ópticas	53
3.7.4. Pruebas funcionales.....	54
3.7.5. Prueba de biodegradación mediante pérdida de peso.....	55
CAPITULO IV	57
4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
4.1. Identificación del almidón-celulosa en la cáscara de plátano verde	57
4.2. Rendimiento y caracterización del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.....	57
4.3. Análisis de las dosificaciones en la película biodegradable.....	58
4.4. Análisis y discusión de resultados de las pruebas físicas de las películas biodegradables.....	59
4.5. Análisis de resultados de las pruebas mecánicas de las películas biodegradables.....	62
4.6. Análisis de resultados de las pruebas funcionales de las películas biodegradables	64
4.7. Análisis de resultados de las pruebas ópticas de las película biodegradable	66
4.8. Análisis de resultados de las pruebas biodegradables de las películas biodegradables	67
CAPÍTULO V	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables independientes	9
Tabla 2: Operacionalización de variables dependientes	10
Tabla 3: Taxonomía del plátano verde.....	25
Tabla 4: Composición del plátano verde	26
Tabla 5: Composición de la cáscara de plátano verde	28
Tabla 6: Ganancias generadas por la Industria Plástica en el Ecuador en 2017	35
Tabla 7: Normas aplicadas a la biodegradación de polímeros.....	38
Tabla 8: Formulaciones de las películas biodegradables con almidón-celulosa y PCL	47
Tabla 9: Observaciones en cada formulación de la película biodegradable	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de residuos orgánicos	3
Figura 2: Lugar de elaboración del PCL	4
Figura 3: Estructura del almidón	20
Figura 4: Estructura química de una molécula de amilopectina	21
Figura 5: Estructura química de una molécula de amilosa.....	22
Figura 6: Composición química de la celulosa.....	23
Figura 7: Estructura química de la glicerina	24
Figura 8: Plátano verde.....	24
Figura 9: Policaprolactona.....	28
Figura 10: Almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.....	57
Figura 11: Espesor promedio con respecto al número de formulaciones.....	60
Figura 12: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la solubilidad.....	60
Figura 13: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la opacidad.	61
Figura 14: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para PVA	62
Figura 15: Prueba de tensión de la película biodegradable	63
Figura 16: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la prueba de la gota de agua	64
Figura 17: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para Absorción en agua	65
Figura 18: Análisis FTIR de la película biodegradable.....	67
Figura 19: Análisis de degradación de la película biodegradable	67
Figura 20: Pesado del plátano verde.....	93
Figura 21: Lavado del plátano verde	93
Figura 22: Molido de la cáscara de plátano verde.....	93

Figura 23: Extracción de la lignina de la cáscara de plátano verde	93
Figura 24: Primer blanqueamiento del almidón-celulosa.....	93
Figura 25: Almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.....	93
Figura 26: Mezcla del almidón-celulosa, glicerina y agua.....	94
Figura 27: Eliminación de grumos en la mezcla	94
Figura 28: Disolución del PCL	94
Figura 29: Aplicación del PCL en las películas	94
Figura 30: Medición del espesor	95
Figura 31: Prueba de permeabilidad.....	95
Figura 32: Análisis FTIR.....	95
Figura 33: Prueba de biodegradabilidad.....	95
Figura 34: Prueba de solubilidad.....	95
Figura 35: Prueba de opacidad.	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Porcentaje de humedad	44
Ecuación 2: Cálculo del porcentaje de celulosa.....	44
Ecuación 3: Porcentaje de rendimiento.	46
Ecuación 4: Porcentaje de solubilidad	51
Ecuación 5: Permeabilidad al vapor de agua	52
Ecuación 6: Variación de la PVA	52
Ecuación 7: Fórmula para el cálculo de la opacidad.....	54
Ecuación 8: Porcentaje de absorción de agua	54
Ecuación 9: Porcentaje de degradación	55

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 5: Certificado del docente - tutor del trabajo de titulación	III
ANEXO 7: Certificado porcentaje de similitud.....	IV
ANEXOS 1: Acondicionamiento y extracción del almidón-celulosa de plátano verde.....	93
ANEXOS 2: Elaboración de la película biodegradable	94
ANEXOS 3: Pruebas físicas, mecánicas, ópticas, funcionales y biodegradables.....	95
ANEXOS 4: Resultados de la prueba fuerza de tracción.....	96
ANEXOS 5: Hoja de seguridad del PCL	98
ANEXOS 6: Hoja de seguridad del cloroformo.....	99

ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Alfa	α
Centímetros	cm
Formulación 1	F1
Formulación 2	F2
Formulación 3	F3
Formulación 4	F4
Formulación 5	F5
Formulación 6	F6
Formulación 7	F7
Formulación 8	F8
Formulación 9	F9
Formulación 10	F10
Formulación 11	F11
Formulación 12	F12
Grados Celsius	°C
Gramos	g
Lambda	γ
Mega Pascales	MPa
Mililitros	mL
Milímetros	mm
Porcentaje	%
Permeabilidad al vapor de agua	PVA
Presión	P
Segundos	s
Temperatura	T

ELABORACIÓN DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES CON POLICAPROLACTONA Y ALMIDÓN- CELULOSA DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE (*Musa Paradisiaca*).

Autora: Fátima Rocío Gómez Sierra

Tutora: Ing. Augusta Jiménez Sánchez. MSc.

RESUMEN

El presente trabajo elaboró películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) como posible alternativa para la sustitución de fundas plásticas. El proceso para la extracción del almidón-celulosa se realizó mediante el método húmedo e hidrólisis básica planteando 12 diferentes formulaciones en las que se modificó la cantidad de glicerina y policaprolactona. La caracterización física, mecánica, óptica, funcional y biodegradable se desarrolló teniendo como referencia las normas: ASTM E96-80, D-882-18, D5488-944, INEN 2636:2012 y artículos científicos. Los resultados mostraron que en la cáscara de plátano verde existe un porcentaje de rendimiento, humedad y celulosa de 41,65; 95,18 y 31,46% respectivamente. La película biodegradable presentó una diferencia significativa en su solubilidad pero no en la opacidad y absorción de agua; la tensión y permeabilidad dependen del tipo formulación, además, se cumplió con el espesor establecido y se proyecta una degradación en un máximo de 30 días. Se concluyó que las películas con mayor cantidad de policaprolactona presentan una mejora en las propiedades mecánicas, funcionales, físicas y biodegradables presentando una degradabilidad superior en comparación a los plásticos convencionales.

Palabras clave: películas biodegradables, almidón-celulosa, PCL, caracterización.

ELABORATION OF BIODEGRADABLE FILMS WITH POLYCAPROLACTONE AND STARCH-CELLULOSE OF THE GREEN BANANA PEEL (*Musa Paradisiaca*).

Author: Fátima Rocío Gómez Sierra

Tutora: Ing. Augusta Jiménez Sánchez. MSc.

ABSTRACT

The present paper produced biodegradable films with polyaprolactone and starch-cellulose from the green banana peel (*Musa Paradisiaca*) as a possible alternative for the replacement of plastic covers. The process for the extraction of starch-cellulose was carried out using the wet method and basic hydrolysis, suggesting 12 different formulations in which the amount of glycerin and polyaprolactone was modified. The physical, mechanical, optical, functional and biodegradable characterization was developed with reference to standards: ASTM E96-80, D-882-18, D5488-944, INEN 2636:2012 and scientific articles. The results showed that in green banana peel there is a yield, moisture and cellulose percentage of 41.65, 95.18 and 31.46% respectively. The biodegradable film had a significant difference in its solubility but not in the opacity and absorption of water; the tension and permeability depend on the formulation type, in addition, it was met at the established thickness and a degradation is projected in a maximum of 30 days. It was concluded that films with a higher amount of polyaprolactone have an improvement in mechanical, functional, physical and biodegradable properties, with a higher degradability compared to conventional plastics.

Keywords: biodegradable films, starch-cellulose, PCL, characterization.

INTRODUCCIÓN

Ecuador es considerado uno de los mayores países exportadores de plátano verde a nivel mundial liderando con un 29 %, lo que resulta motivo de investigación en cuanto residuo generado, ya que por rechazo, fluctúa entre el 8 % a 20 % generando una relación 2:1 entre residuo y producto. La gran mayoría de estos residuos lignocelulósicos originados por este fruto son, en ciertos casos, destinados como alimento para animales; en otras ocasiones son arrojados a vertederos a cielo abierto en cantidades moderadas, pero, cuando son grandes proporciones generan gases que contribuyen al tal nombrado efecto invernadero (Guerrero, Aguado, Sánchez, & Curt, 2016).

La policaprolactona o PCL, es un polímero que se adquiere de fuentes petroquímicas con propiedades atractivas como su biodegradabilidad, resulta ventajoso al combinarlo con fibras naturales (Amaya J. B., 2019). Entre las tantas aplicaciones del PCL es conocido por formar parte en la composición de bolsas plásticas degradables y en el campo biomédico por intervenir como matriz en liberación de medicinas. El origen de su degradabilidad está dado por el grupo éster, que al ser apto para hidrolizarse y transformarse en oligómeros de bajo peso, promueve su fácil biodegradación (Báez, 2006).

Cabe destacar que entre las propiedades del PCL se encuentra su temperatura de transición vítrea ($\approx -60\text{ }^{\circ}\text{C}$), su cristalinidad ($\approx 50^{\circ}\text{C}$), fácil miscibilidad y su punto bajo de fusión ($\approx 60^{\circ}\text{C}$) que al combinarse con otros polímeros degradables tiene como finalidad mejorar sus propiedades Amaya, (2019).

Actualmente es innovador el uso de biopolímeros con Policaprolactona que por ser considerado un polímero alifático, sintético pero biodegradable (De Campos, Teodoro, Marconcini, Mattoso, & Martins, 2011), se combina con formulaciones de almidón-celulosa, aportando con características físicas, mecánicas, funcionales, biodegradables y adicionando sustancias con cualidades antimicrobianas y antioxidativas, dan lugar a la elaboración de recubrimientos comestibles o películas biodegradables que por su bajo costo proyecta suplir a los polímeros sintéticos para una mejora continua en la industria alimenticia (Chapuel & Reyes, 2019).

Esta investigación busca proponer el uso de biopolímeros para minimizar la problemática generada por los plásticos y su impacto en el medio ambiente. Una de las formas de contribuir es aportando a la línea de investigación de la Universidad de Guayaquil, en el proyecto “Desarrollo de Polímeros con propiedades antimicrobianas FCICE-017”.

Tomando en cuenta lo expuesto, el objetivo es elaborar películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde. Se realizaron varias dosificaciones de PCL y glicerina para evaluar cómo influyen estos cambios en el biopolímero. Adicional se realizaron pruebas físicas, mecánicas, ópticas, funcionales y biodegradables a escala de laboratorio y mediante un programa estadístico se analizaron los resultados para determinar la mejor formulación y biodegradabilidad de las películas.

CAPITULO I

1.1. Tema

Elaboración de películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*).

1.2. Planteamiento del problema

Los plásticos, en los últimos años se han vuelto una problemática muy conocida, siendo derivados del petróleo estos polímeros sintéticos causantes del deterioro ambiental debido a su fácil adquisición, bajo costo, versatilidad, lenta degradación y el mal manejo de los mismos, se convierten en un principal contaminante posterior a su uso. No obstante se busca concientizar sobre los riesgos que estos desechos generan al medio ambiente (Bustamante & Peralta, 2018).

En Ecuador, un estudio realizado por el Ministerio de Agua y Medio Ambiente en los últimos años señala que, mediante el Programa Nacional De Gestión Integral De Desechos Sólidos el uso de estos plásticos, principalmente fundas plásticas, es alrededor de 1 500 millones por año, por lo que se asume que se utilizan 130 bolsas por persona debido a su fácil y gratuita adquisición en los negocios. Adicional, datos presentados por la Superintendencia de Compañías Valores y Seguros a través del CIIU – C Industrias Fabriles existen 200 compañías consagradas a la fabricación de toda clase de productos plásticos, tales como envases para botellas, bolsas, tapas, entre otros (Sacón, 2020).

Para esta problemática existen alternativas como los biopolímeros a base de residuos agrícolas que por ser de bajo costo y encontrarse en abundancia como la paja de arroz, rastrojo de maíz, cáscaras de plátano, que siendo biodegradables y de baja toxicidad se pueden incorporar

con facilidad al PCL. Actualmente el PCL se usa en la industria farmacéutica para la elaboración de implantes sintéticos por poseer grandes respuestas en mezclas almidonadas debido a su naturaleza hidrofóbica y semicristalina Bustamante y Peralta, (2018).

La presente propuesta de investigación busca plantear métodos accesibles y amigables con el medio ambiente empleando los desperdicios de las cáscaras de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) y PCL para la elaboración de películas biodegradables y así minimizar la problemática de la contaminación por residuos plásticos y agrícolas.

1.3. Formulación y sistematización

1.3.1. Formulación del problema

¿Es factible obtener películas biodegradables mezclando el almidón-celulosa de cáscara de plátano verde y PCL (policaprolactona)?

1.3.2. Sistematización del problema

¿Es posible conseguir un material que surja de la mezcla del almidón-celulosa del plátano verde y PCL cumpla con las cualidades de una película biodegradable?

¿Cuál será la mejor formulación para que la película a base de almidón-celulosa de cáscara de plátano verde y PCL (policaprolactona) sea considerada como biodegradable?

¿Se pueden alcanzar resultados físicos, mecánicos, ópticos, funcionales y biodegradables prometedores al mezclar estos polímeros?

1.4. Delimitación del estudio

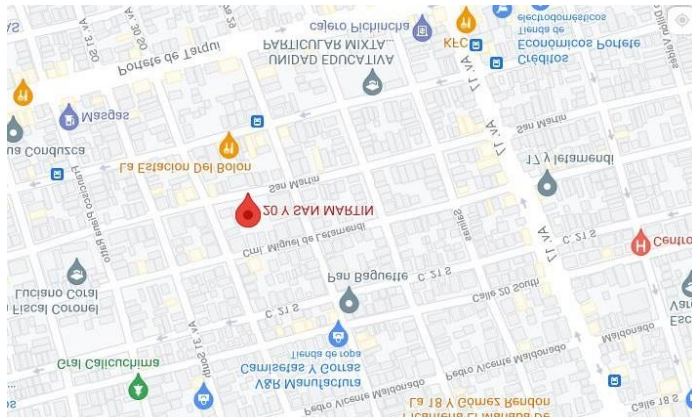
1.4.1. Delimitación temporal

La presente investigación se desarrollará en un periodo de tiempo de 5 meses tanto para la redacción del trabajo como para la fase de experimentación, que consiste en realizar 12 diferentes formulaciones de PCL y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde, el acondicionamiento de las formulaciones y espera de los análisis realizados.

1.4.2. Delimitación espacial

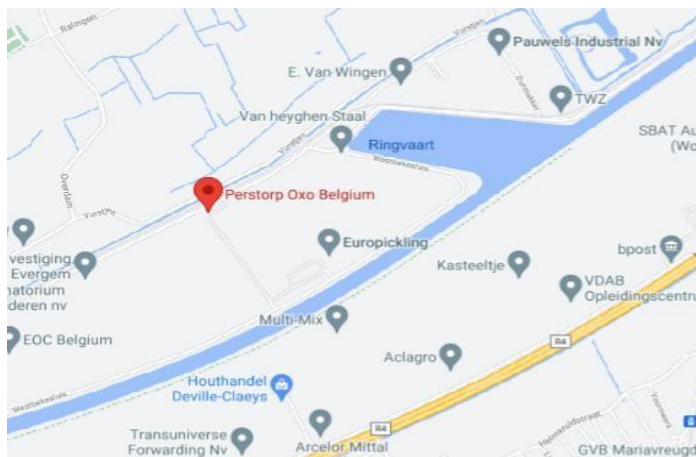
El presente proyecto de investigación tiene como finalidad la elaboración de películas biodegradables con PCL y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde. Las materias primas como residuos de la cáscara de plátano verde, fueron obtenidas en una despensa ubicada al suroeste de la ciudad de Guayaquil, mientras que el PCL es fabricado por la empresa Perstorp Holding AB UK Limited de Inglaterra. La gran mayoría de los análisis se realizaron en la Universidad de Guayaquil- Ecuador en el Laboratorio de Química Analítica en la Facultad de Ingeniería Química, mientras que las prueba ópticas (FTIR) se realizaron en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Los análisis de tensión se realizaron en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, en la ciudad de Ambato.

Figura 1: Localización de residuos orgánicos



Fuente: Google maps, 2021.

Figura 2: Lugar de elaboración del PCL



Fuente: Google maps, 2021.

1.4.3. Delimitación del contenido

La Policaprolactona y la cáscara de plátano verde se escogieron como principales productos en la elaboración de las películas biodegradables. Tomando como referencia los avances tecnológicos en el área de los biopolímeros se establecieron diferentes pruebas a aplicarse

dentro de las normas ASTM, ISO junto con un programa estadístico y diversos autores reconocidos.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

Ecuador, es considerado uno de los mayores exportadores de plátano verde, por lo que de manera simultánea se generan desechos agroindustriales en gran proporción, siendo aproximadamente cientos de toneladas métricas semanalmente, por lo que cada día se plantean nuevas e innovadoras ideas para el tratamiento de estos desechos, con la finalidad de aportar nuevos productos; este es el caso de las películas biodegradables a base de desechos, que por encontrarse en abundancia y contar con factores medioambientales positivos, cada día se pretende inquirir nuevos biomateriales que sigan proviniendo de fuentes renovables y sean de bajo costo (Oropeza, Montes, & Padrón, 2016) .

1.5.2. Justificación metodológica

La cáscara de plátano verde representa aproximadamente entre el 25-30% del peso de la fruta, este residuo actualmente se usa para alimentación animal, y en otros casos, se lo considera un desecho; sin embargo, la cáscara presenta una gran cantidad de almidón, celulosa, proteínas y propiedades antimicrobianas lo que impulsa a tratarse como materia prima para elaboración de biopolímeros (Anchundia, Santacruz, & Coloma, 2016) qué, implementándose con PCL por ser de fácil adaptación, biodegradable, sintético, con propiedades mecánicas atractivas se adapta fácilmente con diferentes tipos de almidones (Saharman, y otros, 2018).

Debido a la accesibilidad y el mal manejo de los residuos de la cáscara de plátano junto con métodos cuantitativos ayudarán a determinar algunas propiedades físicas, funcionales, ópticas, mecánicas y biodegradables. Los estudios que se analizarán son: determinación de la permeabilidad, fuerza de tracción, absorción de agua, biodegradabilidad, espesor, opacidad, solubilidad, prueba de la gota de agua y espectrofotometría infrarrojo (FTIR).

1.5.3. Justificación práctica

Con el paso del tiempo, se ha generado un auge en el ámbito de biomateriales lo que a su vez ha permitido expandir de manera considerable la entrada de estos biopolímeros y por ende, se convierte en un desafío para la ciencia el incrementar las investigaciones para promover la mejora continua en el ámbito correspondiente a la contaminación por plásticos (Huserman, 2017).

El uso de películas biodegradables dosificadas con almidón-celulosa presentes en los residuos, genera motivo de estudio por considerarse de fácil adquisición lo que para la elaboración de films resulta económico, agradable con el medio ambiente, biodegradable y en algunos casos, comestibles cuando se habla de recubrimientos Anchundia, Santacruz y Coloma, (2016).

Se obtendrá el almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde y posterior se realizarán varias formulaciones dosificando PCL y glicerina; una vez realizadas las formulaciones, se procede a realizar pruebas físicas, mecánicas, ópticas, funcionales y biodegradables (Santiago M. , 2015).

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Elaborar películas biodegradables con policaprolactona y almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) para su posible uso como fundas biodegradables.

1.6.2. Objetivos específicos

- ✓ Obtener almidón- celulosa de cáscara de plátano verde mediante los métodos de hidrólisis básica.
- ✓ Caracterizar las películas biodegradables obtenidas de acuerdo a parámetros físicos, mecánicos, ópticos, funcionales y biodegradables para comprobar su eficiencia.
- ✓ Determinar la mejor formulación para la elaboración de películas biodegradables.

1.7. Hipótesis general o premisa:

¿Al mezclar almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) con PCL (policaprolactona), se podrá conseguir una película biodegradable?

1.8. Variables de la investigación

1.8.1. Variable independiente

Elaboración de una película biodegradable

1.8.2. Variables dependientes

- ✓ Propiedades físicas de la película.
- ✓ Propiedades mecánicas de la película.

- ✓ Propiedades biodegradables de la película.
- ✓ Propiedades funcionales de la película.
- ✓ Propiedades ópticas de la película.

1.9. Operacionalización de las variables

Las variables operacionales se detallan en las siguientes tablas a continuación:

Tabla 1: Operacionalización de variables independientes.

Tipos de Variables	Variable	Sub-Variable	Definición	Equipo/Material	Método	Indicador
Independiente	Elaboración de una película biodegradable	PCL (policaprolactona)	Polímero artificial que se degrada al reaccionar con distintos microorganismos.	Balanza Hornilla eléctrica	N.A	g
		Plastificante: Glicerina	Formula molecular: $C_3H_8O_3$.Alcohol formado por tres grupos hidroxilos.	Balanza analítica	N.A	mL

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

Tabla 2: Operacionalización de variables dependientes.

Tipos De Variables	Variables	Sub-Variable	Definición	Equipo	Método	Indicador
Dependiente	Propiedades mecánicas de la película	Permeabilidad	Propiedad de un material para transportar un fluido sin alterar su composición	Balanza analítica Desecador	ASTM E96-80	gm/sm ² Pa
		Fuerza de tracción	Esfuerzo máximo de un material antes de quebrarse.	Máquina universal de ensayo	ASTM D-882	MPa
	Propiedades físicas de la película	Espesor	Grosor de un material medido en unidades de longitud.	Micrómetro	(NTE INEN, 2012)	mm
		Solubilidad	Máxima cantidad de la película que se disuelve en agua a temperatura ambiente.	Balanza analítica Estufa	Método descrito por (Trujillo, 2014)	% de materia soluble.
	Propiedades biodegradables de la película	Pérdida de peso	Capacidad de desintegrarse mediante la acción natural provocada por microorganismos.	Balanza analítica	ASTM D 5488-944	g
	Propiedades ópticas	Espectroscopia infrarroja	Transformada de Fourier infrarroja, muestra los espectros dentro de la película reflejándolos en forma de onda.	Espectrofotómetro	(Vazquez, Santiago, Rivadeneyra, & Díaz, 2019)	1/Ycm ⁻¹
		Opacidad	Característica de un material para poder pasar o no la luz visible por medio de su volumen	Espectroscopio	Anchundia, Santacruz y Coloma, (2016).	mm ⁻¹
	Propiedades funcionales	Absorción de agua	Capacidad de absorber agua en un determinado tiempo.	Balanza analítica	Método descrito por (Joaqui & Villada, 2013)	%
		Prueba de la gota de agua	Indica cierta hidrofobicidad mediante el ángulo formado por parte de la película.	Cámara digital	(Jiménez, y otros, 2019)	α

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

CAPÍTULO II

2.1. MARCO REFERENCIAL

2.1.1. Antecedentes

En los últimos años, las películas biodegradables se convierten cada vez en factibles alternativas frente a la problemática de los residuos plásticos. La producción de estos biopolímeros da paso a reducir la gran cantidad de dichos plásticos que por ser de un solo uso fomenta la contaminación (Puello & Zabaleta, 2014).

Por otra parte, el uso de plásticos no solamente genera una problemática ambiental, sino también en la salud humana por la composición de plastificantes, estabilizadores, monómeros residuales y bisfenol, como principales constituyentes en su elaboración (Embuscado & Huber, 2009).

Si bien es cierto, las películas o recubrimientos siguen siendo motivo de investigación, esto ocurre por la preocupación que genera el abuso de materiales derivados del petróleo que, por requerir de un amplio tiempo para su descomposición, ocasiona daños medioambientales irreversibles; así pues, con la finalidad de sustituir el uso de recursos fósiles, estas películas y recubrimientos pretenden fortalecer y revestir las capas naturales, para posibilitar el intercambio de gases, evitar la pérdida de humedad, mejorar la compactación, entre otras Oropeza, Montes, & Padrón, (2016).

Por encontrarse en mayor cantidad, los residuos vegetales tales como: la maleza en las plantaciones y frutas que no cumplen las condiciones aptas para su venta, ya sea porque han

sufrido algún tipo de daño o en su defecto, por peso; se pretende encontrar un uso para dichos desechos, que por ser abundantes y ser aprovechados en la actualidad como compostaje y vermicompostaje, podría complementarse con biotecnología con el fin de desarrollar películas o recubrimientos (Chávez & Rodríguez, 2016).

Uno de los residuos que tiene una variedad de propiedades aptas para considerarse un componente principal en la elaboración de biopolímeros es la cáscara de plátano verde, esta se considera rica en almidón y celulosa por ende, se elaboran múltiples productos. Según (Wang, Zhang, & Mujumdar, 2012) los resultados de estos reflejan ser altos en fibra, proteína y grasa, porque parte de su composición está formada por almidón, lignina, celulosa y hemicelulosa, por ende se puede considerar un alimento con grandes propiedades tanto en la cáscara como en la fruta por lo que se estudia como una alternativa viable para la fabricación de nuevos biopolímeros en el ámbito industrial.

Investigaciones sobre residuos orgánicos adicionados con PCL mostraron resistencia al agua, compatibilidad con materiales TPS (almidones termoplásticos) y características biodegradables fomentando el desarrollo e implementación de nuevos biomateriales que a su vez sean factibles y económicamente viables (Averous, Moro, Dole, & Fringant, 2013).

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Historia de los polímeros

Desde la antigüedad, la capacidad del hombre se ha puesto a prueba con la necesidad de subsistir y satisfacer sus necesidades, una de estas técnicas utilizadas es a partir de diferentes materiales que se encuentran en su entorno, como la piedra, bronce, cobre y hierro; siendo el hierro y bronce los que requerían de un mayor proceso para su uso. A partir de los últimos 200 años, se vienen desarrollando diferentes materiales utilizados en sus inicios, y se descubren otros tipos de materiales como el vidrio, plástico, fibra y otros metales. Las investigaciones más actuales dan apertura a “la era de los polímeros” que surge debido a los avances generados en química, y que su uso se vuelve cada vez más estudiado, puesto que a pesar de ser muy conocidos y con innumerables propiedades, se busca innovar a partir de diferentes modificaciones en su estructura (Calvillo, 2012).

2.2.1.1. Clasificación de los polímeros

Según Zapata y colaboradores, 2012 indican que se pueden categorizar en:

Según su origen

✓ **Polímeros naturales:** tales como almidón, proteína y celulosa; son los compuestos más utilizados para la elaboración de biopolímeros, puesto que, su fácil adquisición, bajo costo y disponibilidad, permite investigar cada vez más sobre sus características hidrofóbicas, termoplásticas y biodegradables volviéndose atractivos y competitivos frente al plástico convencional.

✓ **Polímeros naturales modificados:** entre los más conocidos tenemos a los polialcanatos o acetatos de celulosa.

✓ **Polímeros sintéticos:** los más comerciales son los poliuretanos, poliésteres y poliesteramidas, que adicionados con polímeros naturales como ácidos nucleicos, proteínas o carbohidratos, sus propiedades biodegradables tienden a aumentar, esto ocurre por la acción de los grupos carboxílicos ya que estos captan la energía lumínica y los convierten en materiales fotodegradables.

✓ **Materiales combinados con partículas biodegradables:** esto surge por la mezcla de celulosa, gomas naturales, almidón o mezclas de almidón, policaprolactona o Poliestireno, denominados también polímeros sintéticos.

Según su polimerización

De acuerdo con Carothers, 1929 menciona que existen dos clases:

✓ **Adición:** se puede obtener un polímero mediante un monómero y este a su vez por termólisis o por autoadición se puede sintetizar a partir del monómero de dicho polímero.

✓ **Condensación:** diverge la unidad estructural de la fórmula molecular del monómero. Este monómero puede se puede conseguir por medio de una síntesis entre el monómero por condensación poliintermolecular, o por hidrólisis del polímero.

Sin embargo Flory, 1953 propuso una nueva clasificación vigente actualmente mostrada a continuación:

✓ **Adición por reacción en cadena:** mediante la presencia de un catalizador une un polímero seguido de otro hasta que finalice la reacción (no genera subproductos).

✓ **Por etapas:** reacciona con dos polímeros y grupos funcionales totalmente distintos ubicados al inicio y final de la molécula, al adicionar un nuevo monómero, automáticamente se eliminan las moléculas pequeñas que comúnmente son agua.

(Nicholson, 2006) **De acuerdo a su composición química:**

✓ **Polímeros vinílicos:** formados únicamente por una cadena de dobles enlaces de carbonos. Se subdividen en:

- Poliolefinas: reaccionan a partir de la polimerización de olefinas (polipropileno y polietileno).
- Estirénicos: formado por todos los monómeros de estireno (caucho estireno, Poliestireno)
- Acrílicos: PMMA (Polimetilmetacrilato)
- Vinílicos halogenados: dentro de su composición contienen átomos de halógenos (PVC y PTFE).

✓ **Polímeros orgánicos no vinílicos:** dentro de su composición incluyen átomos de nitrógeno u oxígeno en su cadena principal.

✓ **Polímeros orgánicos:** únicamente conformado por átomos de carbono.

2.2.2. Plásticos y bioplásticos

2.2.2.1. Los plásticos

Son compuestos que pueden obtenerse mediante varios métodos; el primero es a partir de reacciones químicas de materiales naturales; el segundo es sintetizando moléculas de alto peso a través de compuestos de bajo peso molecular y el último, por reacciones poliméricas que surgen mediante la síntesis de compuestos orgánicos. Las características de los plásticos son su excelente

resistencia a álcalis, solventes y ácidos, alta permeabilidad, aislamiento eléctrico y térmico, maleables y de fácil adaptación al medio. Conformados por macromoléculas ramificadas, entrecruzadas o lineales, surge su clasificación en base a su comportamiento por acción de calor: Termoplásticos y Termoestables. El primero al someterse al calor empieza ablandecerse y fluir y cuando se enfría vuelve a su propiedad sólida pudiéndose repetir este proceso varias veces; lo contrario con los termoestables es que al calentarse se convierte en un producto más duro resistente y fuerte al calor y su reacción es irreversible (Cristán, Ize, & Arturo., 2003).

2.2.2.2. Tipos de plásticos

De acuerdo a Rubiano y otros, 2011 estas investigaciones permiten conocer los diferentes tipos de plásticos que se manejan en la actualidad. Siendo una gran cantidad de productos que se elaboran, los más conocidos y utilizados son:

- ✓ **Polietileno de baja densidad:** PEBD usado comúnmente en forma de bolsas plásticas adquiridas en supermercados.
- ✓ **Cloruro de vinilo:** PVC; utilizado comúnmente en botellas de cocina o shampoo.
- ✓ **Polietileno de alta densidad:** PEAD; encontrado en el área automotriz en forma de botellas para aceite, detergente etc.
- ✓ **Polietileno tereftalato:** PET; comúnmente utilizado como botellas plásticas para gaseosas, y reciclado se utiliza en forma de láminas para termoformado, fibras de poliéster, entre otras.
- ✓ **Polipropileno:** PP; encontrado en forma de botellas para posterior envasado de yogur, tapas de botellas, y reciclado en plástico para cajas de baterías o viguetas.

✓ **Poliestireno expandido:** EPS; comúnmente se encuentra en vasos para bebidas calientes, bandejas o materiales de empaquetado; reciclado como macetas o viguetas de plástico.

✓ **Policarbonato:** PC; empleado como corrección visual en forma de lentes, pantallas protectoras, ya sea como computadoras, o de focos de iluminación para vehículos.

2.2.2.3. Bioplásticos sus tipos

Se considera a aquel producto que está elaborado total o parcialmente por un polímero natural. Su principal característica es su rápida biodegradabilidad por acción de microorganismos en condiciones ambientales preestablecidas. Una norma en cuanto a biodegradación se considera a aquella que se desintegra en un lapso de 60 días en medio seco y en compostaje natural hasta 90 días. En la actualidad existen polímeros denominados bioplásticos tal es el caso del: ácido poliláctico, almidones, poliéster sintéticos y el polihidroxialcanoato (Iguardia, 2013) donde en la década de los 70 se desarrolló el primer bioplástico bajo el nombre de “Biopol” que fue producido por la bacteria *Ralstonia eutropha* pero por su costo relativamente alto fue nuevamente reemplazado por el plástico convencional (de Almeida, Ruiz, López, & Pettinari, 2004).

2.2.3. Películas Biodegradables

Acorde a Hernández y colaboradores, 2009 aseguran que los envases plásticos son de gran beneficio para los consumidores, por brindar mayor comodidad al transportar y mantener algún alimento o sustancia, esto ocurre porque entre sus múltiples propiedades, crean barreras que limitan el paso de oxígeno o vapor de agua y como consecuencia, extiende su vida útil, conservando de mejor forma dicho alimento; no obstante, entre sus cualidades, no posee una rápida biodegradabilidad, por provenir de materiales fósiles, lo que obliga a generar diferentes

alternativas integrando la biodegradabilidad a partir de nuevos biomateriales provenientes de residuos de fácil acceso, degradables, económicamente viables y amigables con el medio ambiente. Una de las sugerencias ha sido los polímeros a base de distintos desechos agroindustriales pero, que por sus bajas propiedades mecánicas, se plantea el estudio de nuevas formulaciones con diferentes materiales biodegradables con el propósito de mejorar su hidrofobicidad, dureza, y degradabilidad aportando significativamente con el medio ambiente.

2.2.3.1. Propiedades de las películas biodegradables

Espesor

Se consideran las películas biodegradables de naturaleza hidrofílica, y se cree que existe una relación entre el espesor y la permeabilidad al vapor del agua. A medida que aumenta el espesor en las películas, aumenta la resistencia a la transmisión de masa en la misma. (Morales M. , 2011). De acuerdo a la norma NTE INEN, (2012) se considera película cuando posee un espesor de 0,01 pulgadas o 0,25 mm.

Solubilidad

Se considera una característica primordial, puesto que interfiere en la biodegradabilidad y permeabilidad. Al ser altamente soluble la biodegradabilidad y permeabilidad al vapor de agua PVA, serán directamente proporcionales (Abarca & Hidalgo, 2021).

Biodegradabilidad

Al ser de origen natural es susceptible a la descomposición al tener contacto con el medio ambiente, ya que por definición, reacciona enzimáticamente con microorganismos obteniendo así agua, dióxido de carbono, y materia orgánica (Solano, Alamilla, & Jiménez, 2020).

Permeabilidad

Consiste en el transporte de gas que ocurre mediante dos aspectos: difusión activa y difusión capilar. La difusión activa solubiliza el gas a través de la cubierta y esto se debe al número y tamaño de cavidades; mientras que la difusión capilar, el gas traspasa en materiales muy porosos o con gran número de imperfecciones Morales M, (2011).

Fuerza de tracción

Es la capacidad que tiene la película para estirarse hasta romperse Solano, Alamilla, & Jiménez (2020).

2.2.3.2. Métodos de obtención de las películas biodegradables

Según Abarca & Hidalgo (2021) los más utilizados para la elaboración de películas biodegradables a partir de polisacáridos son:

Método húmedo: consiste en solubilizar el soluto en un solvente (agua destilada), se adiciona glicerina para brindarle plasticidad y se moldea la mezcla en un recipiente o caja Petri, se adecua las condiciones de temperatura, secado y velocidad de acuerdo con cada autor y tipo de polisacárido a moldear.

Método seco: mediante el proceso de fundición termo-mecánico (amasado, extrusión, etc.) se añade almidón y el plastificante.

2.2.3.3. Aplicaciones de las películas biodegradables

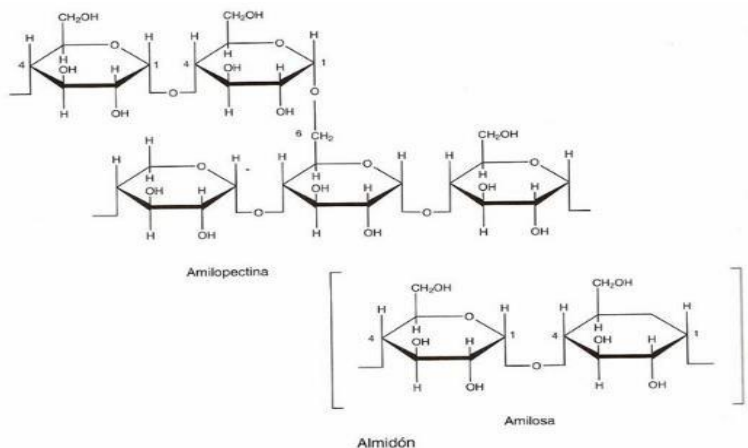
Dentro del ámbito alimenticio, se utiliza para extender la vida útil de un alimento (fruta, carnes, hortalizas entre otras) ya que por sus particulares propiedades (tensión, flexibilidad, opacidad y brillo), bajo costo y fácil disponibilidad, minimiza el intercambio de gases, presencia de microorganismos y excelente aceptabilidad sensorial. Por otro lado, en industrias plásticas, se comercializan fundas o envases con el fin de contribuir al medio ambiente (Ortega & Aparicio, 2020).

2.2.3.4. Composición de la película biodegradable de la cáscara de plátano

2.2.3.4.1. Almidón

Considerado una de las materias primas más económicas por encontrarse en abundancia dentro de la naturaleza, posee varias características tales como: biodegradable, renovable, económico, de fácil separación y con gran cantidad de energía almacenada; aproximadamente, el 60% de su composición se encuentra en granos como: maíz, arroz, trigo, entre otras, difiriendo en su estructura, forma, tamaño y composición química. De acuerdo a la figura 3 está compuesta por dos macromoléculas: amilopectina y amilosa Santiago (2015).

Figura 3: Estructura del almidón



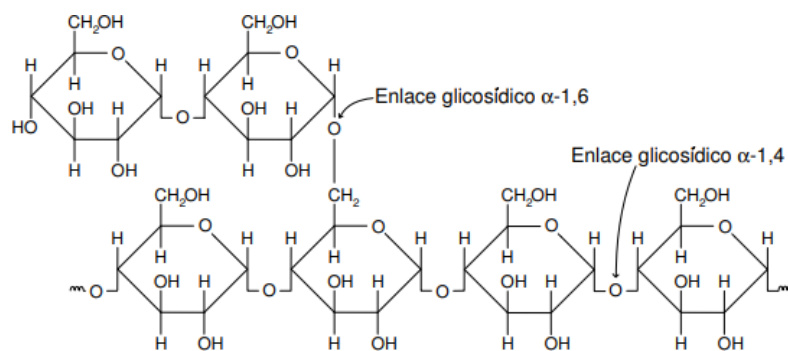
Fuente: (Méndez, 2012)

2.2.3.4.1.1. Amilopectina

De acuerdo a (Landires & Márquez), en la amilopectina se destaca el enlace α -1,4 y sus subdivisiones α -1,6. Estos enlaces formados por carbono 1 y carbono 6 dan lugar a la polimerización como se muestra en la figura 4. Estas moléculas están compuestas por 3 divisiones ramificadas cuya diferencia radica en su longitud: las más exteriores o más pequeñas denominadas “A”, las “B” pudiendo ser cortas y largas, formando dos fracciones.

Existen almidones que dentro de su composición solo contienen amilopectina, y estos se consideran “almidones cerosos”.

Figura 4: Estructura química de una molécula de amilopectina.

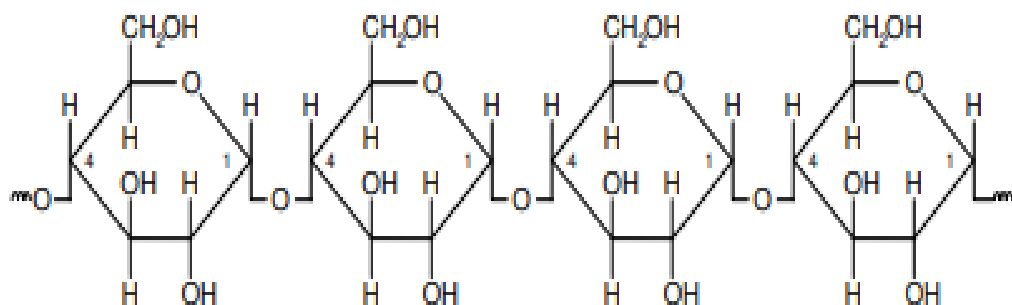


Fuente: (Ruiz, 2006).

2.2.3.4.1.2. Amilosa

Estas moléculas se encuentran ubicadas en forma de capas en el interior formando alrededor de 200 a 20 000 moléculas de glucosa y estas a su vez, entrelazándose con enlaces glicosídicos α -1,4; tienen divisiones denominadas α -D-(1,6) que forman hasta el 0,5% de los enlaces totales como se observa en la figura 5. Geométricamente no son consideradas ni cortas, ni largas, su separación es de tal forma que actúan como polímeros lineales, su alta solubilidad en agua caliente, permite generar una alineación de una suspensión coloidal Ruiz, (2006).

Figura 5: Estructura química de una molécula de amilosa.

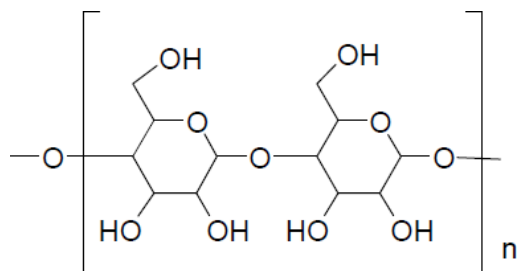


Fuente: Ruiz, (2006)

2.2.3.4.2. Celulosa

Químicamente, está conformada por uniones entre hidrógenos intra e inter-moleculares; compuesta de unidades anhidroglucosa, unidas por enlaces de oxígeno para formar vínculos moleculares, adicional a esto puede ser hidrolizada a D-glucosa para unirse mediante enlaces glicosídicos $\beta(1,4)$ como se indica en la figura 6, siendo así de poca solubilidad y fundición ante disolventes comunes, además de ser un polímero orgánico común, lineal, natural, renovable, y de alto peso molecular y biodegradable (Rodríguez, 2011).

Figura 6: Composición química de la celulosa



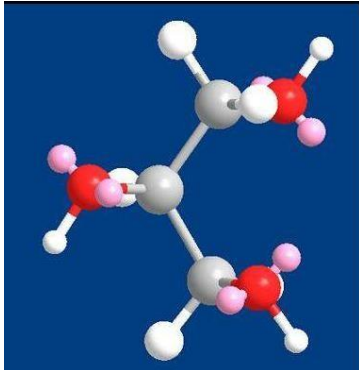
Fuente: (Sanz, 2020)

2.2.3.4.3. Glicerina

Su fórmula molecular es $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CHOH} - \text{CH}_2\text{OH}$ denominada polialcohol (conformado por tres grupos hidroxilos y tres átomos de carbono en forma de una cadena carbonada) como se muestra en la figura 7. Entre sus propiedades físicas y químicas se considera un líquido inodoro, incoloro, estable al actuar con el oxígeno en condiciones normales, pero ante oxidantes fuertes reacciona con CO_2 y H_2O , de baja toxicidad, insoluble y poco volátil frente a hidrocarburos clorinados, ésteres, hidrocarburos soluble en agua y otros disolventes polares. Actúa como fuente de hidrógeno en la hidrogenación en compuestos orgánicos, buen agente

reductor, volátil cuando actúa con agentes oxidantes como el KClO_3 ; además de ser higroscópico, con pH neutro al mezclarse con agua; de fácil manipulación, con alto punto de viscosidad y ebullición (Betancourt, De Mello, Castellanos, & Silva, 2016).

Figura 7: Estructura química de la glicerina



Fuente: (EcuRed c. , 2019)

2.2.4. Plátano verde

Considerada como una fruta paradisíaca cuyo umbral pertenece a la región Indo-Malaya. En la región central son preponderantes los tipos *Musa acuminata* por el tipo de clima considerado altamente húmedo; en la India, se encuentran la *Musa balbisiana*, comunes híbridos triploides quienes a diferencia de las primeras, se desarrollan mejor en zonas secas. Esta planta como se muestra en la figura 8 se postula como herbácea grande, formada por varias hojas, con un cormo o tallo en algunas ocasiones pseudotallo aéreo, que las envuelve, creciendo raíces ascendentes y laterales (Hidalgo, 2012).

Figura 8: Plátano verde



Fuente: Google, 2021.

2.2.4.1. Origen y descripción del plátano

El plátano es una fruta monocotiledónea perteneciente a la familia Musácea su origen data de hace miles de años presumiblemente de la región de Indo-Malaya desde aquí se extiende hacia el sur y el oeste llegando por tramo a Hawái y la Polinesia, siendo comerciantes europeos quienes lograron llevar en el siglo X este árbol a Europa, pero no es sino hasta el siglo XVI que colonizadores portugueses logran introducirlo en Sudamérica. Hoy en día dos tercios de su producción provienen de América del sur Hidalgo, (2012).

Actualmente se logra cultivar sus variedades en todas las regiones tropicales del mundo y es una de las frutas paradisíacas que más se cultiva, tanto así que en forma general el plátano es el más cultivado sólo después de la uva, los citrus y la manzana (Huayamave, 2007).

2.2.4.2. Taxonomía del plátano verde

Tabla 3: Taxonomía del plátano verde

Nombre Común O Vernáculo	Plátano
--------------------------	---------

Nombre Científico O Binominal	Musa × paradisiaca
Reino	Plantae
Filum	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Familia	zingiberaceae
Orden	zingiberales
Genero	Zingiber
Especie	z. Officinale

Fuente: (EcuRed c. , 2021).

2.2.4.3. Composición del plátano verde

De acuerdo a Anchundia, Santacruz, & Coloma, (2016) y (Santiago L. , 2005) mencionan que la pulpa del plátano está conformada químicamente por:

Tabla 4: Composición del plátano verde

Componentes del plátano verde	Cantidad
Agua	74,8%
Grasa	0,2%
Proteína	1,2%
Cenizas	0,84%
Fibra	0,6%
Carbohidratos Totales	23,0%

Azúcares	19,2%
Vitamina A	45,00 mcg
Calcio	8,0 mg
Hierro	0,8 mg
Fósforo	17,00 mg
Humedad	69,00 g

Fuente: Anchundia, Santacruz y Coloma, (2016), Santiago, (2015).

2.2.5. Cáscara de plátano

Ecuador es un país prominente agrícola y el plátano es uno de los productos que se cultiva en grandes cantidades, en especial en la región de la costa. La cáscara de plátano simboliza aproximadamente el 30% del peso del fruto, aunque habrá variaciones dependiendo de su tamaño. La cáscara de plátano es rica en fibra, aminoácidos, potasio y fuente natural de múltiples antioxidantes que son de ayuda para el tratamiento de enfermedades en el organismo; por otro lado, tenemos que la industria utiliza su cáscara por encontrarse en ella aproximadamente el 50% del almidón, implementándose en la rama textil, papelera, farmacéutica, alimentaria, entre otras; pero esto no es todo, a medida que el plátano madura, el almidón se convierte en azúcares, por consiguiente, el plátano verde es rico en almidón, mientras que el plátano maduro lo es en azúcares (Hamlet & al, 2018).

2.2.5.1. Almidón-celulosa en la cáscara de plátano

De acuerdo con (Martínez, Criollo, Silverio, & Díaz, 2017) la composición de la cáscara de plátano verde está dada por:

Tabla 5: Composición de la cáscara de plátano verde

COMPONENTE (%)	CAVENDISH
Humedad	9,32
Grasa	0,44
Proteína	0,86
Ceniza	0,63
Almidón total	88,75
Celulosa	35,14

Fuente: Martínez, Criollo, Silverio, & Díaz, (2017).

2.2.6. Policaprolactona

De acuerdo con (Puentes, 2020) indica que el PCL conocido comúnmente es motivo de investigación por parte de algunos científicos, quienes reconocen este polímero con cualidades de gran versatilidad y reabsorción como se muestra en la figura 9, utilizado principalmente en el área médica, como por ejemplo en suturas o apósitos; y en el área de ingeniería, por intervenir en la fabricación de andamios y estructuras para casas, acaparando la atención en el área de ciencia de los materiales por considerarse un biopolímero apto para congeniarse con almidones obteniendo resultados innovadores, ya que al ser un biomaterial con atractivas propiedades físicas y químicas consta de una biocompatibilidad excepcional con una biodegradabilidad lenta, lo que implica que es adecuado para la elaboración de biomateriales a mediano y largo plazo.

Figura 9: Policaprolactona



Fuente: Fátima Gómez Sierra, 2021.

2.2.6.1. Propiedades del PCL

Conforme a Puentes (2020), para un peso molecular entre 500 a 630000 g/mol:

- ✓ Posee un alto grado de cristalinidad
- ✓ Su densidad es de 1,07-1,2 g/cm³
- ✓ Su temperatura de transición vítrea varía entre -65°C a -60°C.
- ✓ Su temperatura de fusión varía entre 56°C a 65°C.
- ✓ Su temperatura de descomposición es aproximadamente 350°C.
- ✓ Por su polaridad se disuelven en sustancias como: benceno, tetracloruro de carbono, ciclohexanona, diclorometano, tolueno, y cloroformo que son conocidos como solventes orgánicos
- ✓ Insoluble en: etanol, éter de petróleo, agua, dietiléter.
- ✓ Compatibilidad con otros polímeros.
- ✓ Lenta degradación de acuerdo a su peso molecular.
- ✓ Baja toxicidad.
- ✓ Biocompatibles con las células del cuerpo humano.

2.2.6.2. **Aplicaciones del PCL**

Según Puentes (2020), menciona que se pueden clasificar sus aplicaciones en:

✓ **Liberación controlada de medicamentos**

Por poseer baja toxicidad, se busca encapsular el fármaco, tal es el caso del Capronor que consiste en un implante que se aplica en la hipodermis, y que dentro de este se encapsula levonorgestrel, anticonceptivo biodegradable que dura aproximadamente 18 meses; también está el caso de fármacos con PCL y polietilenglicol que encapsula praziquantel, medicamento antiparasitario y PCL con Pluronic en forma de nanopartículas que encapsulan cloranfenicol con el fin de actuar frente al *Staphylococcus aureus*.

✓ **Ingeniería de tejidos**

Con la finalidad de unificar las disciplinas de biología e ingeniería se busca mejorar, restaurar o restituir matrices extracelulares en forma de tejidos, siendo el PCL un material que cumple con dichas cualidad de biocompatibilidad, lenta biodegradación, viscoelasticidad, su función es crear espacios vacíos, donde las células puedan llegar y restaurar tejido ausente y por ser un material biodegradable, una vez restaurado, se elimine por acción del ser humano, siendo así utilizado como implante de ligamentos, nervios, tejidos de huesos, cartílagos, esqueleto muscular, cardiovasculares y piel.

✓ **Material de empaque**

Debido a la problemática que presenta el uso de plásticos derivados del petróleo por ser de un solo uso, cada vez se busca implementar nuevas técnicas que minimicen esta contaminación medio ambiental que se vuelve motivo de interés social; siendo una alternativa la implementación

de polímeros biodegradables a base de residuos orgánicos, pero debido a sus limitadas propiedades mecánicas, se busca combinar dichos polímeros naturales con materiales más resistentes manteniendo su biodegradabilidad. Tal es el caso del PCL, que por poseer cualidades resistentes y alta compatibilidad con los biopolímeros naturales como la celulosa, almidón, hemicelulosa y lignina, se busca adoptar nuevos materiales dosificando estos componentes, disminuyendo su precio en comparación a los bioplásticos producidos únicamente con PCL o en su defecto almidón.

2.2.7. MARCO CONCEPTUAL

✓ Polímero

Unidades estructurales básicas formadas por una unión covalente que da como resultado una macromolécula (Martínez G. , 1983).

✓ Bioplásticos

Existe cierta confusión cuando se trata de bioplásticos y plásticos degradables, hay que precisar que ciertos plásticos biodegradables, suelen surgir de recursos fósiles, pero tienen aditivos que reforman dicha degradación, pero, no tienden a cumplir con normas internacionales acordes a la biodegradabilidad tales como: ISO 14855, EN 13432, DIN V 54900, entre otras, pero, los bioplásticos sí. Por otra parte, los productos plásticos desechables que surgen de reacciones provenientes del petróleo, toman años en degradarse, convirtiéndolos en un impacto negativo ambiental, mientras que el tiempo de degradación de los bioplásticos es inferior al año generando agua, biomasa y CO₂ (García, 2015).

✓ Almidón

Polisacárido formado por amilosa (insoluble) y amilopectina (parcialmente soluble) con características funcionales como: solubilidad, absorción de agua, hinchamiento y biodegradabilidad (Hernández, Torruco, Chel, & Betancur, 2008).

✓ **Polímero sintético**

Surgen mediante una reacción llamada polimerización donde los monómeros pasan a conformar una cadena larga de macromoléculas (Hermida, 2011).

✓ **Plátano**

Pertenecen a la familia Musaceae, que surgen a partir de cruces inter e intra-específicas entre *Musa balbisiana* Colla (genoma B) y *Musa acuminata* Colla (genoma A), siendo monocotiledóneas, de alto porte (Nadal, Manzo, Orozco, & Guzmán, 2008).

✓ **Policaprolactona**

Polímero semicristalino, perteneciente a la familia de los poliésteres, con una temperatura de transición vítrea (-60°C) y un bajo punto de fusión (60°C) (Morales K. , 2014).

✓ **Biopolímero**

También conocidos como biomateriales poliméricos, se denominan así por provenir de fuentes naturales (Rojas, Vallejo, & Perilla, 2008).

✓ **Cloroformo**

Conocido como tricloruro de metilo, triclorometano, es un compuesto químico incoloro, poco irritante, de olor agradable (ATSDR, s.f.).

✓ **Polímero biodegradable**

Polímero que tiene la funcionalidad de ser biodegradable, cuyo residuo puede degradarse por digestión anaeróbica o plantas de compostaje industrial. Los criterios que definen si un

material es compostable están definidos por las normas: EN 13432, EN 14995, ASTM D6400 y la ISO 17088 (Quiñones, 2009).

✓ **Gelatinización**

Gránulos de almidón que al someterse a altas temperaturas y grandes cantidades de agua pierde su cristalinidad (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007).

✓ **FTIR**

Espectroscopía infrarroja por sus siglas en ingles Fourier-Transform Infrared spectroscopy, emite vibraciones que ayudan a dilucidar la composición estructural y química mediante espectros infrarrojos. Es medida a través del movimiento que emanan las partículas tras recibir cierta electricidad activando las moléculas y cuando absorben esta energía se puede identificar en función de su longitud de onda (Contreras Q. , 2010).

✓ **Tracción**

De acuerdo a la norma ASTM D882; se considera un ensayo o método que indica de manera cuantitativa la máxima fuerza de puede soportar un material cuando se lo somete a dos fuerzas estáticas ubicadas en sus extremos (Pacheco, 2002).

2.2.8. MARCO CONTEXTUAL

2.2.8.1. Actualidad de la industria del plástico biodegradable.

Hoy en día la utilización de diferentes artículos desechables se ha vuelto algo normal, este material que se usa una sola vez tarda muchos años en destruirse debido a su composición química, si a esto le añadimos las grandes cantidades industriales que se fabrican anualmente genera un serio perjuicio ecológico, lo que conlleva a buscar otras fuentes naturales de menos impacto ambiental como los plásticos biodegradables, que se destruyen con mayor facilidad con la ayuda de la luz y las bacterias. En el año de 1926 empieza su elaboración, pero industrialmente no se usó porque sus características desaparecían al descomponerse muy velozmente, lo que se contraponía con las características de los plásticos convencionales, por lo que fueron apartados inmediatamente. Posterior en la década de los setenta y con la crisis petrolera, se reanudó la inclinación hacia este material, sin embargo la grave crisis ambiental por el uso del plástico, acapara la atención mundial y los plásticos biodegradables vuelven a ser un tema importante de análisis (García Calopiña, García Coronado, Olaya Castillo, Rosas Namuche, & Vignolo Urbina).

En países cercanos, se empieza a tomar estos biomateriales como una entrada para la industria, y se restaura la viabilidad de la misma. En Tailandia y Brasil (países donde se exporta almidón) empieza a implementarse lo que se denomina “viabilidad comercial” para dar paso a empresas agroindustriales y darle uso a los desechos que se originan de producciones a gran escala, para convertirlo en materia prima y en otros casos, productos terminados con valor agregado con la finalidad de incrementar la economía e investigación en el país Huserman, (2017).

2.2.8.2. Industria de plásticos en Ecuador

Según (Ubilla, 2019) menciona que Ecuador tuvo sus inicios en el mundo de los plásticos en el año de 1931 y se considera que alrededor del 50% son productos que requieren de los mismos, por ejemplo, en la agricultura para los sistemas de riegos en plantaciones; en la ingeniería civil, en el área de construcción por considerarse un material resistente y en la industria alimenticia, como envasado para la transportación.

Al mostrar múltiples cualidades como resistencia a bajas temperaturas, UV, agua y bajo peso; las industrias de plástico toman posicionamiento en las dos ciudades más grandes del país: Pichincha con un 21,4% y Guayas con un 40,26%, adicional a esto, el 21,43 se encuentra repartido en el resto del Ecuador.

En el año 2017, las 308 industrias dedicadas a los plásticos representaron en el país un 0,4 del PIB (Producto Interno Bruto) junto con más de 14 mil empleos con ventas. Siendo las más destacadas:

Tabla 6: Ganancias generadas por la Industria Plástica en el Ecuador en 2017

Industrias	2017
Manufacturero	\$295 376
Agricultura	\$239 690
Construcción	\$92, 957
Servicios	\$91 181
Comercio	\$63 721

Explotación Minera	\$8 003
---------------------------	----------------

Fuente: (Ubilla, 2019)

2.2.9. Aplicaciones de la cáscara de plátano

Hamlet & al, (2018) Menciona algunas aplicaciones en la cáscara de plátano, tales como:

- ✓ Potencial fuente de pectina.
- ✓ Es posible fabricar bioplástico a partir del material que se encuentra en la cáscara.
- ✓ Como sustento de abono orgánico.
- ✓ Como fertilizante.
- ✓ Se puede producir bioetanol.

2.2.10. MARCO LEGAL

De acuerdo con (Arcentales & Arcentales, 2010) en nuestro país existen gran cantidad de inspecciones y normas que son tomadas en cuenta al momento de fabricar o conformar parte de empaques de solo uso o en su defecto, etiquetado, envasado o empaquetado. Siendo las siguientes:

- ✓ Normas INEN
- ✓ Código de la salud
- ✓ Codex Alimentarius
- ✓ Reglamento de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados
- ✓ Reglamento de Registro Y Control Sanitario

Pese a que en Ecuador no existen parámetros específicos para el uso de empaques biodegradables, se utilizan dichas normas e inspecciones con el fin de resguardar la investigación: Elaboración de películas biodegradables con Policaprolactona y almidón-celulosa de cascara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) para su posible uso como fundas biodegradables, que se muestran a continuación:

Normas que controlan la biodegradación de los polímeros:

Tabla 7: Normas aplicadas a la biodegradación de polímeros.

NORMAS INTERNACIONALES

NORMA	Nombre	Descripción
ISO 16929, 2002	Plásticos - Determinación del grado de desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje definidas en una prueba a escala piloto	Mediante condiciones de compostaje previamente establecidas y estandarizadas a escala piloto, la muestra de ensayo se mezcla con bioresiduos mediante una concentración previamente establecida para posterior trasladarlo en un entorno definido
ISO 10210, 2012	Plásticos: Métodos para la preparación de muestras para pruebas de biodegradación de materiales plásticos	Indican los métodos para preparar el ensayo, definiendo si corresponde a una biodegradabilidad para plásticos aeróbica o anaeróbica ya sea en suelo, medio acuoso, o compost controlado. Adicional, presenta consistencia dimensional de las muestras lo que permite una mejor reproducibilidad en los resultados.
NORMAS EUROPEAS		
NORMA	Nombre	Descripción
EN 14995, 2006	Plásticos: Evaluación de la compostabilidad - Esquema de prueba y especificaciones.	Puntualiza los requerimientos para que estos materiales se consideren orgánicamente recuperable, además, facilita el apoyo a través de las reivindicaciones de compostabilidad de plásticos. Detalla todas las necesidades para los materiales de embalaje. Una de las opciones para la recuperación en la vida del ciclo de los plásticos es la recuperación orgánica de materiales.

EN 13432:2000/ AC2005	Embalaje: Requisitos para el embalaje recuperable a partir del proceso de biodegradación y compostaje Esquema de prueba y criterios de evaluación para la aceptación final del embalaje.	Detalla los procedimientos y precisiones para establecer la compostabilidad y la tratabilidad anaeróbica de materiales de embalaje de acuerdo a cuatro características como son: desintegración mediante el tratamiento biológico, biodegradabilidad, calidad del compost, consecuencia durante el proceso de tratamiento biológico.
--------------------------------------	---	--

NORMAS NORTEAMERICANAS (EE. UU.)

Norma	Nombre	Descripción
ASTM D5988- 03	Este método de ensayo determina la tasa y el grado de biodegradación para plásticos sintéticos mediante biodegradación aeróbica, en esta incluye todos los aditivos presentes en el suelo que por lo general tienden a ser biodegradables.	

Adaptado de: Abarca & Hidalgo, (2021)

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

La propuesta y elaboración de este proyecto de investigación manejó información cualitativa y cuantitativa; ya que se realizó la extracción del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde mediante hidrólisis básica y la elaboración de la película biodegradable mediante el método de casting. Dichos métodos utilizados a lo largo del trabajo, se basaron en investigaciones y revisiones bibliográficas, con la finalidad de que en la experimentación, se combinen dos polímeros junto con un plastificante y agua con el propósito de conseguir una biopolímero flexible, resistente y biodegradable que servirá como iniciativa para la sustitución de los plásticos de origen fósil. Adicional a esto, mediante criterio propio y el uso de un programa estadístico (Minitab) obtener un diagrama de Pareto desarrollando un diseño de experimentación factorial de dos factores entre la glicerina y el PCL de 3 y 4 niveles respectivamente. Se expusieron los criterios de respuesta para las pruebas: físicas (espesor, solubilidad), mecánicas (permeabilidad, fuerza de tracción), ópticas (análisis FTIR y opacidad), biodegradables (pérdida de peso) y funcionales (absorción de agua y prueba de la gota de agua).

3.2. Modalidad básica de investigación

La modalidad utilizada y estudiada a lo largo del proceso fue bibliográfica puesto que se citan varios autores que sustentan y respaldan la fabricación de películas biodegradables a partir de polímeros naturales como por ejemplo: Chapuel (2019), Jiménez (2019) (Gonzáles, Sotelo, & Gutierrez, 2016), (Moreno, 2015), (Montoya, Dumar, & Lucas, 2013), Anchundia (2016) y

(Cárdenas, 2018). Además, (Contreras & al., 2013), (Khaliwala, Shekhar, Aggarwal, & Mandal, 2008) y (Yavuz & Babaç, 2003) mencionan la elaboración de films con almidón-celulosa dosificado con PCL.

La siguiente investigación resolvió elaborar una película biodegradable con Policaprolactona y almidón-celulosa de la cascara de plátano verde (*Musa Paradisiaca*) considerándose una alternativa viable para la sustitución del plástico convencional, contribuyendo con el medio ambiente al generar una biodegradabilidad menor en comparación con los plásticos de un solo uso.

Se considera una investigación tipo experimental ya que se adaptó un espacio dentro de una vivienda para obtención del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde, el Laboratorio de Química Analítica de la Universidad de Guayaquil para la elaboración de la película biodegradable y la película adicionada con PCL y posterior laboratorios externos para realizar los análisis correspondientes al FTIR y fuerza de tracción. Además se recolectaron datos mientras se realizaba la extracción del almidón para calcular el porcentaje de rendimiento, celulosa y humedad durante el proceso comparándolos con investigaciones recientes con el fin de dar un mayor soporte a los resultados obtenidos de forma experimental.

3.2.1. Tipo de investigación

Exploratoria, descriptiva y explicativa.

Exploratoria: porque se requirió de una problemática, en este caso, la contaminación al medio ambiente generada por el mal desecho de los plásticos de un solo uso, para posterior, formular un objetivo como es la elaboración de un material biodegradable a base de desechos

orgánicos adicionando un polímero sintético y atrayente, pudiendo competir económicamente frente a un plástico convencional y viable para la industria.

Descriptiva: detalla todas las propiedades y características de las materias primas obtenidas, sustancias químicas, materiales y cada uno de los procesos que se utilizan para que la efectividad del producto final, en este caso la película biodegradable, sea apto y aceptado por la sociedad.

Explicativa: expone el inicio del problema con el fin de explicar e implementar las ventajas, el uso y la viabilidad de instituir las películas biodegradables, generando así propuestas que aporten al desarrollo de nuevos biomateriales aplicando la tecnología actual y el conocimiento.

3.3. Método para de obtención del almidón-celulosa

Método húmedo: (evaporación del solvente y aplicación del método de casting); dicho método fue empleado por sus operaciones unitarias aprendidas durante el proceso, las mismas que consisten en la solubilización del biopolímero, en este caso la cáscara del plátano verde con agua mientras se adiciona un plastificante (glicerina) y se moldea la solución en una caja Petri, se evapora el solvente mediante un equipo de conducción de calor a condiciones previamente establecidas (Stahl & Guerrón, 2016).

3.4. Procedimiento experimental

3.4.1. Materiales, equipos y reactivos

Los materiales que se utilizaron fueron: Recipiente plástico 100 mL, Agitador y un recipiente plástico.

Los equipos que se utilizaron fueron: Balanza digital CAMRY modelo EI-02H/EI-02HS, Hornilla eléctrica, molino marca corona y un Lienzo o tamiz.

Los reactivos utilizados fueron: Hidróxido de sodio al NaOH, agua potable H₂O, ácido cítrico C₆H₈O₇, hipoclorito de sodio al 5% (NaClO).

3.4.2. Procedimiento para la extracción del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde

Para la obtención del almidón-celulosa se realizó un procedimiento manual adaptando las metodologías de Montoya (2013), Cárdenas (2018), (Santander, 2018), (Guerrón, 2016) y (Pozo, 2019) empleando así el método húmedo e hidrólisis alcalina.

Para la extracción se realizó lo siguiente:

a. Obtención de la materia prima: se compró \$3 de plátano verde (Musa Paradisiaca) equivalente a 18 plátanos, en una despensa en la calle San Martín ubicada al sur oeste de la ciudad de Guayaquil.

b. Limpieza: se lavaron los plátanos con una salvauñas para cocina y 200 mL de jabón líquido neutro adquirido en “La casa del Esparadrapo Quins S.A Guayaquil- Ecuador”.

c. **Pesado:** Se pesaron cada uno los 18 plátanos adquiridos en una balanza digital CAMRY modelo: EI-02H/EI-02HS.

d. **Cortado y Pelado:** con un cuchillo se corta el plátano en tres partes quitando los extremos denominados pedúnculos y separando las cáscaras de la fruta.

e. **Pesado:** se pesaron las cáscaras de plátano.

f. **Molido y Pesado:** mediante el uso de un molino marca corona se procedió a moler la cáscara de plátano y después de este proceso se pesó en la balanza CAMRY modelo: EI-02H/EI-02HS.

De la cáscara de plátano obtenidos en el proceso de molido, se extrajo una muestra con la finalidad de calcular el porcentaje de humedad mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \cdot 100\%$$

Ecuación 1: Porcentaje de humedad

Para la determinar de la cantidad de celulosa, se empleó el método de Kurschner & Hoffer en el cual se extrajo 1 g de almidón-celulosa y se adicionó ácido nítrico y etanol hirviendo a reflujo durante 30 minutos. Se lavó y filtró para eliminar los residuos de ácido para posterior secado y pesado. Para calcular el porcentaje de celulosa se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ celulosa} = \frac{\text{peso del resituo seco (g)}}{\text{peso seco de la muestra (g)}} \times 100$$

Ecuación 2: Cálculo del porcentaje de celulosa

g. **Remojo:** mediante el método de Kraft, se prepara una solución (tomando en cuenta las medidas de bioseguridad tales como: guantes de nitrilo, mascarilla, visor, mandil) de hidróxido

de sodio NaOH al 5% (adquirido en “La casa del Esparadrapo Quins S.A Guayaquil- Ecuador”) estableciendo la siguiente relación de acuerdo a las cantidades de cáscara de plátano:

Por cada kg de cáscara de plátano verde molido: 50g de hidróxido de sodio. (NaOH) al 5%: 1 Litro de agua.

Después de realizar este procedimiento se deja reaccionar el hidróxido de sodio con la cascara de plátano verde molido durante un periodo de 24 h.

- h. Filtrado:** después del tiempo de reposo se procedió a filtrar la mezcla en un lienzo.
- i. Lavado:** la mezcla de almidón-celulosa e hidróxido de sodio se lavó con abundante agua para eliminar todos los restos de NaOH comprobando así con tiras de pH hasta que el resultado fuera neutro y visualmente el tono oscuro que tenía cambie a uno claro.
- j. Hidrólisis alcalina:** después del filtrado, se colocó la mezcla en un recipiente plástico con una solución de hipoclorito de sodio al 5% junto con agua y se dejó remojar durante 8h de acuerdo a los siguientes datos:

Por cada kg de cáscara de plátano verde molido: 100mL de cloro disuelto en las siguientes proporciones: 50 mL de cloro y 50 mL de agua.
- k. Blanqueamiento:** posterior al tiempo de espera de 8 h, se lavó para eliminar los residuos de cloro y verificar si la mezcla cambiaba de tonalidad.
- l. Blanqueamiento:** una vez terminado el primer lavado, se colocó por segunda ocasión las mismas proporciones del punto “k” de cloro dejándolo actuar por 20 h.
- m. Filtrado:** obteniendo así la tonalidad blanca, se filtró el un lienzo.
- n. Pesado:** se pesó la cantidad de cáscara de plátano verde molido obtenido después de los dos procesos de blanqueamiento.
- o. Licuado:** se licuó con agua en un extractor de marca “Ultramaxx” durante 1 hora.

✓ Las cantidades de agua fueron en relación a la cantidad de cáscara de plátano molido obtenido.

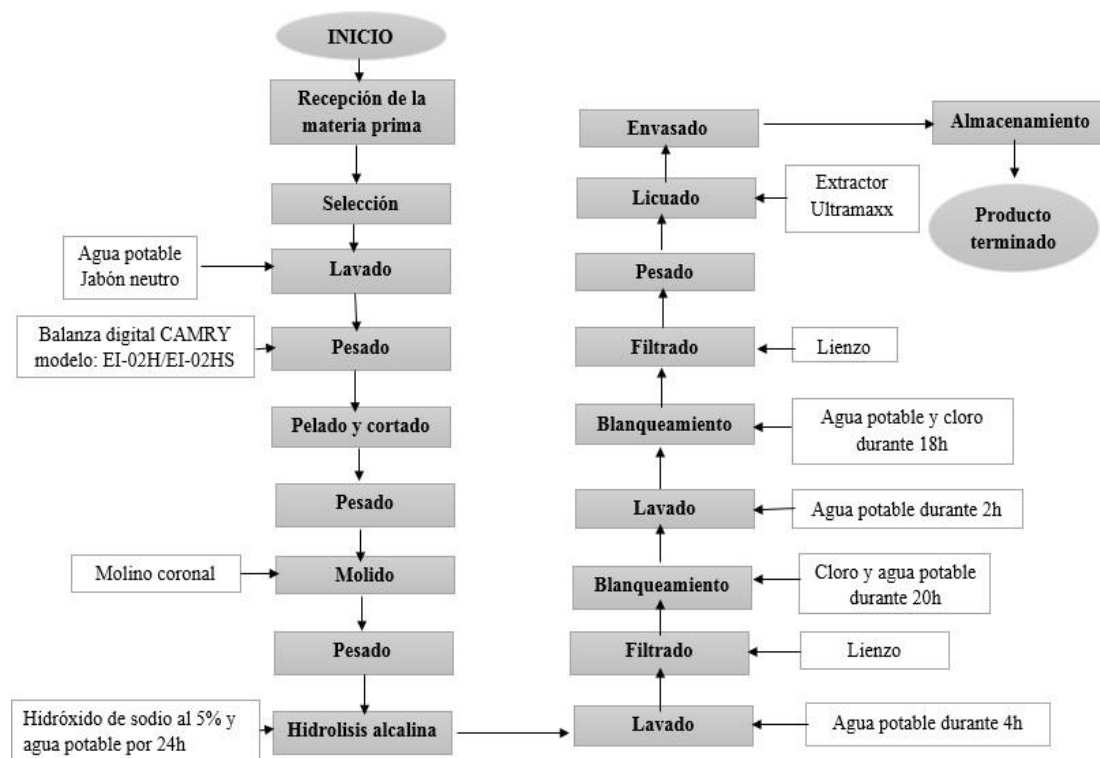
p. Envasado: la mezcla se colocó en un recipiente plástico herméticamente cerrado.

q. Almacenamiento: la mezcla se colocó en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente, para posterior calcular el rendimiento mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{masa del almidon seco}}{\text{masa del plátano molido}} \cdot 100\%$$

Ecuación 3: Porcentaje de rendimiento.

Diagrama de bloques para la obtención del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.



Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

3.5. Diseño experimental de la película biodegradable

3.5.1. Determinación de las formulaciones para la película biodegradable

Después de obtener el almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde de acuerdo a diferentes autores, se tomarán en cuenta los aportes de: Jiménez 2019, Contreras & al., (2013), (Navarro, 2018), Averous 2013, Anchundia (2016).y (Collazo & et, 2013) para establecer diferentes formulaciones y determinar la más adecuada mediante el método de casting.

Dentro de estas formulaciones correspondientes al almidón-celulosa, PCL, glicerina, agua y cloroformo, se indica el porcentaje en masa o volumen a utilizarse, junto con las cantidades a ocupar dentro de cada caja Petri y el número de repeticiones.

Tabla 8: Formulaciones de las películas biodegradables con almidón-celulosa y PCL.

F	almidón-celulosa (g)	glicerina (g)	PCL (g)	agua (ml)	cantidad en cada caja Petri (ml)	cloroformo (ml)	repeticiones
1	1,5	0,2	0	25	25	3	6
2	1,5	0,2	1	25	25	3	6
3	1,5	0,2	1,5	25	25	3	6
4	1,5	0,2	2	25	25	3	6
5	1,5	0,4	0	25	25	3	6
6	1,5	0,4	1	25	25	3	6
7	1,5	0,4	1,5	25	25	3	6
8	1,5	0,4	2	25	25	3	6
9	1,5	0,6	0	25	25	3	6
10	1,5	0,6	1	25	25	3	6
11	1,5	0,6	1,5	25	25	3	6
12	1,5	0,6	2	25	25	3	6

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

3.5.2. Sustancias, materiales y equipos a utilizar

Las sustancias utilizadas fueron: almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde, Policaprolactona (PCL), agua H_2O , glicerina ($C_3H_8O_3$) y cloroformo.

Los materiales utilizados fueron: cajas Petri de 1,5 cm x 8,5 cm, termómetro, vidrio reloj, vasos de precipitación, estufa, espátula, agitadores de vidrio, probeta, papel aluminio, pipeta, pipeteador y tamiz.

Los equipos utilizados fueron: balanza analítica, estufa y hornilla eléctrica.

3.5.3. Procedimiento para la elaboración de la película biodegradable (Método de casting)

a. Dosificación de los componentes: utilizando una balanza, se pesa: el almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde, glicerina y PCL y con la ayuda de una probeta, el cloroformo y agua (ambas por separado) de acuerdo a las proporciones descritas en la tabla anterior; se mezcla en un vaso de precipitación el almidón-celulosa y el agua con un agitador magnético durante 4 min a una temperatura de 200 °C y 300 rpm. Una vez transcurrido ese tiempo, se espera hasta alcanzar una temperatura entre un rango de 40 a 50 °C para posterior añadir la glicerina.

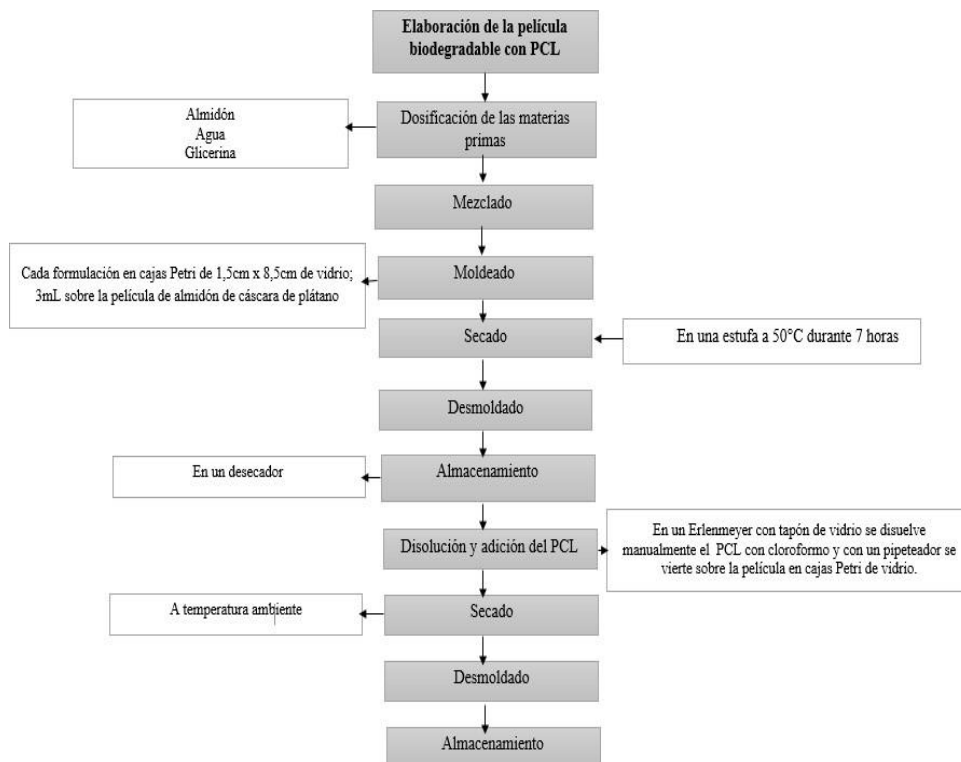
b. Mezclado: La primera mezcla se religó durante 15 -20 minutos hasta homogeneizar, eliminar la disrupción y conseguir una consistencia pastosa.

c. Moldeado: la mezcla obtenida se coloca en cajas Petri (1,5 cm x 8,5 cm). Este proceso se repitió 6 veces conteniendo 25 mL de la mezcla para cada formulación.

Secado: en una estufa a 50 °C durante 7 horas.

- d. Desmoldado:** con la ayuda de un bisturí y una espátula se retiró de las cajas Petri las películas.
- e. Almacenamiento:** se guardó los films en papel blanco y se colocó en el desecador durante 72 h.
- f. Disolución y Adición del PCL:** en un Erlenmeyer de vidrio se colocó el PCL y el cloroformo de acuerdo a la tabla 8 y cubriéndolo con un tapón de vidrio se agitó manualmente hasta disolver
- g. Secado:** a temperatura ambiente durante 48 h.
- h. Desmoldado:** con la ayuda de una espátula.
- i. Almacenamiento:** en un desecador hasta su uso.

Diagrama de flujo para la elaboración de la película biodegradable



Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

3.6. Análisis del almidón-celulosa de la cáscara de plátano

Se evaluó el contenido de humedad, celulosa y rendimiento de la muestra final, Adicional Utilizando un microscopio óptico de marca LEICA CME se analizó de manera visual realizó un acercamiento a 10x con luz a baja intensidad para observar el almidón-celulosa, posterior se evaluó su contenido de humedad, celulosa y rendimiento de la muestra final.

3.7. Análisis del producto terminado

Considerándose como producto terminado a la película biodegradable con almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde y Policaprolactona, se realizaron diferentes pruebas: físicas (espesor, solubilidad), mecánicas (permeabilidad y fuerza de tracción), funcionales (absorción de agua y prueba de la gota de agua), ópticas (análisis FTIR y opacidad) y biodegradables (pérdida de peso), adaptándolas al alcance del proyecto y realizando 3 repeticiones de acuerdo con (Merchán & Tigre, 2019).

3.7.1. Pruebas físicas

Espesor

Para medir el espesor se utilizó un micrómetro digital marca Mitutoyo modelo TPM-H-2781. El rango de medición que posee este equipo es de 0,001 mm hasta 12,7 mm. La medición se realizó una vez transcurridas 72 h para asegurar la estabilización de las películas. Se midió un total de 10 veces para calcular un promedio entre superficies lisas y rugosas.

Solubilidad

Se recortaron los films en tamaños de 2 cm x 2 cm y se registró su peso inicial, se colocaron en un vaso de precipitación con 80 mL de agua a 100 rpm en un VELP heating magnetic

strirrer durante 1 hora. Posterior, se filtró en un tamiz N° 200 y se secó en una estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 h. Como último paso se registró este peso para comprobar la pérdida de peso.

Para el cálculo de la solubilidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Solubilidad} = \frac{P - P_0}{P} * 100\%$$

Ecuación 4: Porcentaje de solubilidad

Donde:

P = Peso inicial seco de la película biodegradable.

P₀= peso seco final de la película biodegradable.

3.7.2. Pruebas mecánicas

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La PVA se realizó a partir de la norma E96-80ASTM y (Debeaufort, Quezada-Gallo, & Voilley, 1998) con algunas modificaciones. Se recortaron las películas de forma circular hasta obtener un diámetro de 4 cm, posterior, se adaptó un recipiente plástico como celda, en la parte superior (tapa) se formó un agujero el mismo que será cerrado con la película. Dentro del recipiente se colocaron 10 mL de agua y se lo ubicó en un desecador con un higrómetro con la finalidad de mantener la humedad controlada; este análisis se realizó durante 24 h.

La ecuación utilizada para calcular la PVA es:

$$PVA = \frac{\Delta m - I}{A - \Delta t - \Delta p}$$

Ecuación 5: Permeabilidad al vapor de agua.

Donde:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \text{pérdida de humedad por unidad de tiempo } \frac{\text{g}}{\text{s}^{-1}}$$

I = espesor de la película (m)

A = Área de la película que está expuesta a la humedad.

Para el cálculo de la variación de PVA entre las caras de la película se utiliza la siguiente ecuación.

$$\Delta p = \frac{\Delta RH}{100} * PVAP \text{ SAT}$$

Ecuación 6: Variación de la PVA

Donde:

ΔRH= se considera el gradiente de humedad relativa entre el entorno y la celda.

PVAP SAT = se considera la presión del vapor de agua pura saturada que a 25 °C es de 3160 Pa.

Fuerza de tracción

Para esta prueba se utilizó una probeta, todas estas condiciones corresponden a la norma ASTM-D882-18. Para dicha resistencia a la tracción se utilizó una máquina de ensayo universal SHIMADZU cuyo modelo es AGS-J. Se utiliza una celda de carga con una fuerza de 200 N y una velocidad de 5mm/min a una distancia de 22mm entre cada mordaza. Para este procedimiento se elaboraron películas de 2,5cm de ancho x 20cm de largo para de una manera más fácil poder sostener las mordazas y colocarlas en el equipo.

3.7.3. Pruebas ópticas

Análisis FTIR

La caracterización estructural de la película biodegradable se realizó utilizando un espectrofotómetro infrarrojo FTIR de la marca PerkinElmer modelo Spectrum 100, manejando una espectroscopia de absorción ATR de diamante en un ancho de banda de 3800 a 1000 cm^{-1} con una configuración de barrido resolución de 4 cm^{-1} . Estas respuestas fueron comparadas con investigaciones afines para posterior lectura de los números obtenidos para establecer los grupos funcionales presentes en la película biodegradable.

Opacidad

Se aplicó la metodología de Anchundia (2016). Se recortaron tiras rectangulares de la película biodegradable de 0,7 cm de ancho x 3,5 cm de largo y se leyeron a 600 nm en un espectrofotómetro visible GENESYS™ 20, Thermo Scientific. Se determinó la absorbancia en la parte superior e inferior de las dos caras del film.

Para calcular la opacidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Opacidad} = \frac{A}{E}$$

Ecuación 7: Fórmula para el cálculo de la opacidad.

Donde:

A= absorbancia previamente establecida en la literatura.

E= espesor de la película en milímetros (mm).

3.7.4. Pruebas funcionales

Absorción de agua

Este análisis se realizó siguiendo el proceso de Joaqui & Villada, (2013) con ciertas modificaciones. Se cortaron pedazos de dimensiones de 2 cm x 2 cm y durante 30 minutos con la finalidad de determinar cuanta cantidad de agua absorben en ese tiempo. Primero se pesó cada una de las muestras de la película (M1) y se las colocó en un vaso de precipitación añadiendo 50 mL de agua y mediante el equipo VELP heating magnetic stirrer a 100 rpm durante 3 horas. Posterior, se sacó la muestra y se la colocó en un vidrio reloj y se anotó el nuevo peso (M2).

Donde:

M1: Peso de la muestra seca.

M2: Peso de la muestra húmeda.

$$\text{Capacidad de absorción de agua} = \frac{M2-M1}{M1} * 100\%$$

Ecuación 8: Porcentaje de absorción de agua.

Prueba de la gota de agua

Para esto, se planteó la metodología de Jiménez, (2019) con ciertas modificaciones. Se preparó una solución de agua con colorante alimenticio (con la finalidad de notar el ángulo a formarse) y con la ayuda de una micro pipeta y micro jeringa se dejó caer a la altura de 40 cm una gota del líquido (correspondiente a 10 µL) sobre la película biodegradable. Al pasar 5 segundos se calcula de manera escrita el ángulo que se forma entre la gota y la superficie de la película y determinar su hidrofobicidad.

3.7.5. Prueba de biodegradación mediante pérdida de peso

Se realizó este proceso de acuerdo a (Núñez, 2014) con ciertas modificaciones. Para este procedimiento se adaptó un espacio con condiciones aerobias. Se tomó tres muestras de cada una de las formulaciones y en recipientes con material orgánico se evaluó su degradación durante 20 días.

Para esto se seccionaron tiras de 0,7 cm x 3,5 cm anotando su peso inicial; en un recipiente de una capacidad de 200 mL se colocaron 150 g de compost húmedo y a una distancia de 5 cm de altura se colocó la muestra. De manera semanal se registra el peso y se compara con el peso inicial para calcular el porcentaje de degradación.

Se realizó este análisis por triplicado mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ perdida por degradación} = \frac{P-P_0}{P} * 100\%$$

Ecuación 9: Porcentaje de degradación.

Donde:

P = Peso inicial húmedo de la película biodegradable.

P_0 = peso seco final de la película biodegradable.

CAPITULO IV

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Identificación del almidón-celulosa en la cáscara de plátano verde

En la figura10 se apreciar la morfología del almidón en forma circular e irregular y líneas irregulares correspondientes a la celulosa, también se presenta un hinchamiento en dichas figuras irregulares por la presencia de agua, presentando similitud con Jiménez, (2019).

Figura 10: Almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.



Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.2. Rendimiento y caracterización del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde

Estas respuestas describen el rendimiento del almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde, donde el peso fue de 4756,5 g y el peso de la cáscara fue de 1981,5 g después de detallarse el proceso expuesto en el Capítulo III obteniendo un 41,65% de rendimiento, 95,18 y 31,46 porcentaje de humedad y celulosa respectivamente. Siendo estos datos semejantes a los expuestos

por Abarca & Hidalgo, (2021) que son de: rendimiento 38,48 y la humedad de 75,80% respectivamente.

4.3. Análisis de las dosificaciones en la película biodegradable

Se realizaron pruebas con diferentes dosificaciones de glicerina y Policaprolactona para posteriormente analizar, mediante la observación y criterio propio, la variación de sus características, asumiendo que estos posibles resultados coincidan con sus propiedades, físicas, mecánicas y funcionales obtenidas experimentalmente y se ajusten a la finalidad de la investigación. Estas dosificaciones están descritas en la tabla 9 a continuación:

Tabla 9: Observaciones en cada formulación de la película biodegradable.

Formulación	Temperatura	Sustancias	Cantidad	Observación
F1	50°C±10	Almidón Glicerina Agua	1,5 g 0,2 g 25 mL	Muy maleable, liviana, poco firme, poco resistente.
F2	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,2 g 1 g 3 mL 25 mL	Liviana, flexible, muy maleable, fácil disolución del PCL, medianamente resistente.
F3	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,2 g 1,5 g 3 mL 25 mL	Muy maleable, liviana, fácil disolución de PCL, muy resistente, de difícil ruptura.
F4	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,2 g 2 g 3 mL 25 mL	Menos liviana, difícil disolución del PCL, muy resistente, poco flexible y elástica.
F5	50°C±10	Almidón Glicerina Agua	1,5 g 0,4 g 25 mL	Maleable, liviana, flexible.
F6	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo	1,5 g 0,4 g 1 g 3 mL	Fácil disolución del PCL, maleable, flexible, poco opaca.

		Agua	25 mL	
F7	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,4 g 1,5 g 3 mL 25 mL	Fácil disolución del PCL, maleable, poco flexible, resistente.
F8	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,4 g 2 g 3 mL 25 mL	Difícil disolución del PCL, resistente, poco flexible, maleable.
F9	50°C±10	Almidón Glicerina Agua	1,5 g 0,6 g 25 mL	Se rompe fácilmente, opaca, maleable, poco flexible.
F10	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,6 g 1 g 3 mL 25 mL	Maleable, flexible, fácil disolución del PCL, resistente.
F11	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,6 g 1,5 g 3 mL 25 mL	Poco flexible, fácil disolución del PCL, resistente, maleable.
F12	50°C±10	Almidón Glicerina PCL Cloroformo Agua	1,5 g 0,6 g 2 g 3 mL 25 mL	Difícil disolución del PCL, difícil ruptura, maleable, poco flexible.

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.4. Análisis y discusión de resultados de las pruebas físicas de las películas

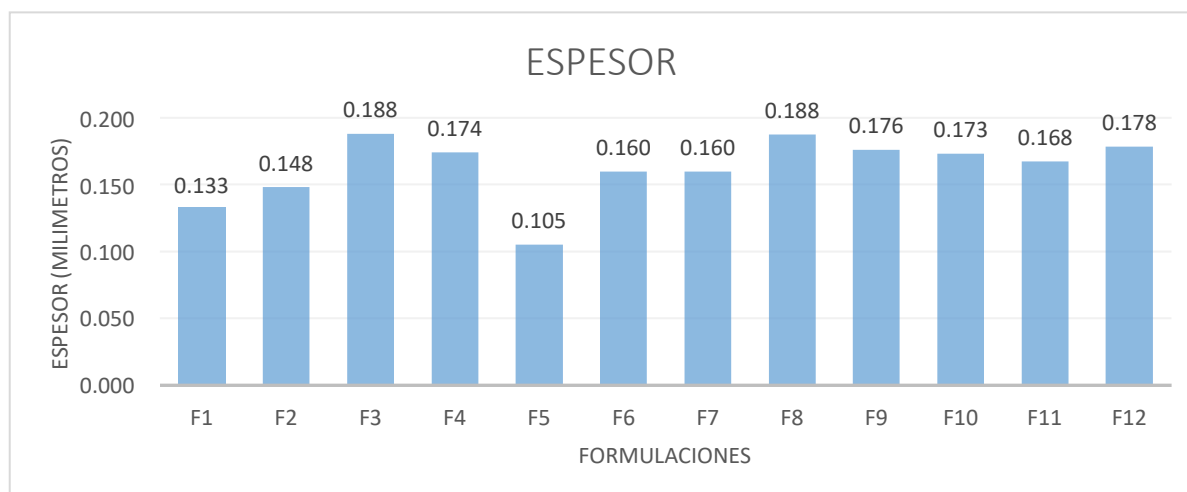
biodegradables

Espesor

De acuerdo con la Norma 2636 (2012), menciona que las láminas delgadas o películas son aquellas que tienen un espesor inferior a 0,25 mm, por lo que todas las formulaciones cumplen con el espesor adecuado. En la figura 11 se muestra como en las formulaciones F6, F7 y F11, presentan la misma respuesta, al igual que la F4, F9, F10 y F12 poseen valores similares, lo mismo

ocurre con F3 y F8 por lo que no existe diferencia significativa entre estas formulaciones; por otra parte, entre F1, F2, F5 sí existe diferencia significativa porque la dosificación del PCL aplicada a en cada película fue variada.

Figura 11: Espesor promedio con respecto al número de formulaciones.



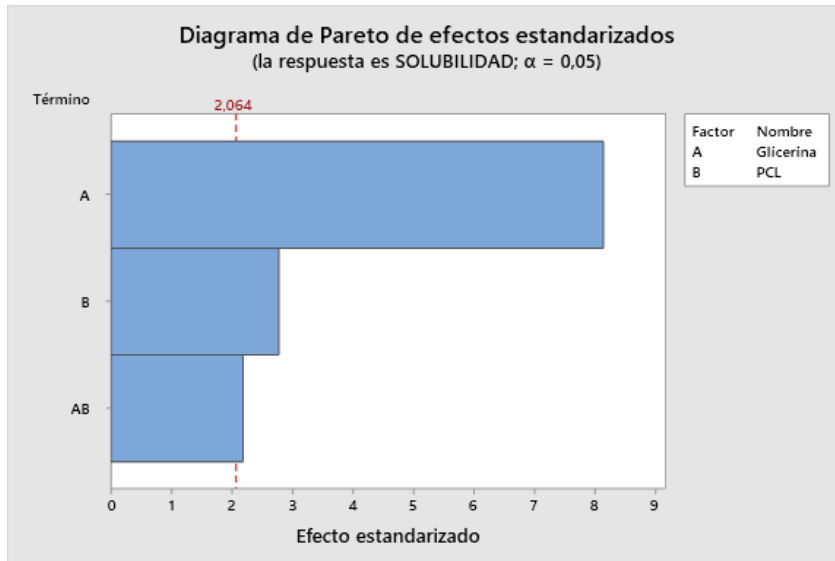
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

Adaptado de: (Ponce, 2015)

Solubilidad

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la solubilidad. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados del análisis de solubilidad obtenidos en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 12 se observa que todos los factores exceden la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que los 3 factores afectan de manera significativa a la solubilidad de la película.

Figura 12: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la solubilidad.

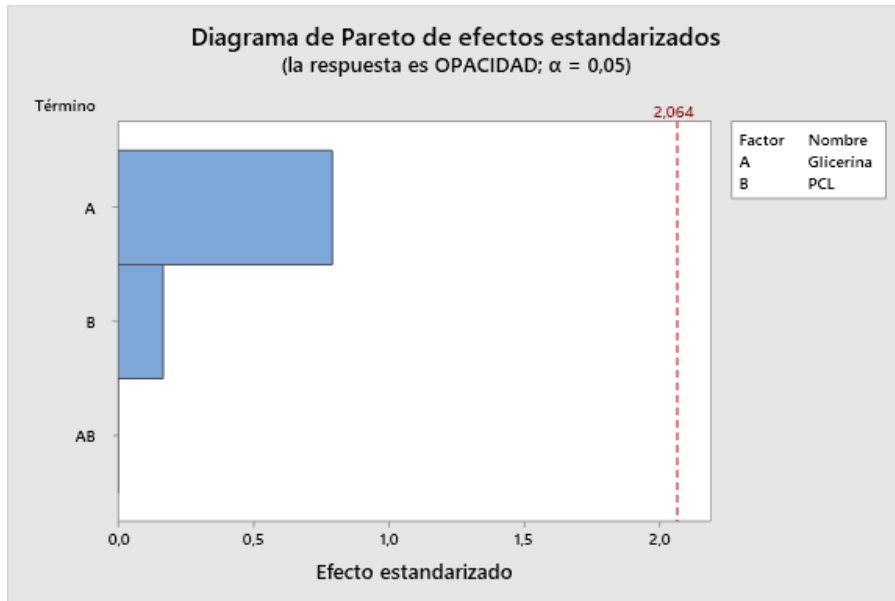


Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

Opacidad

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la opacidad de la película. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados del análisis con espectrofotómetro obtenidos en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 13 se observa que ninguno de los factores excede la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que ningún factor afecta de manera significativa a la opacidad de la película.

Figura 13: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de la opacidad.



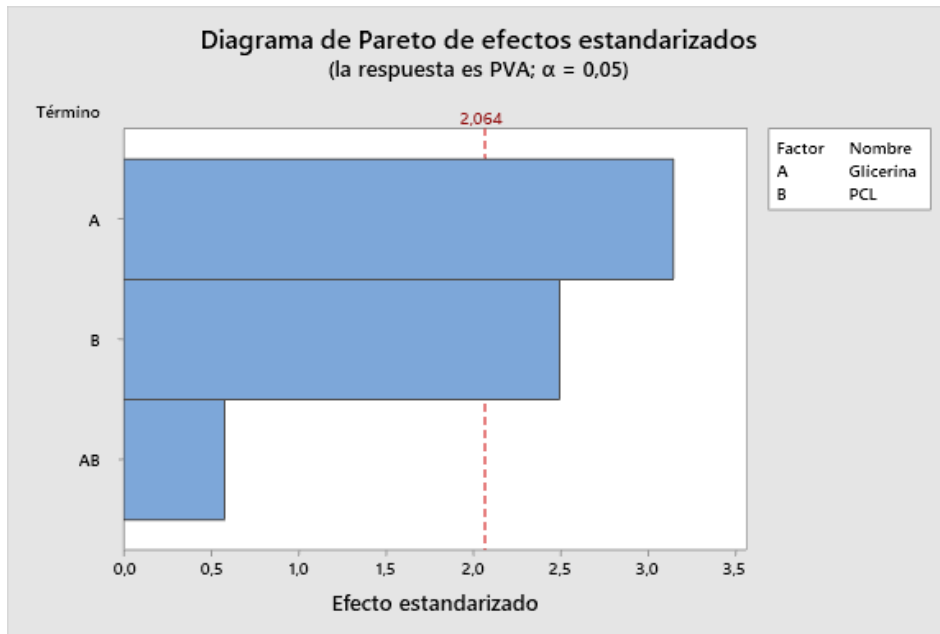
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.5. Análisis de resultados de las pruebas mecánicas de las películas biodegradables

Permeabilidad

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la permeabilidad de vapor de agua (PVA). Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados de los análisis realizados en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 14 se observa que los factores de glicerina y PCL exceden la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que solo estos 2 factores afectan de manera significativa a la PVA de la película, más no su combinación.

Figura 14: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para PVA.



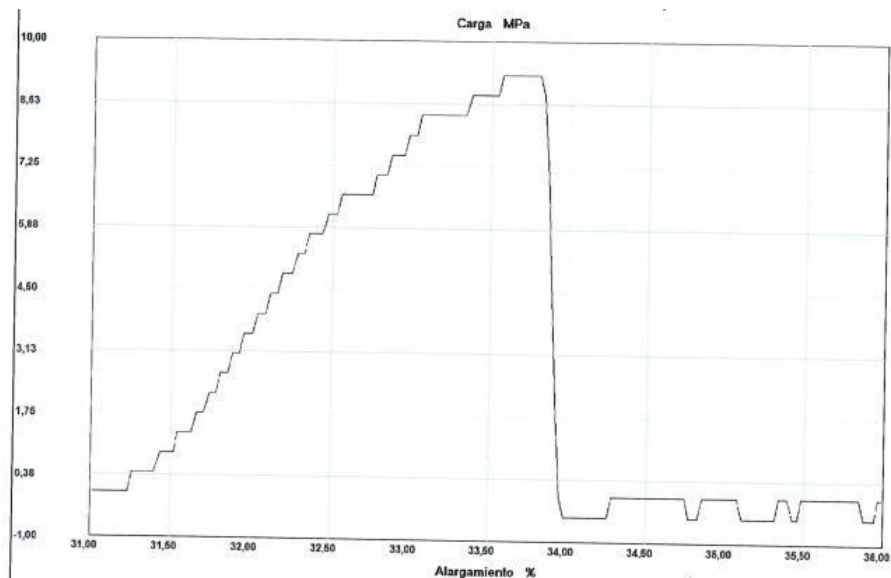
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

Tensión

Para las formulaciones F4, F8 y F12 se encontró una capacidad máxima de rotura de 7,15; 8,24; 9,26 MPa respectivamente aplicándose una Fuerza máxima a cada una de las probetas de 42N. Datos que coinciden con (Granda & Ramos, 2019).

La figura 15 muestra la mayor respuesta a la tensión dentro de las formulaciones evaluadas coincidiendo con la mayor cantidad de PCL aplicada a la película; donde la Máxima fue de 9,26 MPa y 34% de alargamiento respectivamente.

Figura 15: Prueba de tensión de la película biodegradable.



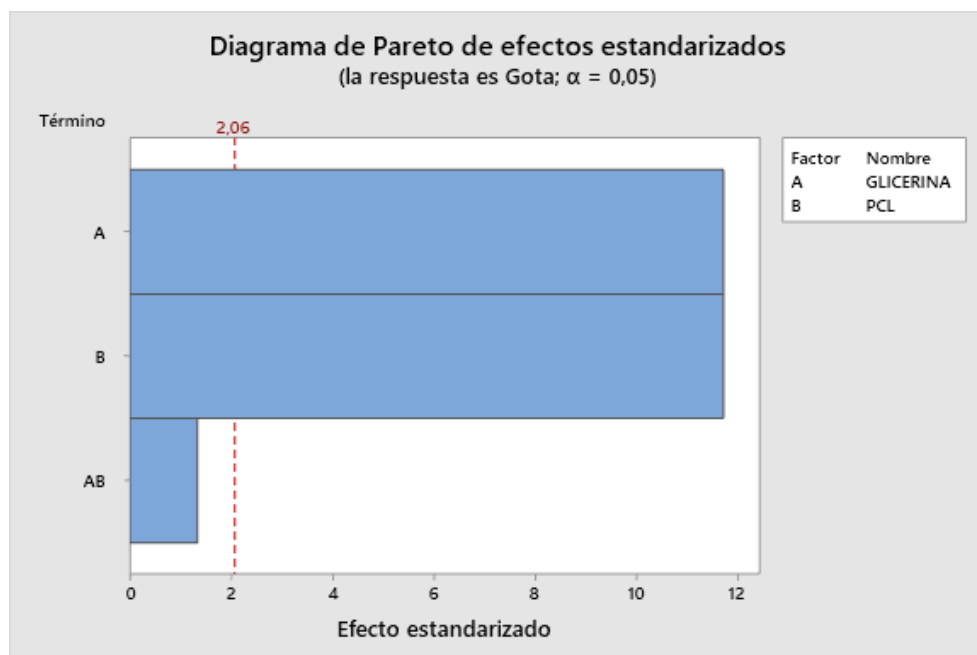
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.6. Análisis de resultados de las pruebas funcionales de las películas biodegradables

Prueba de la gota de agua

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la hidrofobicidad a partir de la prueba de la gota de agua. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados de los análisis realizados en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 16 se observa que los factores de glicerina y PCL exceden la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que solo estos 2 factores afectan de manera significativa a la hidrofobicidad de la película, más no su combinación.

Figura 16: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la prueba de la gota de agua

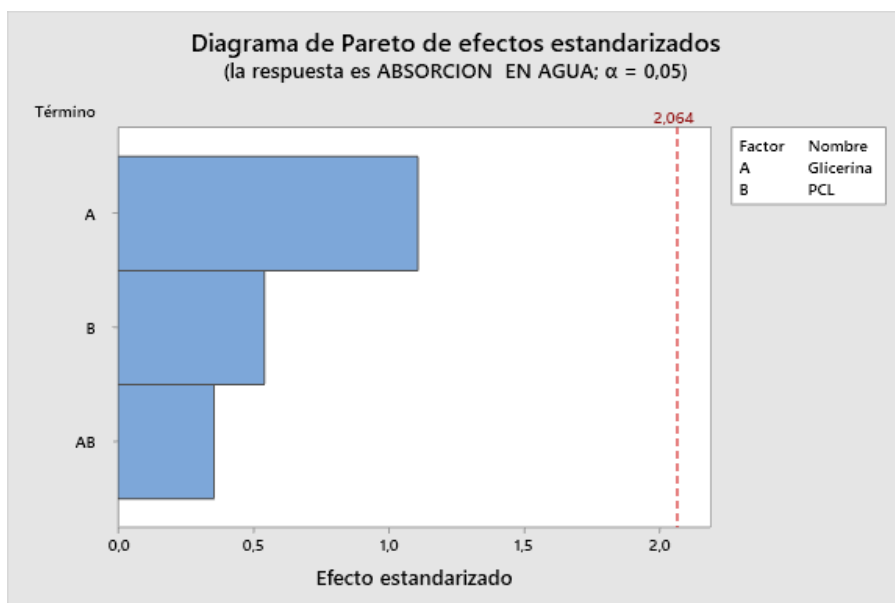


Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

Prueba de absorción de agua

Para determinar estadísticamente los factores que tienen un efecto significativo en la absorción de agua. Se elaboró un diagrama de Pareto de efectos estandarizados, tomando un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$), como variable de respuesta los resultados de análisis realizados en el laboratorio, y como factores a estudiar la glicerina (A), PCL (B), y la combinación de ambos (AB). En la Figura 16 se observa que ninguno de los factores excede la línea de significancia, lo cual indica estadísticamente que ningún factor afecta de manera significativa a la absorción de agua de la película.

Figura 17: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para Absorción en agua.



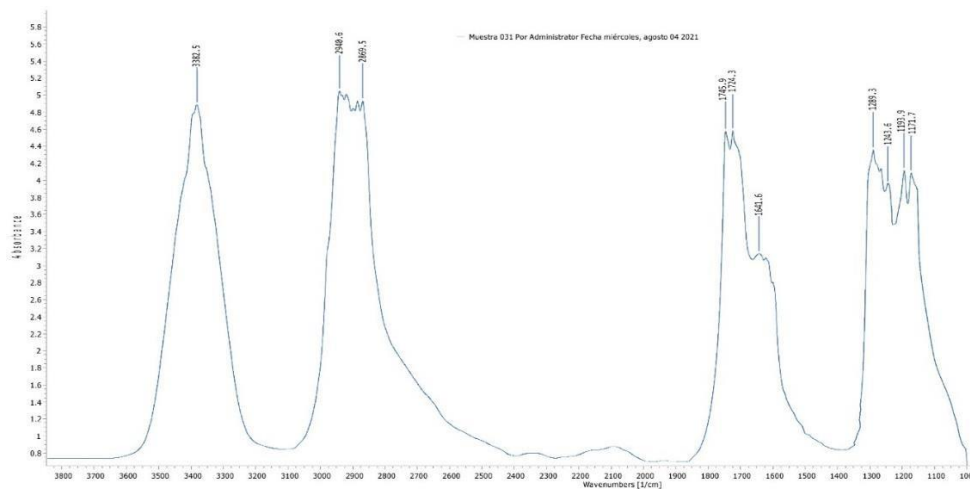
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.7. Análisis de resultados de las pruebas ópticas de las película biodegradable

Análisis de espectroscopia infrarroja

La caracterización FTIR de la película biodegradable mostros espectros correspondientes al almidón-celulosa, PCL y cloroformo que presentan cierta similitud con (Elzein, Nasser, Delaite, Bistac, & Dumas, 2003), (Nishida, Shigeto, Yabumoto, & Hamaguchi, 2012). En la posición $2940,6\text{cm}^{-1}$ presenta un estiramiento asimétrico del CH_2 ; en la banda $2869,5\text{ cm}^{-1}$ existe un estiramiento simétrico del CH_2 . En la posición $1745,9\text{cm}^{-1}$ está presente el cloroformo, a lado de esta banda está ubicada la $1724,3\text{ cm}^{-1}$ donde muestra un estiramiento carbonílico propio del almidón-celulosa, así como en la posición $1243,6\text{ cm}^{-1}$ un enlace C-O y C-C en la fase cristalina y $1193,0\text{ cm}^{-1}$ un estiramiento asimétrico de COC en la posición $1193,0\text{ cm}^{-1}$ y un estiramiento OC-C en el pico $1170,0\text{ cm}^{-1}$. Adicional a esto, se observó un pico de $3382,5\text{ cm}^{-1}$ que corresponde a una tensión ejercida por un grupo hidroxilo y $1641,1\text{ cm}^{-1}$ y en la posición $1641,1\text{ cm}^{-1}$ que concierne a agua retenida en el proceso de obtención del almidón-celulosa.

Figura 18: Análisis FTIR de la película biodegradable.

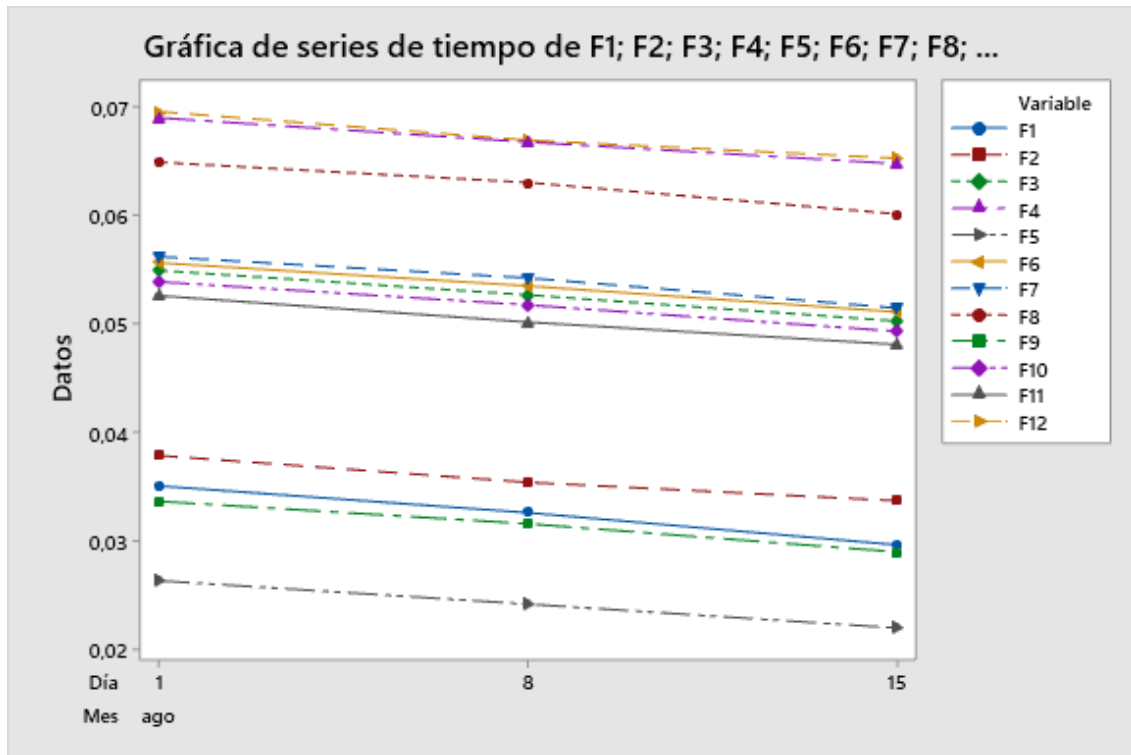


Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

4.8. Análisis de resultados de las pruebas biodegradables de las películas biodegradables

En la figura 18 se observa la gráfica que relaciona el peso en gramos que tuvieron las 12 formulaciones en un periodo de 15 días. Se evidencia que existe una tendencia de degradación ya que pierde peso a medida que pasa el tiempo. Tomando en cuenta estos resultados, podemos suponer que la biodegradación continuará hasta llegar al punto de una descomposición completa de las películas.

Figura 19: Análisis de degradación de la película biodegradable.



Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

✓ Debido a la gran cantidad de residuos de plátano generadas en Ecuador, se propuso un método para la extracción del almidón-celulosa como lo es la hidrólisis básica y adicional, calcular su porcentaje de celulosa, humedad y el rendimiento siendo 31,46; 95,18 y 41,65% respectivamente lo que da apertura a la elaboración de biopolímeros a partir de residuos no aprovechados y por ende convirtiéndose en una atrayente alternativa en la elaboración de bioplásticos.

✓ En cuanto a las propiedades físicas, se cumplió con el espesor requerido por la norma NTE INEN 2636:2012 para considerarse película biodegradable y la solubilidad mostró efectos significativos en cada uno de sus factores. En las pruebas mecánicas, la PVA mostró un nivel de significancia en sus dos factores pero no en la combinación de ambos y la mejor tensión fue en la formulación 12 con 9,26 MPa. En las pruebas ópticas, la opacidad no reveló diferencias significativas en cada uno de los factores y en el análisis FTIR se observó la presencia de PCL, cloroformo y almidón-celulosa en los picos 1289; 1724,3 y 1745 cm^{-1} respectivamente. En las pruebas funcionales, la prueba de la gota de agua mostró un nivel de significancia en sus dos factores pero no en la combinación de ambos y la absorción de agua no refleja muestras significativas en cuanto a sus factores; y cuanto a su degradación se reflejó una pérdida de peso progresiva en un lapso de 15 días.

✓ La mejor formulación dependerá de la aplicación a darse. En el caso de fundas plásticas conviene utilizar las formulaciones que más cantidad de PCL posean como lo son F4, F8

y F12 porque se comprobó un incremento significativo en alguna de sus propiedades mecánicas, funcionales y físicas.

RECOMENDACIONES

- ✓ En nuestro país, existe gran cantidad de residuos agrícolas, por lo que sería conveniente que se investigue sobre la mezcla de otros biopolímeros dosificándolo con PCL.
- ✓ Proponer más formulaciones en las que se modifique cantidades de PCL para brindarle otros posibles usos como recubrimientos u otros posibles materiales de empaques.
- ✓ Los laboratorios deberían de tener un mantenimiento programado para cada uno de los equipos existentes, puesto que algunos de ellos no se encuentran en óptimas condiciones.
- ✓ Para las pruebas de tensión se estimaron costos, seleccionando las muestras que contenían la mayor cantidad de PCL para proponer un resultado confiable por lo que se recomienda investigar a profundidad sobre la tensión que podrían generar las otras formulaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, F., & Hidalgo, D. (2021). OBTENCIÓN DE PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE COLÁGENO (*Gallus gallus domesticus*) y ALMIDÓN (*Musa Balbisiana*) PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS. *OBTENCIÓN DE PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE COLÁGENO (Gallus gallus domesticus) y ALMIDÓN (Musa Balbisiana) PARA EL RECUBRIMIENTO DE FRUTAS*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Amaya, J. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, pp 43-51.
Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3090/309058491012/html/index.html>
- Amaya, J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Rev. Colomb. Quim.*, pp. 43-51.
doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Revista Chilena de Nutrición*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182016000400009>
- Anchundia, K., Santacruz, S., & Coloma, J. (2016). Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa Paradisiaca*). *Rev Chil Nut*.
Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v43n4/art09.pdf>
- Arcentales, C., & Arcentales, G. (2010). ANALISIS DE EFECTOS TOXICOS QUE PRODUCEN EN LA SALUD DEL SER HUMANO, LOS EMPAQUES

FLEXIBLES IMPRESOS CON TINTAS DE POLIAMIDAS Y NITROCELULOSA UTILIZADOS PARA EMPACAR PRODUCTOS ALIMENTICIOS E IMPACTO EN LA GESTION COMPETITIVA DE LAS INDUSTRIAS DEL SECTOR. *ANALISIS DE EFECTOS TOXICOS QUE PRODUCEN EN LA SALUD DEL SER HUMANO, LOS EMPAQUES FLEXIBLES IMPRESOS CON TINTAS DE POLIAMIDAS Y NITROCELULOSA UTILIZADOS PARA EMPACAR PRODUCTOS ALIMENTICIOS E IMPACTO EN LA GESTION COMPETITIVA DE LAS INDUSTRIAS DEL SECTOR.* Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2774/7/UPS-GT000109.pdf>

ATSDR. (s.f.). *astdr.cdc.gov*. Obtenido de *astdr.cdc.gov*:

https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs6.html

Averous, L., Moro, L., Dole, P., & Fringant, C. (2013). Properties of thermoplastic blends: starch–polycaprolactone. *Plastics Design Library*, 109-128.

doi:<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00006-9>

Báez, J. (2006). Poli (ε-caprolactona), un polímero degradable: síntesis por triisopropóxido de aluminio Al(OiPr)₃ como iniciador. *Educ. Quím .*, pp. 458-463.

doi:<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.4.66028>.

Betancourt, C., De Mello, R., Castellanos, L., & Silva, C. (2016). Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo. *Cultivos Tropicales*, 7-14.

doi:<https://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4329.2403>

Bustamante, R., & Peralta, M. (2018). CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA. *CARACTERIZACIÓN DE BIOPOLÍMERO OBTENIDO A PARTIR DE LECHE DE VACA Y ALMIDÓN DE YUCA*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/28021/1/TESIS%20EDUARDO%20BUSTAMANTE%20Y%20BETHSABE%20PERALTA.pdf>

Calvillo, U. (2012). "SISTEMATIZACIÓN CUALITATIVA DE LAS RELACIONES ESTRUCTURA PROPIEDADES Y CONDICIONES DE PROCESAMIENTO EN MATERIALES POLIMÉRICOS". *"SISTEMATIZACIÓN CUALITATIVA DE LAS RELACIONES ESTRUCTURA PROPIEDADES Y CONDICIONES DE PROCESAMIENTO EN MATERIALES POLIMÉRICOS"*. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA, Saltillo, Coahuila. Obtenido de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/440/1/Ubaldo%20Mateo%20Calvillo%20Cerde.pdf>

Cárdenas, M. (2018). EXTRACCIÓN DE ALMIDON A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO. *EXTRACCIÓN DE ALMIDON A PARTIR DE RESIDUOS DE BANANO (MUSA PARADISIACA) PARA LA ELABORACIÓN DE UN BIOPOLÍMERO*. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16241/1/UPS-CT007893.pdf>

Carothers, W. (1929). STUDIES ON POLYMERIZATION AND RING FORMATION. *THE EXPERIMENTAL STATION OF E. I. DU PONT DE NEMOURS AND*

COMPANY, 2548-2559. Obtenido de

<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01383a041>

Carrera, M., Romero, A., Villegas, M., Parentis, M., & Gonzo, E. (s.f.). OBTENCIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE DU NOUY Y EL MÉTODO DE LA GOTA PENDIENTE. *OBTENCIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE DU NOUY Y EL MÉTODO DE LA GOTA PENDIENTE*. Instituto de Investigaciones para la Industria Química - INIQUI – CONICET, Argentina. Obtenido de

http://www.aaiq.org.ar/SCongresos/docs/04_025/papers/08a/08a_1469_611.pdf

Castillo, R. E. (2015). Bioplástico a base de la cáscara de plátano. *REVISTA DE INICIACION CIENTIFICA, JOURNAL OF UNDERGRADUATE RESEARCH*. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346>

Chapuel, Y., & Reyes, X. (2019). OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS ALMIDONES DE SEMILLA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill) Y BANANO (*Musa acuminata* AAA) PARA EL RECUBRIMIENTO DE PAPAYA. *OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR DE LOS ALMIDONES DE SEMILLA DE AGUACATE (Persea americana Mill) Y BANANO (Musa acuminata AAA) PARA EL RECUBRIMIENTO DE PAPAYA*. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, GUAYAQUIL.

Charro, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. Universidad

Central del Ecuador, Quito. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

Chávez, Á., & Rodríguez, A. (30 de Junio de 2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia & Virtualidad*, 9(2), 66. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>

Collazo, S., & et, a. (2013). FILMS BIODEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y POLICAPROLACTONA: EFECTO DEL ÁCIDO CÍTRICO COMO AGENTE DE ENTRECRUZAMIENTO. *FILMS BIODEGRADABLES A BASE DE ALMIDÓN DE MAÍZ Y POLICAPROLACTONA: EFECTO DEL ÁCIDO CÍTRICO COMO AGENTE DE ENTRECRUZAMIENTO*. Departamento Tecnología de Alimentos-Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera, s/n 46022, Valencia, Spain, Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/TFM%20Sofia%20Collazo.pdf;sequence=1>

Contreras, J., & al., e. (2013). MEJORAS DE LAS PROPIEDADES DE FILMS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN POR MEZCLA CON POLICAPROLACTONA (PCL). *MEJORAS DE LAS PROPIEDADES DE FILMS BIODEGRADABLES A PARTIR DE ALMIDÓN POR MEZCLA CON POLICAPROLACTONA (PCL)*. Universidad Politécnica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33913/Tesina%20Jessica%20final.pdf;jsessionid=F5E12E0CC0631041F7B9B9D231DDF20B?sequence=1>

- Contreras, Q. (2010). ESPECTROSCOPIA ATR-FTIR DE CELULOSA: ASPECTO INSTRUMENTAL Y TRATAMIENTO MATEMÁTICO DE ESPECTROS. *e-Gnosis [online]*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/730/73013006008.pdf>
- Cristán, A., Ize, I., & Arturo., G. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 67-82. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906905.pdf>
- de Almeida, A., Ruiz, J., López, N., & Pettinari, J. (2004). Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Revista Química Viva*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/863/86330305.pdf>
- De Campos, A., Teodoro, K., Marconcini, J., Mattoso, L., & Martins, S. (2011). Efecto del tratamiento de fibras sobre las propiedades del biocompuesto termoplástico de almidón / policaprolactona / sisal. *Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico/policaprolactona/sisal*. Laboratorio Nacional de Nanotecnología para Agronegocios, Embrapa - São Carlos, Brasil. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/po/a/47Z49dVxKqJTwXDSxsFbjHM/?lang=pt>
- Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J., & Voilley, A. (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 299-313. doi:10.1080/10408699891274219.
- EcuRed, c. (13 de Agosto de 2019). *Glicerol*. Obtenido de Glicerol: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Glicerol&oldid=3503640>
- EcuRed, c. (23 de Febrero de 2021). *EcuRed*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/index.php?title=Pl%C3%A1tano&oldid=3873878>

- EcuRed, contributors. (22 de Mayo de 2019). *EcuRed Web site*. Obtenido de EcuRed Web site: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Triclorometano&oldid=3376035>
- Elzein, T., Nasser, M., Delaite, C., Bistac, S., & Dumas, P. (2003). FTIR study of polycaprolactone chain organization at interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 381–387. doi:doi:10.1016/j.jcis.2004.02.001
- Embuscado, M., & Huber, K. (2009). Edible Films and Coating for Food Applications. En M. Embuscado, & K. Huber, *Edible Films and Coating for Food Applications* (pág. 106). New York: Springer Dordrecht Heidelberg London New York. doi:10.1007/978-0-387-92824-1
- Flory, P. (1953). Principles of polymers chemistry. *New York: Cornell University Press*. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/principlesof-polymer-chemistry/oclc/542497>
- García Calopiña, L. F., García Coronado, A. C., Olaya Castillo, P. C., Rosas Namuche, G. P., & Vignolo Urbina, D. N. (s.f.). Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz. *Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz*. Universidad de Piura , Piura.
- García, A. (2015). OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ. *OBTENCIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DE ALMIDÓN DE MAÍZ*. ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA – FEPADE , Santa Tecla. Obtenido de <http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2436/4/05%20Obtenci%20de%20un%20pol%20admero%20biodegradable-convertido.pdf>

- González, Sotelo, & Gutierrez. (2016). PELÍCULAS DE ALMIDÓN DE PAPA OBTENIDAS POR CASTING Y EXTRUSION REFORZADAS CON MONTMORILLONITA DE SODIO MODIFICADA. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 627-632. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/8/110.pdf>
- Granda, J., & Ramos, Y. (2019). “ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEFORMACIÓN DE BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE SOLANUM TUBEROSUM A DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE”. “*ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DEFORMACIÓN DE BIOPLÁSTICOS OBTENIDOS A PARTIR DE ALMIDÓN DE SOLANUM TUBEROSUM A DIFERENTES PORCENTAJES DE PLASTIFICANTE*”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13393/GRANDA%20S%C3%81NCHEZ%2C%20Jorge%20Jeyson%3B%20RAMOS%20CONTRERAS%2C%20Yenny%20Merly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrero, A., Aguado, P., Sánchez, J., & Curt, M. (2016). Los residuos del cultivo de plátano en Ecuador podrían cubrir el 10% de su demanda de bioetanol. *Revista Técnica de Medio Ambiente RETEMA*, 2.
- Guerrón, M. (2016). EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL HONGO *Ganoderma australe*. *EVALUACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE UN BIOPOLIMERO A PARTIR DEL HONGO Ganoderma australe*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL

ECUADOR, Quito. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6860/1/T-UCE-0017-0017-2016.pdf>

Hamlet, P., & al, e. (2018). 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, PERÚ. *Elaboración de Bioplástico a partir de la Cáscara de Plátano*. Universidad de Piura, Perú.

Hermida, É. (2011). Polímeros . *Polímeros* . Argentina . Obtenido de

http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

Hernández, M., & Guzmán, B. (2009). BIOPOLÍMEROS EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE ENVASES PARA ALIMENTOS. *Revista Publicaciones e investigación*, 103-130. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/572/1324>

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 718-726. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/cta/a/BFmq3pZQMP33pwHsyNJk9Yf/?format=pdf&lang=es>

Hidalgo, S. (2012). “Caracterización de Actividad de Promotores de Banano e Interacción Musa spp.- Mycosphaerella fijiensis”. “*Caracterización de Actividad de Promotores de Banano e Interacción Musa spp.- Mycosphaerella fijiensis*”.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil. Obtenido de
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31149>

Huayamave, S. (2007). “Determinación y Evaluación de Plaguicidas Residuales en Banano Ecuatoriano de Consumo en la Ciudad de Guayaquil en el Marco de Seguridad Alimentaria”. *“Determinación y Evaluación de Plaguicidas Residuales en Banano Ecuatoriano de Consumo en la Ciudad de Guayaquil en el Marco de Seguridad Alimentaria”*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil. Obtenido de
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13431/3/HUAYAMAVE%20CORREA.pdf>

Huserman, D. (2017). “PRODUCCIÓN DE POLICAPROLACTONA A PARTIR DE UNA REACCIÓN BIOCATALIZADA EN UN MEDIO CON CO₂ SUPERCRÍTICO”. *“PRODUCCIÓN DE POLICAPROLACTONA A PARTIR DE UNA REACCIÓN BIOCATALIZADA EN UN MEDIO CON CO₂ SUPERCRÍTICO”*. UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA, Santiago-Chile. Obtenido de
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40995/3560902038575UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Iguardia, C. (2013). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (*Musa sapientum* variedad Cavendish). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE BANANO VERDE (Musa sapientum variedad Cavendish)*. UNIVERSIDAD DE

SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala. Obtenido de

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3523.pdf

Jiménez, A., Hernández, K., Collahuazo, Y., Aviles, R., Pino, J., & García, M. (2019).

PELÍCULA COMESTIBLE A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO MACHO

(MUSA PARADISIACA L.). *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 49-57. Obtenido

de <https://www.revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/76/64>

Joaqui, D., & Villada, H. (2013). PROPIEDADES ÓPTICAS Y PERMEABILIDAD.

Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria, 59-68. Obtenido de

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>

Khatiwala, V., Shekhar, N., Aggarwal, S., & Mandal, U. (2008). Biodegradation of Poly(ϵ -caprolactone) (PCL) Film by *Alcaligenes faecalis*. *J Polym Environ*, 16:61–67.

doi:DOI 10.1007/s10924-008-0104-9

Kwok, D., & Neumann, A. (1999). Contact angle measurement and contact angle

interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science.*, 167-249. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001868698000876>

Kwok, D., & Neumann, A. (2000). Contact angle interpretation in terms of solid surface

tension. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 31-48.

doi:[https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(99\)00323-4](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(99)00323-4)

Landires, D., & Márquez, G. (s.f.). “Análisis del Contenido Amilosa - Amilopectina en seis variedades de Arroz Ecuatoriano”. “*Análisis del Contenido Amilosa - Amilopectina en seis variedades de Arroz Ecuatoriano*”. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA

DEL LITORAL, Guayaquil. Obtenido de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/30883/1/D-79775.pdf>

Martínez, E., Criollo, J., Silverio, C., & Díaz, R. (2017). Pruebas de cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo - almidón de banano. *Revista Cumbres* Vol.4 N°1, 09-16.

Martínez, G. (1983). Polímeros. *Revista ciencias UNAM*, 18-24. Obtenido de

<https://www.revistacienciasunam.com/es/139-revistas/revista-ciencias-4/1083-pol%C3%ADmeros.html>

Méndez, Á. (2012 de Mayo de 2012). *La Guía*. Obtenido de El almidón y su química:

<https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/el-almidon-y-su-quimica>

Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA.

Revista EIA. Obtenido de

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372007000200006

Merchán, J., & Tigre, J. (2019). “OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A

BASE DE KOMBUCHA POR SUSTITUCIÓN DE TÉ NEGRO POR TÉ DE

CÁSCARA DE CAFÉ. “OBTENCIÓN DE CELULOSA BACTERIANA A BASE DE

KOMBUCHA POR SUSTITUCIÓN DE TÉ NEGRO POR TÉ DE CÁSCARA DE

CAFÉ. UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil. Obtenido de

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/45570/1/BINGQ-IQ-19P50.pdf>

Montoya, J., Dumar, Q., & Lucas, J. (2013). Caracterización de harina y almidón de frutos de banano Gros Michel (*Musa acuminata* AAA). *Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agroindustriales, Universidad del Quindío, Colombia.*, 11-21.

doi:<http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n1.38814>

Morales, K. (2014). ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ANDAMIOS DE POLICAPROLACTONA Y SU MODELAMIENTO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS. *ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ANDAMIOS DE POLICAPROLACTONA Y SU MODELAMIENTO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yucatán.

Obtenido de

https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1228/1/PCM_M_Tesis_2014_Morales_Sharleen.pdf

Morales, M. (2011). “GENERALIDADES Y APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CADENA HORTOFRUTÍCOLA”.

“GENERALIDADES Y APLICACIÓN DE PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CADENA HORTOFRUTÍCOLA”. UNIVERSIDAD

AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”, Buenavista, Saltillo Coahuila,

México. Obtenido de

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/474/61786s.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Moreno, G. (2015). “UTILIZACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*Musa balbisiana*), EN EL DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES ACTIVAS”.

*“UTILIZACIÓN DE HARINA DE PLÁTANO (*Musa balbisiana*), EN EL*

DESARROLLO DE PELÍCULAS BIODEGRADABLES ACTIVAS”.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO, Ambato. Obtenido de

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/11979/1/AL%20572.pdf>

Nadal, R., Manzo, G., Orozco, J., & Guzmán, S. (2008). Diversidad genética de bananos y plátanos (*Musa spp.*) determinada mediante marcadores RAPD. *Revista fitotecnia*

mexicana. Obtenido de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001)

[73802009000100001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802009000100001)

Navarro, A. (2018). DESARROLLO DE PELÍCULAS BICAPA A BASE DE ALMIDÓN

TERMOPLASTICO (TPS) Y POLIMEROS HIDROFÓBICOS CON SORBATO

DE POTASIO COMO AGENTE INTERFACIAL. *DESARROLLO DE*

PELÍCULAS BICAPA A BASE DE ALMIDÓN TERMOPLASTICO (TPS) Y

POLIMEROS HIDROFÓBICOS CON SORBATO DE POTASIO COMO AGENTE

INTERFACIAL. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá D.C. Obtenido

de

[https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/4132/EST](https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/4132/ESTUDIO%20DE%20PEL%C3%8DCULAS%20BICAPA%20CON%20ADHERENT)

[UDIO%20DE%20PEL%C3%8DCULAS%20BICAPA%20CON%20ADHERENT](https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/4132/ESTUDIO%20DE%20PEL%C3%8DCULAS%20BICAPA%20CON%20ADHERENT)

[E.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/4132/ESTUDIO%20DE%20PEL%C3%8DCULAS%20BICAPA%20CON%20ADHERENT)

Nicholson, J. (2006). *Química.es*. Obtenido de *Química.es*:

quimica.es/enciclopedia/Polímero.html

Nishida, J., Shigeto, S., Yabumoto, S., & Hamaguchi, H. (2012). Acoplamiento

anarmónico de las vibraciones de CH-stretch y CH-bend del cloroformo según lo

estudiado por espectroscopia de electroabsorción de infrarrojo cercano. *La Revista de Física Química*, 137. doi:DOI: 10.1063 / 1.4770264

NTE INEN, 2. (04 de Octubre de 2012). TERMINOLOGÍA RELATIVA A PLÁSTICOS BIODEGRADABLES. *INEN*. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2636.pdf>

Núñez, A. (2014). OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL COLÁGENO DE LAS PATAS DE POLLO. *OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DEL COLÁGENO DE LAS PATAS DE POLLO*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2879/1/T-UCE-0017-90.pdf>

Orellana, K. (2018). “ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO”. “*ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PCL (Policaprolactona) DOSIFICADO CON LA LIGNINA EXTRAÍDA DE LA FIBRA DE BANANO*”. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15179/4/UPS-CT007497.pdf>

Oropeza, R., Montes, A., & Padrón, C. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 065-093. Obtenido de <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495587302.pdf>

Ortega, C., & Aparicio, X. (2020). Quitosano: una alternativa sustentable para el empaque de alimentos. *Revista Digital Universitaria*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/346288567_Quitosano_una_alternativa_sustentable_para_el_empaque_de_alimentos/fulltext/60713ac492851c8a7bb71ea2/Quitosano-una-alternativa-sustentable-para-el-empaque-de-alimentos.pdf

Pacheco, C. (2002). Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales. *Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales*. UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI, Tarragona.

Ponce, R. (2015). ELABORACIÓN DE PLACAS RÍGIDAS BIODegradables, POR MOLDEO EN PRENSA, A PARTIR DE CORTEZAS DE PALMITO (BACTRIS GASIPAES), CON ALMIDÓN ACETILADO DE YUCA (Manihotesculenta) IMPREGNADO. *ELABORACIÓN DE PLACAS RÍGIDAS BIODegradables, POR MOLDEO EN PRENSA, A PARTIR DE CORTEZAS DE PALMITO (BACTRIS GASIPAES), CON ALMIDÓN ACETILADO DE YUCA (Manihotesculenta) IMPREGNADO*. Escuela Politécnica Nacional, Quito DM. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11956/1/CD-6603.pdf>

Pozo, L. (2019). “Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (Musa paradisiaca) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco”. *“Extracción y caracterización del almidón de plátano verde (Musa paradisiaca) producido en el sector Untal, parroquia El Chical, y su potencial uso como aditivo en la elaboración de pan blanco”*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI, Tulcán. Obtenido de <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/869/1/001%20Extracci%c3%b3>

n%20y%20caracterizaci%3%b3n%20del%20almid%3%b3n%20de%20pl%3%a
1tano.pdf

Puello, B., & Zabaleta, L. (2014). OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA
BIODEGRADABLE A PARTIR DEL OLOTE DE MAÍZ PARA SER
UTILIZADA COMO EMPAQUE DE ALIMENTOS, A ESCALA
LABORATORIO, EN LA UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
CARTAGENA. *OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA BIODEGRADABLE A PARTIR
DEL OLOTE DE MAÍZ PARA SER UTILIZADA COMO EMPAQUE DE
ALIMENTOS, A ESCALA LABORATORIO, EN LA UNIVERSIDAD DE SAN
BUENAVENTURA CARTAGENA*. UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
SECCIONAL CARTAGENA, CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C. Obtenido de
http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2620/1/Obtenci%C3%B3n%20de%20una%20pel%C3%ADcula%20biodegradable_Brenda%20Puello_USBCTG_2014.pdf

Puentes, M. (2020). *PROPIEDADES, MÉTODOS DE SÍNTESIS Y APLICACIONES DE LA
POLICAPROLACTONA*. Universidad de los Andes, Colombia . Obtenido de
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/48915/u833567.pdf?sequence=1>

Quiñones, I. J. (2009). Technological Surveillance applied to identify the technological
trends in biopolymers and degradables plastics . *Revista Informador Técnico* , 53-
65.

- Rodríguez, e. a. (2011). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA A PARTIR DEL PSEUDOTALLO DE PLÁTANO MUSA PARADISIACA (SP). *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 317-323.
- Rojas, M., Vallejo, B., & Perilla, J. (2008). Los biopolímeros como materiales para el desarrollo de productos en aplicaciones farmacéuticas y de uso biomédico. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 57-71. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/643/64328108.pdf>
- Rubiano, J., Pérez, M., Barrera, O., Orozco, W., Quesada, F., Diaz, M., & Gaviria, L. (2011). Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades. *Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades*. Universidad Antonio Nariño, Colombia. Obtenido de <http://186.28.225.70/index.php/ingeuan/article/view/219/180>
- Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 5-28.
- Sacón, K. (2020). Análisis del Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) a las fundas plásticas como una imposición regulatoria. *Análisis del Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) a las fundas plásticas como una imposición regulatoria*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31737>
- Saharman, G., Monti, S., Sri, R., Marpongahtun, Yasir, A., & Averroes, F. (14 de December de 2018). The analysis of thermal and mechanical properties of

biocomposite polycaprolactone/cellulose nanofiber from oil pal empty fruit bunches.

AIP CONFERENCE PROCEEDINGS. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5082468>

Santander, K. (2018). “INTRODUCCIÓN DE UN HIDROLIZADO LÍQUIDO DE GALLINAZA COMO FERTILIZANTE EDÁFICO Y ESTIMULADOR DEL CRECIMIENTO RADICULAR”. *“INTRODUCCIÓN DE UN HIDROLIZADO LÍQUIDO DE GALLINAZA COMO FERTILIZANTE EDÁFICO Y ESTIMULADOR DEL CRECIMIENTO RADICULAR”*. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, Lima. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3549/santander-hidalgo-candia-kharolyn-elizabeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santiago, L. (2005). VALOR NUTRITIVO DE HARINA DE BANANO VERDE. *VALOR NUTRITIVO DE HARINA DE BANANO VERDE*. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA, Guatemala. Obtenido de http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2337.pdf

Santiago, M. (2015). Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado. *Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado*. Universidad Veracruzana, Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46809/SantiagoSantiagoMaricela.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Sanz, A. (2020). *Química Orgánica Industrial*. Obtenido de Química Orgánica Industrial:

<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>

Solano, G., Alamilla, L., & Jiménez, C. (2020). Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*.

Obtenido de <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>

Stahl, U., & Guerrón, M. (2016). Evaluación del procedimiento de obtención de un biopolímero a partir del hongo *Ganoderma Australe*. *Trabajo de grado para la obtención del Título de Ingeniero Químico. Carrera de Ingeniería Química*.

Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6860>

Trujillo, C. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*manihot esculente crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos. *Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (manihot esculente crantz) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos*. Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú. Obtenido de <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/65>

Ubilla, J. Y. (2019). LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN EL ECUADOR PERIODO 2013-2017. *LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA PLÁSTICA EN EL ECUADOR PERIODO 2013-2017*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/41415/1/T-UBILLA%20ROJAS%20YANINA%20JESSICA.pdf>

- Vazquez, A., Santiago, M., Rivadeneyra, E., & Díaz, R. (2019). Películas comestibles a base de almidón nanoestructurado como material de barrera a la humedad. *CienciaUAT*. doi:<https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1105>
- Wang, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. (2012). Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. *LWT - Ciencia y tecnología de los alimentos*, 175-182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.12.011>
- Yavuz, H., & Babaç, C. (2003). Preparation and Biodegradation of Starch/Polycaprolactone Films. *Journal of Polymers and the Environment*, Vol. 11, No. 3. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1024635130991>
- Zapata, D., Pujol, R., & Coda, F. (2012). Biodegradable polymers: an alternative of future to the sustainability of the environment. *Técnica Industria*, 76-80. Obtenido de <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/82/889/a889.pdf>

ANEXOS 1: Acondicionamiento y extracción del almidón-celulosa de plátano verde



Figura 20: Pesado del plátano verde.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 21: Lavado del plátano verde.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 22: Molido de la cáscara de plátano verde.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 23: Extracción de la lignina de la cáscara de plátano verde
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

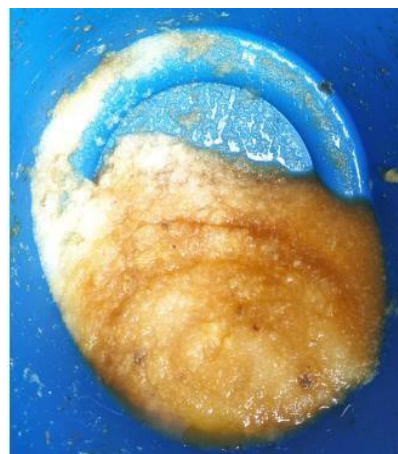


Figura 24: Primer blanqueamiento del almidón-celulosa
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 25: Almidón-celulosa de la cáscara de plátano verde.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

ANEXOS 2: Elaboración de la película biodegradable.



Figura 26: Mezcla del almidón-celulosa, glicerina y agua

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 27: Eliminación de grumos en la mezcla.

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 28: Disolución del PCL

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 29: Aplicación del PCL en las películas

Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

ANEXOS 3: Pruebas físicas, mecánicas, ópticas, funcionales y biodegradables.



Figura 30: Medición del espesor.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

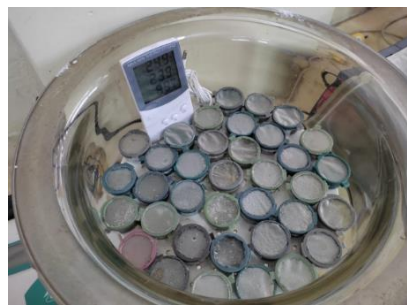


Figura 31: Prueba de permeabilidad.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

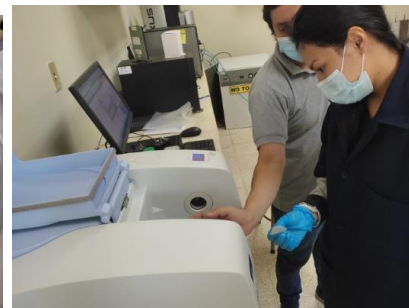


Figura 32: Análisis FTIR.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 33: Prueba de biodegradabilidad.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

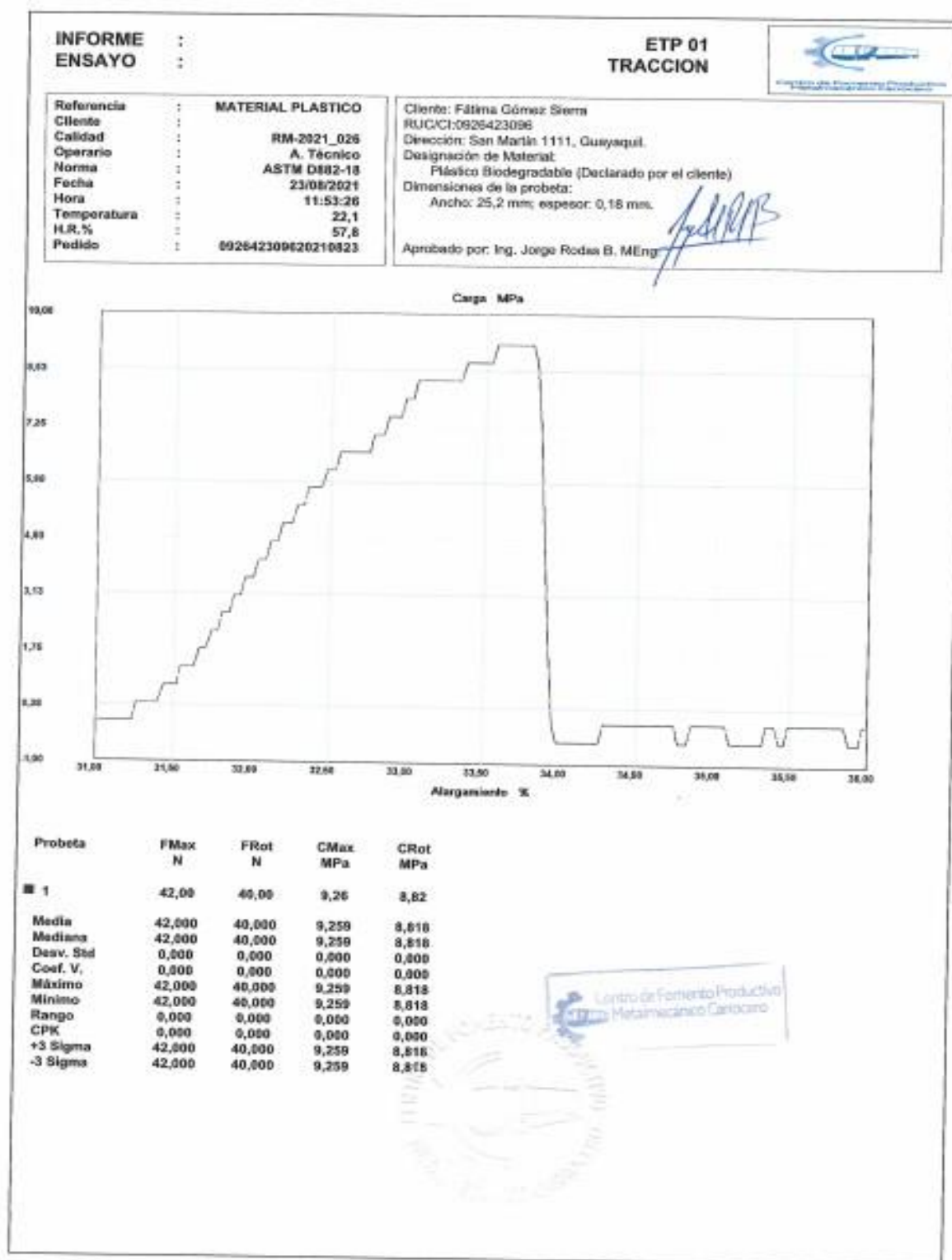


Figura 34: Prueba de solubilidad.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.



Figura 35: Prueba de opacidad.
Elaborado por: Fátima Gómez Sierra, 2021.

ANEXOS 4: Resultados de la prueba fuerza de tracción.



Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caída %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	50000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

Velocidades

Precarga	=	50,00	mm/min
Ensayo	=	50,00	mm/min
Retorno	=	200,00	mm/min
Posicionamiento	=	200,00	mm/min



ANEXOS 5: Hoja de seguridad del PCL



SAFETY DATA SHEET

Creation Date 22-Sep-2009

Revision Date 19-Jan-2018

Revision Number 3

1. Identification

Product Name Poly(caprolactone) diol, average M.N. 2000

Cat No. : AC183210000; AC183210050; AC183210025; AC183212500;
AC183215000

Synonyms No information available

Recommended Use Laboratory chemicals.

Uses advised against Food, drug, pesticide or biocidal product use.

Details of the supplier of the safety data sheet

Company

Fisher Scientific	Acros Organics
One Reagent Lane	One Reagent Lane
Fair Lawn, NJ 07410	Fair Lawn, NJ 07410
Tel: (201) 796-7100	

Emergency Telephone Number

For information **US** call: 001-800-ACROS-01 / **Europe** call: +32 14 57 52 11

Emergency Number **US**:001-201-796-7100 / **Europe**: +32 14 57 52 99

CHEMTREC Tel. No. **US**:001-800-424-9300 / **Europe**:001-703-527-3887

2. Hazard(s) identification

Classification

Classification under 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200)

This chemical is not considered hazardous by the 2012 OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200)

Label Elements

None required

Hazards not otherwise classified (HNOC)

Other hazards

May cause skin, eye, and respiratory tract irritation. May be harmful if inhaled.

ANEXOS 6: Hoja de seguridad del cloroformo.

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE



Triclorometano / Cloroformo D1 with TMS (0,03 vol.%) 99,8 Atom%D

número de artículo: 7905

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Palabra de advertencia

Peligro

Pictogramas



Indicaciones de peligro

H302	No civo en caso de ingestión
H315	Provoca irritación cutánea
H319	Provoca irritación ocular grave
H331	Tóxico en caso de inhalación
H351	Se sospecha que provoca cáncer
H361d	Se sospecha que daña al feto
H372	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas

Consejos de prudencia

Consejos de prudencia - prevención

P202	No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad.
P260	No respirar la niebla/los vapores/el aerosol.

Consejos de prudencia - respuesta

P302+P352	EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: lavar con agua y jabón abundantes.
P304+P340	EN CASO DE INHALACIÓN: transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración.
P305+P351+P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.
P308+P313	EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: consultar a un médico.

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales

Componentes peligrosos para el etiquetado: Triclorometano / Cloroformo D1

Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 ml

Palabra de advertencia: **Peligro**

Símbolo(s)



H331	Tóxico en caso de inhalación.
H351	Se sospecha que provoca cáncer.
H361d	Se sospecha que daña al feto.
H372	Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.