

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES  
DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS**

**“ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICO A PARTIR DE  
ALMIDÓN DE PLÁTANO Y COLÁGENO DE  
ESCAMAS DE PESCADO”**

**PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**GUADALUPE MARISOL SOLÓRZANO SANTOS**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. MARITZA DEL CARMEN HERNÁNDEZ CRUZ**

**CO-DIRECTORA:**

**MTRA. IRINA DEL CARMEN CAMACHO RUIZ**

**TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS.**

**NOVIEMBRE 2022**





**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
**SECRETARÍA GENERAL**  
**DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN ESCOLAR**  
**AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**

Lugar: Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.  
 Fecha: 4 de noviembre 2022

C. Guadalupe Marisol Solórzano Santos

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Ambiental

Realizado el analisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
 "Elaboración de bioplástico a partir de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado"

En la modalidad de: Tesis profesional

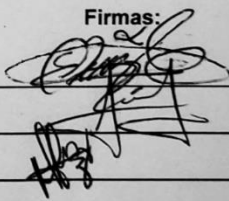
Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

**Revisores**

- Mtra. Edali Camacho Ruíz
- Dr. Roberto Horacio Albores Arzate
- Dra. Maritza del Carmen Hernández Cruz

**Firmas:**



Ccp. Expediente



## **AGRADECIMIENTOS**

Estoy enormemente agradecida con Dios quien me ha permitido llegar hasta esta etapa en mi vida. Agradezco porque ha puesto en mi camino personas maravillosas que han contribuido de manera directa e indirecta en la obtención de este sueño y en mi formación personal y profesional.

Inmensa gratitud a mis padres Marisol y Amado por haberme apoyado en todo momento para convertir mis metas en realidad, por darme todo lo que está en sus manos para poder alcanzar mis objetivos. Gracias por su amor, dedicación y enseñanzas que han dado significado esencial a los conceptos de verdadera paternidad y familia, es un orgullo y privilegio ser su hija. A esta gratitud incluyo a mi querido hermano Ángel.

Agradezco de corazón a la Mtra. Irina del Carmen Camacho Ruiz por su total apoyo e incondicional en la realización de este proyecto. Gracias por haber tenido el interés en todo momento para el desarrollo del presente trabajo, así como de sus recomendaciones e instrucciones.

Agradezco inmensamente a la Dra. Maritza del Carmen Hernández Cruz por la dirección de esta tesis, por guiarme en el proceso de este trabajo de investigación, Por su tiempo, dedicación y paciencia al compartir sus conocimientos y sabios consejos conmigo. Muchas gracias por creer en el proyecto y creer en mí. Y gracias sobre todo por sacrificar muchas veces su tiempo libre para que la tesis se pudiera realizar y dar por finalizada la investigación.

A la Dra. Rocío Meza Gordillo por abrirme la puerta de su laboratorio de Posgrado del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez y facilitarnos los equipos. Al Mtro. Amet Ovando Roblero por su valiosa ayuda, por compartir sus conocimientos y experiencias trabajando con el colágeno y su participación en la tesis. Así mismo agradezco también al Dr. Daniel Castañeda Valbuena por su valiosa colaboración en los ensayos de las pruebas mecánicas de las biopelículas y por sus oportunos comentarios.

A los sinodales Dr. Roberto Horacio Albores Arzate y Mtra. Edali Camacho Ruíz por su colaboración en la revisión de este trabajo, por sus observaciones realizadas que permitió mejorar y por su apoyo en el proceso de titulación.

Al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTIECH), por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto.

A mis familiares que estuvieron pendientes de mi culminación de mi carrera, gracias por estar ahí siempre. Por su puesto quiero dar gracias a mi mejor amiga Fernanda Molina y

amigos por apoyarme siempre, darme tantas alegrías, por sus consejos y ánimos brindados en toda esta etapa.

Sin duda, me siento afortunada por recibir su valiosa ayuda de tantas personas. Cada uno de ustedes que han contribuido en esta tesis, Gracias.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedicado a:

Dios por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar este proceso y cumplir un sueño más.

A mi padre Amado Solórzano Gómez, por ser el mejor padre que Dios pudo darme. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por los valores mostrados para salir a delante y por darme todo su amor.

A mi mamá Marisol Santos Roque, por ser la mejor madre que Dios pudo darme, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por darme todo su amor

A mi hermano Ángel David por ser el ángel que le da alegría a mi vida, por ser apoyo fundamental en mi diario vivir y por todo el cariño brindado.

# CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	11
II.	JUSTIFICACIÓN .....	12
III.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
IV.	MARCO TEÓRICO.....	15
4.1	Plástico .....	15
4.1.1	Estructura de los polímeros .....	15
4.1.2	Propiedades mecánicas .....	17
4.2	Bioplástico .....	18
4.2.1	Clasificación de bioplástico.....	18
4.2.2	Características de los bioplásticos .....	19
4.2.3	Ventajas de los bioplásticos .....	19
4.2.4	Desventajas de los bioplásticos.....	20
4.3	Plátano.....	20
4.3.1	Composición química del plátano.....	20
4.4	Almidón .....	21
4.4.1	Estructura del almidón .....	22
4.4.2	Gelatinización .....	23
4.5	Escamas de pescado.....	24
4.5.1	Composición química.....	24
4.5.2	Uso de las escamas en la industria .....	25
4.6	Colágeno .....	25
4.6.1	Estructura del colágeno .....	25
4.7	Biodegradabilidad .....	26
4.7.1	Normativa en biodegradación .....	27
4.7.1.1	Normas ISO con respecto a la degradación de plásticos 2019- 2020:.....	27
4.7.2	Factores que cambian la biodegradabilidad.....	28
4.7.3	Escala de biodegradabilidad.....	28
V.	ANTECEDENTES .....	29
VI.	OBJETIVOS.....	32
	Objetivo general.....	32

Objetivos específicos .....	32
VII. HIPÓTESIS .....	32
VIII. METODOLOGÍA.....	33
8.1    Diseño de investigación.....	33
8.2    Sitio experimental .....	33
8.3    Instrumentos .....	33
8.4    Materiales .....	34
8.5    Reactivos e instrumentos.....	36
8.6    Desarrollo de la investigación.....	36
8.7    Obtención del almidón .....	37
8.7.1    Caracterización de almidón.....	38
8.8.1    Recolección de la materia prima.....	39
8.8.2    Pretratamiento de la materia prima.....	39
8.8.2.1    Eliminación de proteínas no colágenas y pigmentos de las escamas.....	39
8.8.2.2    Eliminación de grasas .....	39
8.8.3    Extracción de colágeno en ácido.....	39
8.8.4    Caracterización del colágeno.....	40
Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR).....	40
8.9    Elaboración del bioplástico.....	40
8.10    Caracterización de las biopelículas .....	42
8.10.1    Contenido de humedad .....	42
8.10.2    Grado de solubilidad.....	42
8.10.3    Permeabilidad al vapor de agua.....	43
8.10.4    Opacidad.....	43
8.10.5    Color.....	44
8.10.6    Espectroscopia Infrarrojo (FT-IR).....	44
8.11    Propiedades mecánicas .....	44
8.12    Biodegradabilidad .....	45
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
9.1    Elaboración del bioplástico.....	46
9.2    Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT – IR).....	47
9.2.1    Espectro del almidón de plátano.....	47

9.2.2	Espectro de colágeno.....	48
9.3	Caracterización de las biopelículas .....	51
9.3.1	Contenido de humedad .....	51
9.3.2	Grado de solubilidad.....	53
9.3.3	Permeabilidad al vapor de agua .....	54
9.3.4	Opacidad.....	57
9.3.5	Color.....	58
9.4	Determinación de propiedades mecánicas.....	59
9.5	Biodegradabilidad .....	61
CONCLUSIÓN .....		64
RECOMENDACIONES.....		65
REFERENCIAS .....		66
ANEXOS .....		72
	Elaboración del bioplástico .....	72
	Prueba de humedad .....	74
	Prueba de solubilidad.....	74
	Prueba de opacidad.....	76
	Determinación de las propiedades mecánicas.....	76
	Prueba de permeabilidad al vapor de agua .....	77
	Biodegradabilidad.....	78

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estructura lineal.....	15
Ilustración 2 Estructura ramificada.....	16
Ilustración 3 Estructura entrecruzada .....	16
Ilustración 4 Estructura reticulado .....	17
Ilustración 5 Estructura de Amilosa .....	22
Ilustración 6 Estructura de Amilopectina.....	23
Ilustración 7 Gelatinización del almidón .....	24
Ilustración 8 Estructura del colágeno.....	26
Ilustración 9 Esquema del desarrollo de la investigación.....	36
Ilustración 10 Esquema de la extracción de almidón de plátano .....	37
Ilustración 11 Esquema de la extracción de colágeno de escamas de pescado.....	38
Ilustración 12. Biopelícula de almidón y colágeno .....	47
Ilustración 13. Biopelícula de almidón .....	47
Ilustración 14 Espectro IR del almidón de plátano.....	48
Ilustración 15. Espectro IR del colágeno de escamas de pescado .....	49
Ilustración 16. Comparación de espectros de la muestra de almidón y biopelícula .....	50
Ilustración 17. Espectros de las materias primas de manera individual con el de una biopelícula.....	51
Ilustración 18 Diagrama de Pareto estandarizada para humedad .....	52
Ilustración 19 Diagrama de Pareto estandarizada para solubilidad.....	54
Ilustración 20. Diagrama de Pareto para permeabilidad al vapor de agua .....	56
Ilustración 21. Diagrama de Pareto estándar para el porcentaje de elongación.....	60
Ilustración 22. Medición del almidón.....	72
Ilustración 23 Método casting .....	72
Ilustración 24 Medición del colágeno.....	72
Ilustración 25 Elaboración del bioplástico .....	72
Ilustración 26 Biopelículas después de 24 en el horno .....	73
Ilustración 27 Almacenamiento de las películas en desecador .....	73
Ilustración 28 Biopelículas antes del secado.....	73
Ilustración 29 Secado de las biopelículas en horno.....	73
Ilustración 30 Prueba de humedad .....	74



Ilustración 31 Secado de las películas cortadas .....	74
Ilustración 32 Películas cortas en cuadros de 1.4 x 1.4 cm .....	74
Ilustración 33 Toma de peso de las biopelículas después de 24 horas en el horno.....	75
Ilustración 34 Secado de las películas por 24 horas .....	75
Ilustración 35 Separación de las películas del líquido .....	75
Ilustración 36 Películas en matraces en mesa agitadora orbital .....	75
Ilustración 37 Prueba de opacidad.....	76
Ilustración 38 Espectrofotómetro UV-VIS.....	76
Ilustración 39 Texturómetro de ensayo EZ .....	76
Ilustración 40 Tiras de biopelículas para las pruebas mecánicas .....	76
Ilustración 41 Cortado de las biopelículas .....	77
Ilustración 42 Preparación de los criotubos .....	77
Ilustración 43 Películas selladas en los criotubos .....	77
Ilustración 44 Almacenamiento de los contenedores en el desecador .....	77
Ilustración 45 Evaluación de pérdida de peso después de 4 semanas .....	78
Ilustración 46 Prueba de biodegradabilidad .....	78
Ilustración 47 Colocación de las láminas .....	78
Ilustración 48 Preparación de los materiales para la prueba de biodegradabilidad .....	78

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tiempo que tarda en descomponerse un plástico y la generación que podría encontrarlo. ....	13
Tabla 2 Composición química del plátano .....	21
Tabla 3 Composición química de las escamas, piel y espinas de pescado .....	25
Tabla 4 Escala de biodegradabilidad de los polímeros .....	28
Tabla 5 Equipos e instrumentos utilizados.....	34
Tabla 6 Materiales utilizados.....	35
Tabla 7 Reactivos e insumos utilizados.....	36
Tabla 8. Matriz de diseño de experimentos.....	41
Tabla 9. Experimentos elaborados, formados y no formados.....	46
Tabla 10. Resultados de la prueba de humedad.....	51
Tabla 11. Resultados de la prueba de solubilidad .....	53
Tabla 12. Resultados de la prueba de permeabilidad al vapor de agua.....	55
Tabla 13. Resultados de la prueba de opacidad .....	57
Tabla 14. Resultados de la prueba de color .....	58
Tabla 15. Resultados de las pruebas mecánicas .....	60
Tabla 16. Resultados de la prueba de biodegradabilidad .....	61

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación a causa de los grandes volúmenes de plásticos, afectan a los ecosistemas y a la salud de las personas, ya que es un producto difícil de degradar (Abril, 2020), siendo así que la importancia de esta investigación radica en la preocupación actual por conservar el medio ambiente.

La contaminación por plástico es alarmante a nivel mundial, puesto que, la producción global de plásticos se ha disparado en la última década. En 2015 se alcanzó una producción de 380 millones de toneladas de plásticos, de los cuales la mayor parte se emplean en productos de un solo uso (Greenpeace, 2021).

México ocupa el doceavo lugar como consumidor de plástico en el mundo, puesto que cada persona consume 48 kilos de plásticos al año y en general todo México produce alrededor de ocho millones de toneladas al año de plásticos, de los cuales solo el 32% se recupera para su reciclaje (GAIA, 2021). Mientras que Chiapas genera cuatro millones de toneladas de basura diariamente, de los cuales 60% son plásticos (López, 2019)

Los bioplásticos se pueden definir como “plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables” (Vicente, 2018). Su principal característica es la biodegradabilidad, lo que significa que será degradado debido a la acción de hongos y bacterias en determinadas condiciones ambientales.

Actualmente esto ha estimulado a desarrollar nuevos materiales biodegradables con propiedades similares a los polímeros que comúnmente se utilizan. Existen polímeros biodegradables y biopolímeros obtenidos sintéticamente o de recursos naturales, sin embargo, la mayoría son costosos (M. Ruiz et al., 2012). De ahí que el uso de biopolímeros basados en el almidón son una opción de bajo costo y es obtenido de un recurso renovable.

Es fundamental resaltar que el plástico es un material que la tierra ni el mar puede descomponer. Así pues, se rompen en partículas cada vez más pequeñas (nano y micro plásticos), volviéndose peligrosos de formas que aún son desconocidas para los humanos y la vida silvestre (Segura et al., 2007). Es por ello que en este proyecto se tiene el objetivo central de crear un bioplástico a base de almidón de plátano y colágeno de las escamas de pescado como una alternativa de los plásticos convencionales; dándole un nuevo aprovechamiento a los desechos orgánicos, reduciendo los desechos plásticos y por ende sus impactos en el ambiente.

## II. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los plásticos son un problema de contaminación, que afecta a los ecosistemas y la salud de los ciudadanos, además de ser un producto difícil de degradar, tardando 400 años hasta 1400 años en descomponerse (Greenpeace México, 2022). La importancia de esta investigación radica en la gran preocupación ambiental hacia el uso de los plásticos de un solo uso, siendo innecesarios, por ejemplo, los contenedores de alimentos o bebidas, los cuales deberían ser reemplazados con alternativas amigables con el medio ambiente, de ahí que investigadores en los últimos años han estudiado la sustitución total o parcial de los plásticos producidos a partir de derivados del petróleo por bioplásticos o polímeros biodegradables.


La presente investigación busca ofrecer un bioplástico compostable elaborado a partir de almidón de *Musa paradisiaca* L y colágeno de las escamas de pescado como alternativa de los plásticos convencionales, dando un nuevo aprovechamiento a los desperdicios orgánicos y reduciendo los desechos plásticos.

Por otra parte, la investigación busca que tenga beneficios a la población, dado que se evitará las emisiones de gases tóxicos (óxido de azufre, de nitrógeno) que producen los plásticos comunes al descomponerse, contaminantes orgánicos persistentes COP (dioxinas y furanos), metales pesados (plomo, mercurio y cadmio), materiales particulados (PM10 y PM2.5) e hidrocarburos, siendo algunas de ellas disruptores hormonales (GAIA, 2021). A fin de que no se ponga en peligro la salud de las personas y brindando una mejor calidad de vida.

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el mundo un problema ambiental importante es la contaminación por el plástico debido a su excesiva abundancia en todos los entornos naturales, permaneciendo en ellas sin alteraciones (porque su degradación completa se produce después de cientos o miles de años) causando daños irreparables a nivel global, tanto de salud como al medio que nos rodea (Héctor & Heredia, 2019).

**Tabla 1 Tiempo que tarda en descomponerse un plástico y la generación que podría encontrarlo.**

Plásticos: ¿Cuánto tiempo tardan en descomponerse?		¿Qué generación de tu familia podría encontrarlo?*	
Botella		±500 años	 x25
Cubiertos		±400 años	 x20
Mechero		100 años	 x5
Vaso		65-75 años	
Bolsa		55 años	 Tus nietos
Suela de zapato		10-20 años	 Tus hijos
Colilla		1-5 años	
Globo		6 meses	 Tú

Fuente: GAIA, 2021.

En cuanto a América latina es de los mayores productores de desechos plásticos per cápita, dado que cada día se eliminan 145,00 toneladas de residuos, pero solo un 10% vuelve a usarse gracias al reciclaje o la aplicación de diversas técnicas de recuperación (ONU, 2018). En consecuencia, si esta tendencia continúa para 2050 tendremos cerca de 12 millones de toneladas de desechos plásticos en los basureros y en la naturaleza.

En México la problemática es la misma, la contaminación del agua, aire y suelo, en su mayoría son ocasionados, por los grandes volúmenes de plástico que se genera diariamente y de los cuales no recibe el adecuado tratamiento de reciclaje. Chiapas diariamente genera alrededor de 4000 de toneladas de basura, de los cuales el 38% proviene de 7 municipios uno de ellos Tuxtla (Gobierno del Estado de Chiapas,

2020). Asimismo, en Tuxtla Gutiérrez, se generan aproximadamente un total de 560 toneladas de residuos diarios, esta nos dice que por cada tonelada de residuos se tiene los siguientes volúmenes: 533.20 Kg materia orgánica; 63 kg papel y cartón; 46 kg vidrio; 29.90 kg metálico; 21.90 kg plástico; 50 kg PET; 46 kg peligrosos y otros 210 kg (Secretaría general de Gobierno, 2022). Y los desechos plásticos que no son tratados correctamente se pueden observar en las vías públicas generando inundaciones por el taponamiento de las alcantarillas.

Es importante resaltar que el plástico es un material que la tierra ni el mar puede descomponer. Así pues, se rompen en partículas cada vez más pequeñas (nano y micro plásticos), volviéndose peligrosos de formas que aún son desconocidas para los humanos y la vida silvestre. Algunos estudios aseguran que el 90% del agua embotellada y en el 83% de la de grifo, contiene partículas de plástico (ONU, 2020).

Por ello en este proyecto se propone crear un bioplástico a base de almidón de plátano y colágeno de las escamas de pescados como una alternativa de los plásticos convencionales; dándole un nuevo aprovechamiento a los desechos orgánicos, reduciendo los desechos plásticos y por ende sus impactos en el ambiente.

## IV. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Plástico

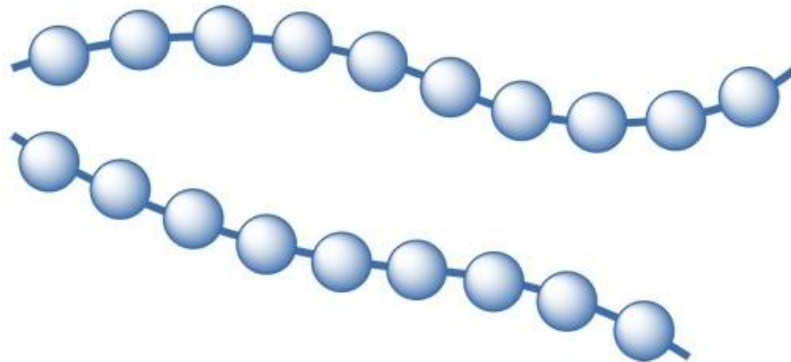
El polímero también se denomina comúnmente plástico, la palabra polímero significa después de su raíz poly = muchos meros= partes, es decir, consta de muchas partes que forman una cadena de varias moléculas que contienen un gran número de átomos, por lo tanto, con un alto peso molecular (Abril, 2020).

#### 4.1.1 Estructura de los polímeros

Para Godínez et al., (2016) las estructuras de los polímeros son:

- Lineal: las unidades de monómero se unen para formar cadenas sencillas.

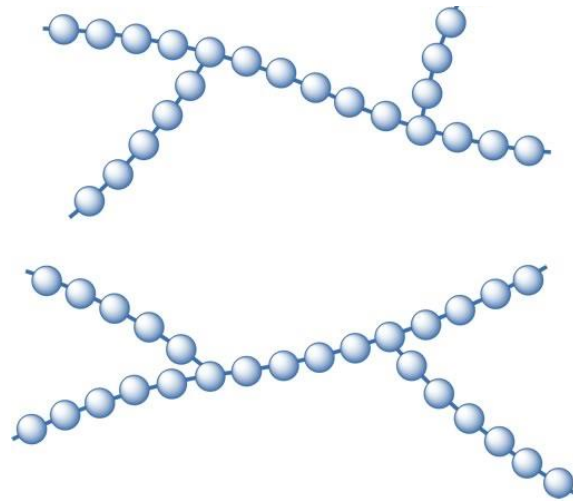
Ilustración 1 Estructura lineal



Fuente: Godínez, 2016.

- Ramificados: polímeros sintetizados en los que la cadena principal está unida a otras cadenas secundarias. Esto conduce a una disminución en la densidad del polímero.

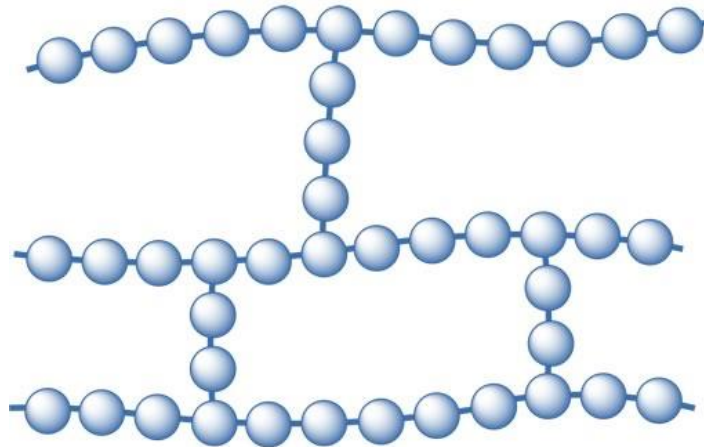
### Ilustración 2 Estructura ramificada



Fuente: Godínez, 2016.

- Entrecruzado: las cadenas lineales adyacentes se entrecruzan en diferentes posiciones mediante enlaces covalentes cuando se incluyen átomos o moléculas en la cadena. Muchos elastómeros de caucho están reticulados.

### Ilustración 3 Estructura entrecruzada

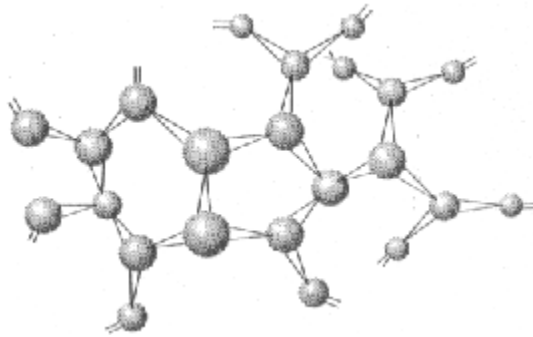


Fuente: Godínez, 2016.

- Reticulados: las unidades monoméricas trifuncionales con tres enlaces covalentes activos están diseñadas para formar una red formada por la unión de diferentes cadenas de polímeros.



#### Ilustración 4 Estructura reticulado



Fuente: Godínez, 2016.

#### 4.1.2 Propiedades mecánicas

Para Llerena & Monzón, (2017) el comportamiento mecánico o las propiedades mecánicas de un material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea, su deformación). Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad y la rigidez.

La reacción del material a la fuerza aplicada depende de

1. Tipo de enlace.
2. Disposición estructural de átomos o moléculas
3. Tipo y número de imperfecciones, que están siempre presentes en los sólidos, excepto en raras circunstancias

Propiedades físicas describen el comportamiento de los materiales. Se aplican tres tipos de fuerzas, fuerza de tracción (la fuerza se aplica cuando se intenta extender objeto), compresión (aplicar fuerza en un intento de acortar un objeto) y torsión (fuerza aplicada trata de girar el objeto alrededor del eje). El ensayo de tracción calcula las propiedades mecánicas del material, como el elongamiento, la tensión máxima, la tensión de rotura y el módulo elástico, como resultado de dividir la tensión aplicada sobre el área de la sección transversal del material por la deformación del material. También es posible calcular la resistencia al impacto, que es equivalente al área bajo la curva que representa la fuerza necesaria para romper el material (Aragón, 2018).

## 4.2 Bioplástico

Son denominados bioplásticos (BPL) los plásticos elaborados parcialmente o por completo de polímeros de materiales provenientes de fuentes renovables (Vicente, 2018). Su principal característica es la biodegradabilidad, lo que significa que será degradado debido a la acción de hongos y bacterias en determinadas condiciones ambientales.

### 4.2.1 Clasificación de bioplástico

Según Meza, (2016) se puede clasificar a partir de su proceso de fabricación:

- Polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa: polisacáridos como almidón y celulosa. Proteínas como caseína, queratina, y colágeno.
- Polímeros producidos por síntesis química clásica utilizando monómeros biológicos de fuentes renovables. Algunos ejemplos de este grupo son: ácido poliláctico (PLA), poli-ácidos glicoles (PGA) y policaprolactonas (PCL).
- Polímeros producidos por microorganismos, bacterias productoras nativas o modificadas genéticamente. Este grupo engloba a: Polihidroxialcanoatos (PHA), poli-3-hidroxibutarato (PHB).

Los polímeros basados en almidón, se caracterizan por tener propiedades similares a las de PE y PP, son totalmente compostables y tienen alta permeabilidad, estos son usados en bolsas, rellenos y películas para envase. Así mismo, los producidos por celulosa sus propiedades son similares a las del PS, tienen un gran rango de aplicaciones como películas, también como compuestos en moldeo por inyección. El ácido poliláctico (PLA) menciona que tiene propiedades similares a las del PET, puesto que, tiene una alta transparencia y brillo, así como buena barrera de olores, son aplicados como empaques, médicas y en fibras. Otro elemento son los polihidroxialcanoatos (PHA), son similares al PE, PP o PS. Por ende, son usados en envases, bolsas, películas, fibras, adhesivos y aplicaciones médicas entre otras cosas. Por último, los poliésteres biobasados tienen propiedades similares a PP y PE, son biodegradables y usados en envases y películas (Tecnología del plástico, 2019).

#### 4.2.2 Características de los bioplásticos

Para Michola, (2019) las principales características de los bioplásticos son:

- Resistencia a la tracción: hace referencia a la capacidad de un sólido de soportar una fuerza de mayor intensidad.
- Elongación de la ruptura: es la capacidad que tiene la bolsa para poder estirarse sin perder su forma, es decir, volver a su estado normal.
- Impermeabilidad: es la capacidad de no dejar traspasar por su estructura o cuerpo a una porción de agua.
- Hermeticidad: es la característica que hace referencia a que un material está completamente cerrado.
- Color: es una característica que se detecta mediante la observación, comúnmente el color de un producto o material corresponde al color de los insumos que se usan para su elaboración.
- Tensión: se calcula en una muestra que se tiene que ubicar de manera vertical sujetándose con dos mordazas en los extremos. Posteriormente se mide el cabezal superior a una determinada velocidad.
- Densidad: se define como determinación por el método geométrico, el cual relaciona el peso de la muestra con su volumen.
- Espesor: el espesor de un elemento es el grosor o ancho, el grosor de un material se relaciona con su densidad, es decir mientras más grueso un material más denso resulta.

#### 4.2.3 Ventajas de los bioplásticos

Las ventajas de los bioplásticos son en demasía, como plantea Esquivel & Martínez, (2019):

- Los bioplásticos son sintetizados por especies de distintos géneros bacterianos, por lo que su relación de contaminación es menor con respecto a los plásticos convencionales.
- En cuanto a su degradación, esta cumple un papel importante en la conservación bacteriana en condiciones de baja concentración de nutrientes. Su degradación se encuentra en un rango de 6 a 12 meses.

- Al ser termoplásticos, poseen propiedades que son similares a las de los plásticos derivados del petróleo.
- Llegan a ser degradados en su totalidad por las bacterias que lo producen, y por otras bacterias, hongos y algas.
- Son producidos a partir de recursos renovables.
- Para su producción, no es necesaria gran cantidad de agua ni de uso energético.
- Con la producción de bioplásticos, se reduce la necesidad de tala de árboles.
- No generan residuos.

#### **4.2.4 Desventajas de los bioplásticos**

La desventaja es el precio de los bioplásticos es demasiado alto, Almeida et al., (2004) expresa que “el precio final de los biopolímeros depende de varios factores, entre ellos los costos de la producción, el rendimiento de polímero obtenido y los costos de procesamiento”.

### **4.3 Plátano**

Es una fruta altamente nutritiva (minerales y vitaminas que proporcionan energía y la convierten en un alimento indispensable en cualquier dieta), varía en color, tamaño, firmeza, su estructura es alargada y curva, tolerante a la sequía, además de inducir a una mayor resistencia a las enfermedades y un mayor contenido en almidón (Vicente, 2018).

#### **4.3.1 Composición química del plátano**

Del 20 al 22% de la materia seca del plátano, está conformada por almidón, que al madurar esta se convierte en azúcares tales como la sacarosa (66%), glucosa (20%) y fructosa (4%) empleados en fines industriales y el autoconsumo (Carvajal, 2019).

**Tabla 2 Composición química del plátano**

Composición del plátano		
	Verde (%)	Maduro (%)
Agua	69.58	75.12
Almidón	15.37	4.21
Celulosa	7.54	0.92
Sacarosa	9.36	
Glucosa	0.58	5.19
Dextrosa	1.82	1.76
Gomas	0.67	1.6
Tanino	0.06	0.01
Proteínas	2.1	
Ceniza	0.76	0.76

Fuente: Carvajal, 2019.

#### **4.4 Almidón**

El almidón es un carbohidrato con un amplio campo de aplicaciones que van desde la industria de los alimentos, farmacéutica y agroquímica, hasta la manufactura de papel, adhesivos y empaques biodegradables.

Químicamente el almidón se define como "un polímero de glucosa presente en forma de gránulos en ciertas especies de plantas, especialmente semillas, por ejemplo: cereales, legumbres, maíz, trigo, arroz, frijoles, etc. y tubérculos como la yuca y papa (Guadrón, 2013).

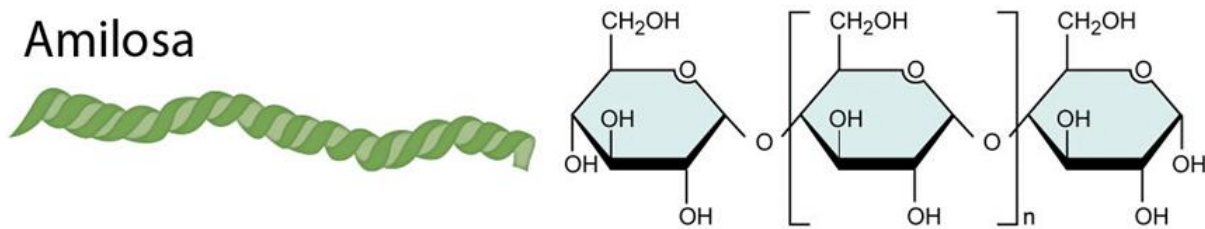
Valero et al., (2013) menciona que el almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables. Sin embargo, su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos.

#### 4.4.1 Estructura del almidón

Los gránulos de almidón están compuestos por macromoléculas organizadas en capas. Dos diferentes estructuras poliméricas componen el almidón: amilosa y amilopectina. Aproximadamente el 20% de la mayoría de los almidones son amilosa y el 80% amilopectina (García, 2015).

La amilosa en teoría es una cadena lineal de monómeros de unidades de glucosa como se muestra en la ilustración 5, sin embargo, experimentalmente se han encontrado cadenas de amilosa con pequeñas ramificaciones pero que no afectan o modifican sus propiedades, estas ramificaciones están presentes en una proporción del 0.3 al 0.5 % del total de los enlaces (Holguín, 2019). El peso molecular de esta estructura oscila de un orden de un millón y su porcentaje en almidones se encuentra entre 15% y 20%, su estructura es helicoidal no ramificada, responsable del color que adquiere con el yodo (coloración azul) (Guadrón, 2013).

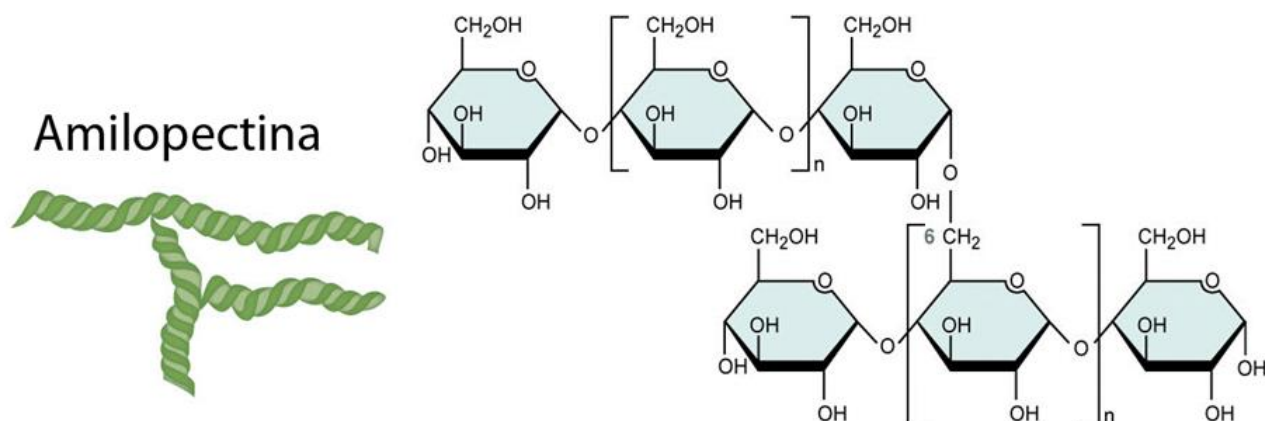
Ilustración 5 Estructura de Amilosa



Fuente: Carvajal, 2019.

La ilustración 6 corresponde a la amilopectina está formada por  $\alpha$ -D-glucosa, contenida fundamentalmente por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4). Está mucho más ramificada que la amilosa, con un 4-5% de enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6). Se encuentra en una proporción de 70-80% y en ciertos casos alcanza niveles de hasta 98-99%, dependiendo de la fuente botánica del almidón (Llerena & Monzón, 2017). La molécula tiene un peso medio molecular promedio de 107 a 108 g/mol (Meza, 2016). La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Rosales, 2016).

Ilustración 6 Estructura de Amilopectina

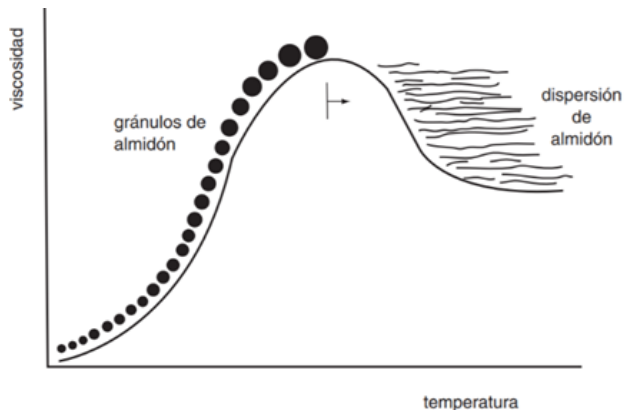


Fuente: Carvajal, 2019.

#### 4.4.2 Gelatinización

Los gránulos de almidón son insolubles en agua a temperatura ambiente, pero pueden absorber agua cuando se calienta el agua con la que entran en contacto, esto se debe a que tienen regiones interestelares que pueden absorber agua, cuando la temperatura aumenta, el almidón comienza a expandirse en volumen. Cuando el almidón alcanza su volumen máximo, los gránulos ya no pueden retener agua, y la estructura de la amilosa y la amilopectina se altera porque se dispersan en solución, es decir, la gelatinización es la transición de un estado ordenado automáticamente a un estado desordenado en presencia de calor (Erazo, 2018).

### Ilustración 7 Gelatinización del almidón



Fuente: Chocano, 2019.

La gelatinización se puede definir como un cambio en el que la estructura cristalina ordenada pasa a un estado desordenado que atrapa el calor (Ilustración 7). Cabe destacar que la temperatura a la que se produce este fenómeno se denomina temperatura de gelatinización. Los gránulos se hinchan y retienen el máximo de agua hasta que se rompan y prolongan la dispersión de amilosa y amilopectina (Márquez, 2021).

## 4.5 Escamas de pescado

Las escamas son huesos tegumentarios laminares de origen dérmico incluidos en una bolsa epidérmica de tejido conjuntivo fibrilar, derivadas del exoesqueleto de los primitivos ostracodermos y los peces placodermos. Tanto la cara interna como la externa están cubiertas por una lámina de osteoblastos, activos en los márgenes de la escama que provocan su crecimiento continuo (Flores, 2017).

### 4.5.1 Composición química

La escama de pescado es un subproducto altamente proteico que contiene sustancias inorgánicas como fosfato de calcio (hidroxiapatita) y carbonato de calcio de potencial uso en la alimentación animal (Ramos, 2018). En la tabla 3 se aprecia la composición química de las escamas, piel y espinas de pescado.



**Tabla 3 Composición química de las escamas, piel y espinas de pescado**

<b>Composición</b>	<b>Escamas</b>			<b>Piel</b>			<b>Espinas</b>		
<b>% Humedad</b>	15,18	±	0,27	69,94	±	0,04	53,46	±	0,07
<b>% Extracto etéreo*</b>	1,05	±	0,17	18,37	±	0,13	7,36	±	0,09
<b>% Cenizas*</b>	32,08	±	0,23	1,26	±	0,10	22,91	±	0,09
<b>% Proteínas*</b>	67,96	±	0,19	82,27	±	0,66	55,54	±	0,22

Fuente: Ramos, 2018.

#### **4.5.2 Uso de las escamas en la industria**

En la actualidad las escamas de pescado no son explotadas en nivel industrial, destinando sus usos a otros tipos de fines como en alimentación animal claro ejemplo es el caso de productores avícolas en donde incorporan escamas de pescado a la alimentación de sus codornices (Flores, 2017).

### **4.6 Colágeno**

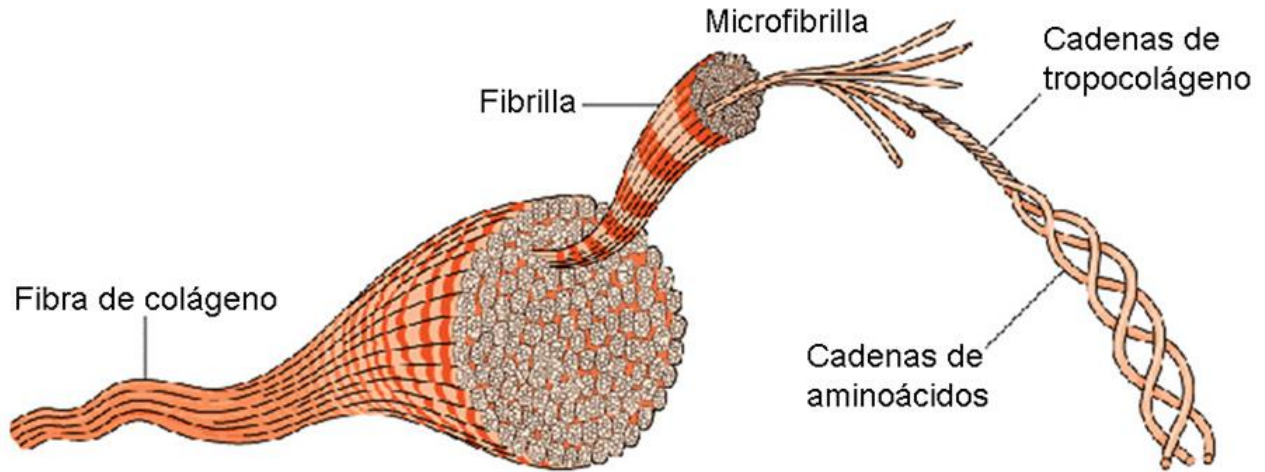
El colágeno es un conjunto de proteínas fibrosas se encuentra formando la matriz de los huesos, dientes, cartílagos, tendones, uñas, piel y vasos sanguíneos. La unidad fundamental del colágeno es el tropocolágeno formado por tres cadenas de polipéptidos de similar tamaño cada una de ellas es una hélice levógira y se van entrelazando entre sí; el tipo de cadena forma el tropocolágeno que determina el tipo de colágeno. El colágeno está formado por glicina 33%, prolina 12%, hidroxiprolina 20% e hidroxilisina 10%, presente en solo algunas proteínas (Ramos, 2018).

#### **4.6.1 Estructura del colágeno**

De acuerdo con Flores, (2017) el colágeno es probablemente la proteína más abundante en el organismo de los vertebrados. Su molécula consiste en tres cadenas polipeptídicas helicoidales denominadas cadenas  $\alpha$ , cada una de éstas conformadas por aproximadamente 1000 aminoácidos. Estas cadenas se enrollan formando una triple hélice que se mantiene mediante puentes de hidrógeno intermoleculares. Hasta el momento se han identificado 46 diferentes cadenas polipeptídicas en vertebrados, las cuales componen

28 diferentes tipos de colágeno. Cada uno de estos tipos de colágeno lleva a cabo funciones especializadas en diversos tejidos y tienen modos distintivos de organización supramolecular.

**Ilustración 8 Estructura del colágeno**



Fuente: Imatclinic, (2017)

#### **4.7 Biodegradabilidad**

Para Rodríguez et al., (2020) la biodegradabilidad está relacionada con la estructura química, es la descomposición de sustancias provocadas por la actividad de microorganismos (como hongos y bacterias). Estos microorganismos suelen secretar enzimas que rompen enlaces químicos específicos o realizan reacciones químicas muy específicas, dando como resultado productos con menor peso molecular, que luego pueden ser utilizadas por otros organismos para otros procesos.

En cuanto a los biopolímeros deben cumplir con todos los criterios de las normas científicamente reconocidas de biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. Los primeros no son necesariamente biodegradables o compostables, aunque la mayoría son degradables. La segunda categoría de compuestos no necesariamente tiene que estar basada en materias primas renovables para cumplir con los estándares, porque la relación directa entre biodegradabilidad y estructura química está más directamente relacionada con la fuente de materias primas (Valero et al., 2013).

#### 4.7.1 Normativa en biodegradación

Existen normas internacionales para regular y medir la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación de los envases plásticos y bioplásticos. Las principales organizaciones internacionales que establecen estos métodos de ensayo y las regulan son (Michola, 2019):

- American Society for Testing and Materials (ASTM)
- European Standardization Committee (CEN)
- International Standards Organization (ISO)
- Institute for Standards Research

##### 4.7.1.1 Normas ISO con respecto a la degradación de plásticos 2019- 2020:

- ISO 14855-1:2019 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis de dióxido de carbono generado”
  - Especifica un método para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los plásticos, basada en compuestos orgánicos, bajo condiciones de compostaje controladas mediante la medición de la cantidad de dióxido de carbono generado y el grado de desintegración del plástico al final del ensayo.
- ISO 14855-2:2020 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis de dióxido de carbono generado”
  - Especifica un método para determinar la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas mediante la medición gravimétrica de la cantidad de dióxido de carbono generada. El método está diseñado para producir una tasa de biodegradación óptima mediante el ajuste de la humedad, la aireación y la temperatura del recipiente de compostaje, utilizando otro tipo de compost maduro o un compost expuesto previamente.
- ISO 16929:2019 “Determinación del grado de desintegración de los materiales plásticos bajo las condiciones de compostaje definidas en un ensayo a escala piloto”
  - Determinar el grado de desintegración de los materiales plásticos en un ensayo de compostaje aeróbico a escala piloto bajo condiciones definidas. Forma parte de un esquema general para la evaluación de la compostabilidad de plástico como se indica en la norma ISO 17088. El método de ensayo establecido en esta norma se puede utilizar para determinar el efecto del material de ensayo en el proceso de compostaje y la calidad obtenida del compost.
- ISO 20200:2020 “Determinación del grado de desintegración de materiales plásticos bajo condiciones de compostaje simuladas en un ensayo de laboratorio”

- Especifica un método de determinación del grado de desintegración de materiales plásticos cuando se exponen a un ambiente de compostaje en laboratorio.

#### 4.7.2 Factores que cambian la biodegradabilidad

Como señala Carvajal, (2019) la biodegradabilidad de un polímero se ve afectada por propiedades físicas tales como:

- a) Peso molecular, densidad y forma
- b) Composición molecular
- c) Propiedades hidrofílicas (microorganismo se adhiere al plástico)
- d) Complejidad estructural
- e) Presencia de grupos amidas o ester

#### 4.7.3 Escala de biodegradabilidad

Cada polímero tiene una escala de biodegradabilidad dependiendo de las condiciones ambientales. Como se muestra en la tabla 4 el tiempo de degradación de los polímeros sintéticos es muy largo, oscilando entre 400 y 1000 años, mientras que el tiempo de degradación de los polímeros naturales es de 70 a 200 días. Además, después de este tiempo de degradación, las moléculas en el polímero sintético permanecen suspendidas y ajenas al medio, es decir, no se reincorporan naturalmente a la circulación natural, mientras que las moléculas del polímero natural se degradan incorporándose a estos ciclos (Aragón, 2018).

**Tabla 4 Escala de biodegradabilidad de los polímeros**

Medio	Polímeros sintéticos		Polímeros naturales		
	Polietileno	Unicel	Bambú y caña de azúcar	Fécula de maíz	Polímero de maíz
Relleno sanitario	500 años	1000 años	70 días	110 días	180 días
Mares, ríos y océanos	400 años	800 años	60 días	90 días	160 días
Tierra	600 años	1400 años	75 días	120 días	200 días

Fuente: Aragón, 2018.

## V. ANTECEDENTES

Tras los graves problemas ambientales que están ocasionando el consumo de plásticos convencionales, se han podido establecer diversos artículos científicos e investigaciones que guardan relación con la elaboración de bioplástico y el potencial que tienen. Entre los antecedentes que más resaltan son los siguientes:

Llerena & Monzón (2017) presentó el estudio “Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (*oryza sativa*), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (*mangifera indica*)”. En la investigación se aplicaron métodos para la extracción de almidón y queratina en el laboratorio de la Universidad católica de Santa María de Arequipa, Perú, donde se determinó el rendimiento de obtención, donde se demostró que se puede conseguir rendimientos adecuados (35.24% y 8.29% respectivamente), se hicieron los experimentos por triplicado. Una vez obtenida la lámina del bioplástico se procedió a la caracterización con pruebas mecánicas para evaluar su comportamiento. Los resultados indicaron que el bioplástico tiene un comportamiento dúctil con poca resistencia a la tracción, flexión elevada y una dureza media, lo cual permite elaborar envases de pequeña escala.

La investigación realizada por Abril, (2020) “Elaboración de bioplástico de queratina obtenida de residuos de plumas de aves de corral y quitosano”, consistió en la elaboración de plástico biodegradable a partir de la mezcla de quitosano comercial y queratina de aves. La queratina fue obtenida de residuos de plumas de aves de corral, a escala de laboratorio, mediante tratamientos de sulfuro de sodio, metabisulfito de sodio y una hidrólisis enzimática a un porcentaje del 0.075% de enzima KYZYME VP. Para selección de las biopelículas se trabajó con 15 mezclas diferentes de queratina y quitosano con su glicerina (como su agente plastificante). Posteriormente se realizaron pruebas de tracción físico mecánicas, para probar la fuerza de tracción de las nueve de las biopelículas seleccionadas, de acuerdo con la norma ASTM D882- 10. Finalmente se realizaron dos pruebas de biodegradabilidad, una por medio de compostaje.

Aragón, (2018) en su investigación “Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de residuos de la industria pesquera de dos especies: Marlín (*Makaira nigricans*) y Tiburón (*Carcharhinus falciformis*)”.

Los biopolímeros, como la gelatina, pueden convertirse en bioplásticos, cuando son mezclados con aditivos (plastificantes) y procesados por métodos termo-mecánicos. La caracterización térmica del bioplástico fue realizada por calorimetría diferencial de barrido (DSC), análisis termogravimétrico (TGA) y dinámico mecánico (DMA), a partir de dichos análisis fue posible determinar la temperatura de transición vítrea del material y el comportamiento viscoelástico del material. Los bioplásticos presentaron una temperatura de degradación térmica de 300°C, un punto de fusión de 180°C y una temperatura de transición vítrea de 58°C. La caracterización mecánica fue realizada con ensayos de tensión siguiendo la norma ASTM D638 los parámetros a analizar fueron: módulo de elasticidad, elongamiento, tensión máxima y tensión a la ruptura. Los bioplásticos mostraron un módulo de elasticidad 1300 MPa similar al que presenta el PVC plastificado.

Martín, (2021) presentó el estudio “Extracción de biopolímeros a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en la formación de películas funcionalizadas con miel”. En la investigación se evaluó el aprovechamiento de residuos de mango ataulfo (*Mangifera indica* L.), plátano macho (*Musa balbisiana*) y exoesqueletos de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), para la obtención de biopolímeros (pectina, almidón y quitosano) mediante el uso de métodos alternativos a los procesos comúnmente utilizados que disminuyen la generación de contaminantes, y evaluar su capacidad antioxidante, antimicrobiana y propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos indicaron que el tratamiento de pectina al 3% con 5% de miel (P3-5) presentó el valor más alto de resistencia a la tracción (5.88 MPa), mientras que el tratamiento de almidón al 3% con 5% de miel (A3-5) presentó el valor más alto de elongación (59.85%). No lograron obtenerse películas de quitosano y miel, las mezclas con miel al 5% al secar presentaron una elevada fragilidad y no fue factible retirarlas de la placa como una hoja sin ocasionar su rotura, mientras que al incrementar su concentración al 10%, la mezcla no consiguió formar un material sólido u homogéneo, más bien formó una pasta. Por último, se evaluó la actividad antimicrobiana, se observó mayor capacidad contra la bacteria gram negativa *S. typhimurium* en comparación con la bacteria gram positiva *S. aureus*.

García, (2017) “Determinación de concentración óptima de ácido-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa” en su investigación aplica procesos químicos y tecnológicos, para la obtención de almidón a partir de la cáscara de plátano y su posterior elaboración en plástico biodegradable, utilizando distintas concentraciones de ácido acético

y glicerol. El tipo de investigación fue experimental cuantitativa; el diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial de 3x3, contando con 9 tratamientos, con 3 repeticiones. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento fue la proporción de 1mL AA-7mL G de lámina delgada de color marfil oscuro, con un porcentaje de humedad de 15.67%, un porcentaje de solubilidad en agua de 38.89% a 80°C, un porcentaje fuerza de tensión de 3.81 MPa, y su biodegradación en ecosistema suelo por 90 días con un porcentaje de pérdida de peso de 83.9 % y en ecosistema de agua almacenada con un porcentaje de pérdida de peso de 66.46 %, un espesor de 0.100  $\mu\text{m}$  y una densidad de 0.93 g/cm<sup>3</sup>; demostrando que está dentro de los límites establecidos según las normas de calidad DIN y EN, para que pueda ser considerado un polímero, faltando mejorar mediante procesos mecánicos la reducción de la humedad y fuerza de tensión.

Osorio & Rubiano, (2019) en su trabajo “Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio” describe el desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo. Realizando la extracción del almidón de la cáscara de banano y del endocarpio por el método seco, al cual se le aplicó una prueba cualitativa y cuantitativa para confirmar la presencia y el contenido de almidón, con un rendimiento del 7,3% y 6,5%. Con el objetivo de elaborar la biopelícula se seleccionó la fibra natural a partir de su resistencia a la tracción y elongación, que fuera de fácil acceso y económica. Se llevó a cabo el desarrollo de la biopelícula por el método de casting (vaciado en placa) del endocarpio sin extracción de almidón por el método seco, a partir de un tratamiento químico de Bisulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) combinando el endocarpio como agente o base estructural, almidón de yuca, glicerol como plastificante, fique como fibra natural de refuerzo y ácido acético. Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas preliminares, se escogió la mejor biopelícula a partir de una mezcla correspondiente al 15% endocarpio, 8% de almidón de yuca 67% agua, 4% de fique, 4% de glicerina y 2% de ácido acético. Se determinaron las propiedades mecánicas de tracción y flexión presentando 1.66 Mpa 3.18 Mpa respectivamente, siendo los resultados de las mejores biopelículas. Finalmente se establecen las especificaciones técnicas del proceso y los costos de producción a escala piloto para la elaboración de 5 biopelículas de 60 cm x 70 cm.

## **VI. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Elaborar un bioplástico a partir de almidón *Musa paradisiaca* L y colágeno de escamas de pescado.

### **Objetivos específicos**

- Obtener el colágeno de escamas de pescado y almidón de plátano.
- Formular un bioplástico de colágeno y almidón utilizando un diseño experimental de superficie de respuesta.
- Analizar las propiedades del bioplástico obtenido bajo la normatividad vigente.

## **VII. HIPÓTESIS**

La mezcla de colágeno de escama de pescado y el almidón de *Musa paradisiaca* L generarán una base plástica, que presentará propiedades mecánicas y térmicas, para su uso como bioplástico.



## **VIII. METODOLOGÍA**

La metodología aplicada en esta investigación consta de tres etapas, obtención del colágeno y almidón, elaboración del bioplástico y finalmente caracterización y análisis biodegradabilidad del bioplástico obtenido.

### **8.1 Diseño de investigación**

El presente trabajo de investigación se considera de tipo experimental por la obtención del colágeno a partir de las escamas de pescado y la manipulación de las variables como: concentración del almidón, colágeno, ácido acético y etilenglicol en la elaboración del bioplástico; también se realizó la caracterización del mismo para determinar la calidad.

### **8.2 Sitio experimental**

La primera y segunda etapa de obtención del colágeno y elaboración del bioplástico de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado se desarrolló en los Laboratorios de Posgrado del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez. La etapa 3 de caracterización del bioplástico obtenido, se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) unidad Sureste, Mérida, Yucatán y en el laboratorio del programa educativo de Ingeniería Ambiental, sede Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Y por último la etapa de degradación de las biopelículas se realizó en el Laboratorio de Investigación en calidad del Agua del Programa Educativo de Ingeniería Ambiental de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

### **8.3 Instrumentos**

Los equipos e instrumento que se utilizaron se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5 Equipos e instrumentos utilizados**

<b>CANTIDAD</b>	<b>EQUIPOS E INSTRUMENTOS</b>
2	Parrilla de agitación con calentamiento (Thermo Scientific)
2	Balanza analítica (OHAUS)
1	Horno de secado (Riossa)
1	Espectrofotómetro UV-VIS modelo DR 5000 (HACH, Colorado, EE. UU.).
1	Espectrofotómetro IR Nicolet TM (Thermo Scientific Massachusetts, EE. UU.)
2	Liofilizadora (Labconco FreezZone 4.5)
1	Agitadora orbital (Barnstead Lab-Line MaxQ 3000)
1	Desecador
1	Refrigerador

Fuente: Propia.

#### **8.4 Materiales**

Los materiales que se emplearon para esta investigación se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6 Materiales utilizados**

<b>CANTIDAD</b>	<b>MATERIALES</b>
2	Vasos de precipitado de 50 ml
2	Vasos de precipitado de 150 ml
1	Probeta de 10 ml
1	Probeta de 50 ml
1	Vidrio de reloj
1	Pipeta de 10 ml
1	Pipeta automática de 1000 $\mu$ L
2	Termómetro
11	Cajas Petri
2	Barra de agitación magnética
1	Matraz aforado de vidrio de 100 ml
1	Embudo de Büchner
1	Pizetas
1	Rollo de papel film
1	Rollo de papel aluminio
5	Membrana de celulosa (Sigma Aldrich) de 49 mm x 79 mm
12	Frascos de vidrio
16	Papel filtro Whatman No. 40

Fuente: Propia.

## 8.5 Reactivos e instrumentos

Los reactivos e insumos que se manejaron se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7 Reactivos e insumos utilizados**

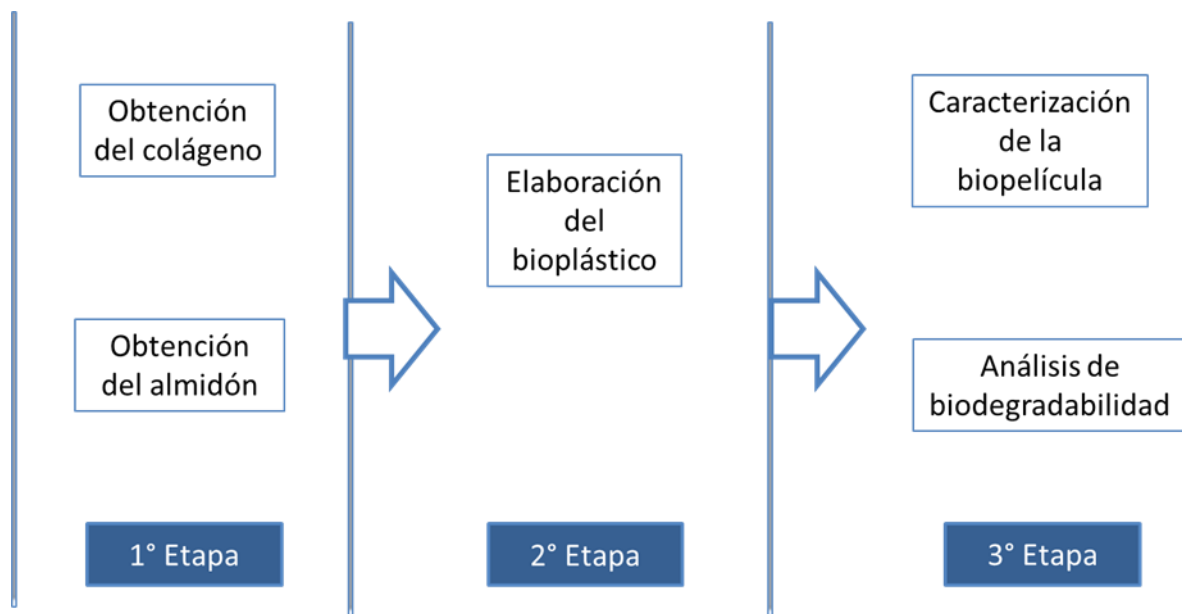
Reactivos e insumos		
Ácido acético	Escamas de pescado	Cúter
Hidróxido de sodio	Plátano macho verde	Abono
Butanol	Etilenglicol	Agua destilada
Cloruro de sodio	Gasas	

Fuente: Propia.

## 8.6 Desarrollo de la investigación

La investigación se desarrolló como se describe en el siguiente esquema (ilustración 9).

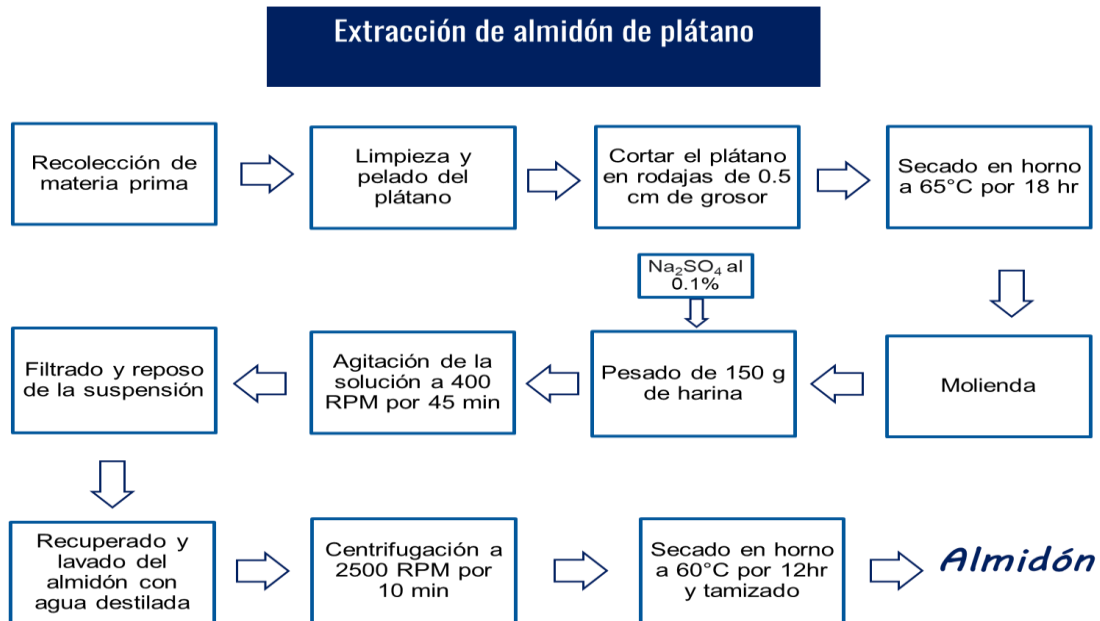
**Ilustración 9 Esquema del desarrollo de la investigación**



Fuente: Propia.

## 8.7 Obtención del almidón

Ilustración 10 Esquema de la extracción de almidón de plátano



Fuente: Propia.

Para extracción de almidón se siguió lo descrito por Arreola & Fuentes, 2019, que consistió en pelar y cortar en rodajas de 0.5 cm de grosor el plátano macho verde, se secó en un horno a 65°C por 18 horas. Las rodajas secas se molieron en un molino de maíz manual hasta obtener un polvo con un tamaño de grano de 0,5 mm. Posteriormente se prepararon 150 g de harina con solución de sulfato de sodio al 0.1%, se dejó hidratar con agitación constante a 400 rpm durante 45 min. Pasado ese tiempo, la suspensión se filtró a través de filtros de malla 80 y 100 para eliminar los sólidos fibrosos. La suspensión se deja reposar hasta que el almidón se sedimenta por completo y los componentes disueltos en el sobrenadante se separan aspirando el fondo del recipiente.

El almidón se lavó tres veces con agua destilada y se centrifugó a 2500 rpm durante 10 min para recuperarlo. El almidón se secó a 60 °C en estufa térmica durante 12 h. Luego se pesó y se tamizó con malla No. 100 hasta obtener almidón. El almidón se envuelve en una bolsa de plástico y se almacena a temperatura ambiente hasta su uso posterior.

## 8.7.1 Caracterización de almidón

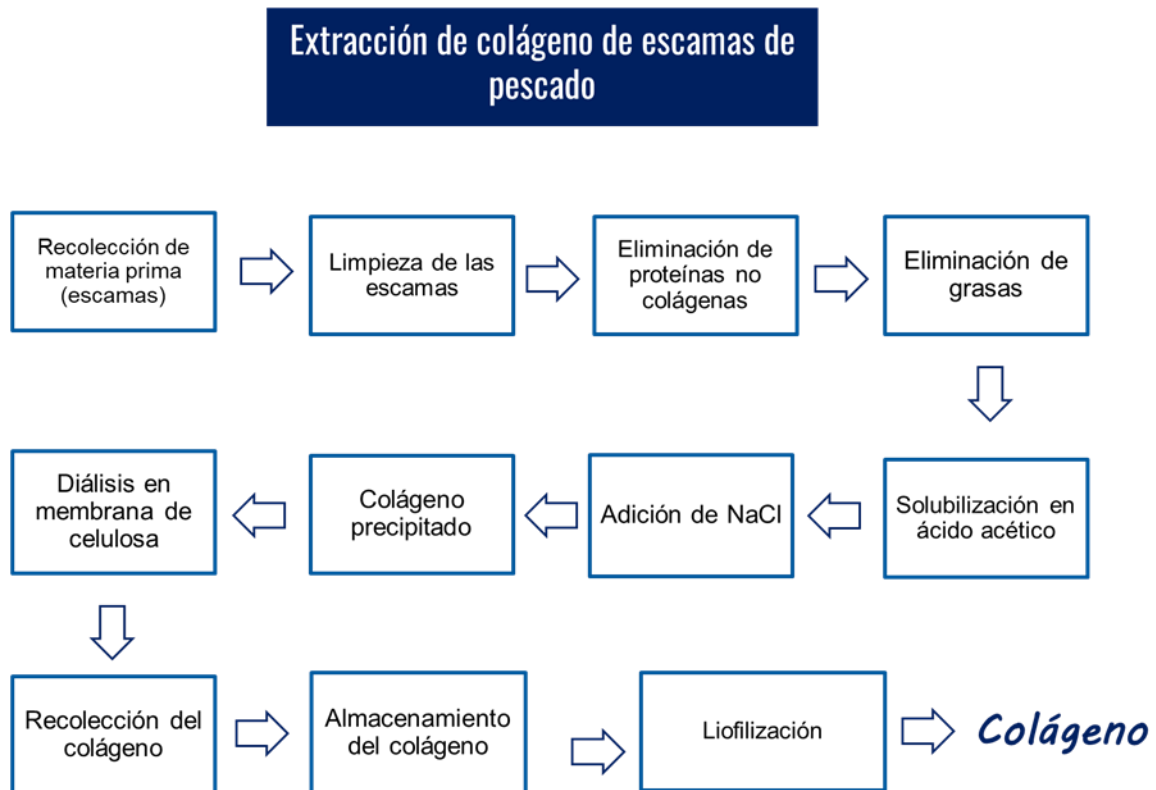
### 8.7.1.1 Espectroscopia de FT-IR

La obtención de los espectros de infrarrojo del almidón extraído se realizó con un espectrofotómetro de IR marca Thermo modelo Nicolet en el intervalo de 650-4000  $\text{cm}^{-1}$  realizando 16 barridos con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

## 8.8 Obtención del colágeno

En la siguiente Ilustración 11 se muestra el esquema de la obtención del colágeno de escamas de pescado.

Ilustración 11 Esquema de la extracción de colágeno de escamas de pescado



Fuente: Propia.

### **8.8.1 Recolección de la materia prima**

Las escamas se obtuvieron del local “Hermanos Grajales” del mercado público municipal del Norte, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Una vez recolectadas las escamas estas se colocaron en un recipiente para lavarlas con abundante agua para retirar los restos del tejido epitelial, muscular, adiposo y sangre, se lavó seis veces con mucho cuidado sin dejar escapar la materia prima.

### **8.8.2 Pretratamiento de la materia prima**

La obtención del colágeno se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Ovando 2021:

#### **8.8.2.1 Eliminación de proteínas no colágenas y pigmentos de las escamas**

Se preparó 10 L de una solución de hidróxido de sodio 0.1M, en proporción 1:10 (p/v) en un recipiente de 15 L, la cual se le adicionó 1560 g de escamas de pescado, dejándolo a una temperatura de 4°C por 6 horas con un cambio de solución a las 3 h y agitándolo cada 15 min, para luego ser lavadas con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro o ligeramente básico.

#### **8.8.2.2 Eliminación de grasas**

Una vez que se realizó el proceso de eliminación de proteínas no colágenas se procedió a eliminar las grasas de las escamas con butanol al 10% en una proporción 1:10 (p/v), y se dejó en el refrigerador a una temperatura de 4°C por 24 horas. Posteriormente se lavó 6 veces con agua destilada hasta que el olor a butanol se dejó de percibir en las escamas.

### **8.8.3 Extracción de colágeno en ácido**

Después de transcurridas las 24 horas se procedió a solubilizar las muestras pretratadas en ácido acético 0.5 M, en una proporción 1:15 (p/v) durante 72 a una temperatura de 4°C y moviéndolo cada cierto tiempo. Posteriormente se recupera el líquido sobrenadante, el cual es filtrado con un embudo Büchner para eliminar impurezas y recolectado en un recipiente de 20 L.

A la solución recolectada se le adicionó NaCl a una concentración final de 1.5 M y se agitó 5 min, para luego colocarlo en botes transparentes y dejarlo en el refrigerador a una temperatura de 4°C por 24 horas para que el colágeno precipita.

Posteriormente se recuperó cuidadosamente el precipitado resultante y se procedió a realizar la diálisis en una membrana de celulosa (Sigma Aldrich) de 49 mm x 79 mm y con un tamaño de poro de 14 kDa, realizando cambios de solución de agua destilada cada 12 h los primeros 2 días y cada 24 h los siguientes 2 días hasta que alcanzó un pH neutro. El colágeno precipitado se recolectó y se almacenó en el congelador hasta su posterior uso. Luego se realizó el proceso de liofilizado a 0.520 mbar y se almacenó a 4 °C hasta su uso.

Todo este proceso se realizó en el Laboratorio de Posgrado del Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez con toda la parte instrumental que requiere el proceso de extracción.

#### **8.8.4 Caracterización del colágeno**

##### **Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR)**

Para analizar las muestras de colágeno liofilizado se utilizó un espectrofotómetro IR Nicolet TM (Thermo Scientific Massachusetts, EE. UU.). A temperatura ambiente, en números de onda que oscilan entre 400 y 4000  $\text{cm}^{-1}$ , promediando 32 escaneos con una resolución de 8  $\text{cm}^{-1}$ .

#### **8.9 Elaboración del bioplástico**

Las cantidades a utilizar se seleccionaron de acuerdo a lo reportado en las investigaciones de Meza, (2016); Rosales, (2016); Ruíz, (2019) y Zhuang et al., (2019). Con esa información se seleccionaron diferentes porcentajes para los experimentos. Se trabajó con 0%, 15% y 30% de colágeno, 73%, 79.5% y 83% de ácido acético al 0.5 M, 7%, 9.5% y 12% de almidón y 7%, 11% y 15% de etilenglicol. Para el arreglo de los experimentos se planteó un diseño de superficie de respuesta de tipo Box-Behnken, con la finalidad de poder relacionar los factores con las variables de respuesta, dando un total de 27 tratamientos. El orden de los experimentos fue completamente aleatorizado para aportar protección contra el efecto de variables ocultas. Los componentes varían según el diseño experimental como muestra la tabla 8.



**Tabla 8. Matriz de diseño de experimentos**

Exp.	Almidón (gr)	Ácido acético (ml)	Etilenglicol (ml)	Colágeno (gr)
1	1.81	15.11	1.20	0
2	1.81	16.34	1.20	0.27
3	1.33	15.11	2.57	0.20
4	2.28	16.34	1.88	0.34
5	1.81	15.11	1.88	0.27
6	1.81	16.34	1.88	0.00
7	2.28	15.11	1.88	0.00
8	1.33	15.11	1.88	0.00
9	1.81	16.34	1.88	0.54
10	1.81	16.34	2.57	0.27
11	1.81	15.11	2.57	0.00
12	1.81	13.87	1.20	0.27
13	1.81	15.11	1.88	0.27
14	1.81	15.11	1.88	0.27
15	1.33	15.11	1.88	0.40
16	1.81	15.11	1.20	0.54
17	2.28	15.11	1.88	0.68
18	1.81	13.87	1.88	0.00
19	1.33	16.34	1.88	0.20
20	1.81	13.87	1.88	0.54
21	1.33	13.87	1.88	0.20
22	1.81	13.87	2.57	0.27
23	1.33	15.11	1.20	0.20
24	2.28	13.87	1.88	0.34
25	2.28	15.11	2.57	0.34
26	1.81	15.11	2.57	0.54
27	2.28	15.11	1.20	0.34

Fuente: Propia.

Para la elaboración de bioplásticos se realizó una solución acuosa a partir de almidón, colágeno, ácido acético y etilenglicol. Para comenzar la elaboración de cada tratamiento, en un vaso de precipitado se agregó la cantidad de colágeno y ácido acético el cual se mezcló en una parrilla con agitación a 45°C a 350 RPM hasta obtener una solución homogénea, en seguida se agregó el almidón y etilenglicol, aumentando la temperatura a 70°C y disminuyendo la RPM a 140 – 170, hasta lograr que la mezcla gelatinice.

Finalmente, la mezcla se vertió en cajas Petri, luego se llevó al horno a 45°C por 24 horas, posteriormente las mezclas secas se llevaron a un desecador, para posteriores análisis.

## **8.10 Caracterización de las biopelículas**

### **8.10.1 Contenido de humedad**

El contenido de humedad se llevó a cabo mediante un analizador de humedad (OHAUS Europe GmbH-modelo MB25).

### **8.10.2 Grado de solubilidad**

El grado de solubilidad se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Martín (2021) con adaptación propia. Las películas se cortaron en cuadrados de 1.4 cm × 1.4 cm y secaron en horno a 95 °C hasta peso constante (W0). Las películas fueron transferidas a matraces con tapa y vertieron 50 mL de agua destilada, las muestras se agitaron durante 24 h a 120 rpm en agitadora orbital (Barnstead Lab-Line MaxQ 3000). Las películas se separaron del líquido atrapándolas en papel filtro Whatman No. 40 (previamente secado y pesado) y secaron en estufa a 95 °C durante 24 h (W1). El peso de la materia solubilizada se calculó como la diferencia de la materia seca no disuelta del peso de la materia inicial y se expresó como porcentaje. El grado de solubilidad se calculó mediante la ecuación:

*Ecuación 1 Porcentaje de solubilidad*

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{W0 - W1}{W0} \times 100$$

### 8.10.3 Permeabilidad al vapor de agua

Para la prueba de permeabilidad al vapor de agua utilizó la metodología de Martín (2021) con ligeras modificaciones. Las muestras se acondicionaron a una humedad relativa (HR) del 50%. Posteriormente se cortaron a un diámetro de 2.3 cm y se colocaron en Criotubos de 5 ml (1.5 cm de diámetro y una altura de 5.7 cm) que contenían 5 ml de agua destilada. Los bordes de las biopelículas fueron sellados con cinta masking para evitar la pérdida del agua, los contenedores se colocaron en un desecador con gel de sílice previamente seco. El peso de los Criotubos se determinó cada 24 horas durante diez días a través de una balanza analítica. El valor de la permeabilidad al vapor de agua se calculó de acuerdo con la fórmula:

*Ecuación 2 Valor de la permeabilidad al vapor de agua*

$$Fva = \frac{g}{tA}$$

Dónde:

g: pérdida de peso

t: el tiempo total en horas

A: área de permeabilidad.

La permeabilidad al vapor de agua (Pva) se calculó a partir de la ecuación

*Ecuación 3 Permeabilidad al vapor de agua*

$$Pva = (Fva) * \frac{X}{\Delta P}$$

Donde:

X: media del espesor del bioplástico

$\Delta P$ : la diferencia de presión de vapor del medioambiente que contiene el desecador (0 kPa, 25 °C) y el agua pura (3167 kPa a 25 °C).

### 8.10.4 Opacidad

La opacidad se obtuvo a partir del espectrofotómetro UV-VIS modelo DR 5000 (HACH, Colorado, EE. UU.), empleando el método reportado por Martín (2021), para ello las muestras se cortaron en cuadros

de 1.4 x 1.4 cm y se colocaron en la cubeta del espectrofotómetro utilizando la misma celda como blanco, pero sin muestra. Las lecturas se efectuaron por cuadruplicado. Se determinó la opacidad de acuerdo con la ecuación:

*Ecuación 4 Opacidad*

$$Opacidad = \frac{Abs600}{d}$$

### **8.10.5 Color**

El análisis de color de las películas se realizó empleando un colorímetro (Konica Minolta, CR-400, Osaka, Japón). Se realizaron 9 mediciones a cada película en un fondo blanco estándar, el equipo se calibró con fondo negro y blanco. Durante el análisis, se capturaron los valores de luminosidad ( $L^*$ ), rojo-verde ( $a^*$ ) y azul-amarillo ( $b^*$ ).

### **8.10.6 Espectroscopia Infrarrojo (FT-IR)**

La obtención de los espectros se registró en un espectrofotómetro IR (Thermo Scientific, Massachusetts, EE. UU. marca Nicolet™), utilizando la biopelícula que se obtuvo. En el intervalo de 525-4000  $\text{cm}^{-1}$  realizando 52 barridos con una resolución de 32, Ganancia de la muestra: 1.0 Velocidad del espejo: 0.4747 Apertura: 80.

### **8.11 Propiedades mecánicas**

Determinación de propiedades mecánicas

Los análisis mecánicos se realizaron en las instalaciones del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología del estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) unidad Sureste, Mérida, Yucatán., bajo la norma ASTM D638. Que consistió en tomar tiras de biopelículas de 2.5 cm x 7 cm. Empleando un texturómetro de ensayo EZ (modelo EZ-SX; Shimadzu, Japón). A cada película se le midieron la resistencia a la tracción (TS) y alargamiento de rotura (EB) empleando un texturómetro de ensayo EZ (modelo EZ-SX; Shimadzu,

Japón). Se siguieron las condiciones de separación de pinzas (5 cm) y velocidad de separación (8mm/s) descritas por Da Rocha et al., (2018).

### **8.12 Biodegradabilidad**

Con el objetivo de demostrar si las biopelículas de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado son biodegradables. El estudio de biodegradabilidad se evaluó por la pérdida de masa de las biopelículas. Para ello se cortaron las láminas en tiras de 1 cm x 2 cm. Posteriormente se prepararon frascos de vidrio que contenía composta con una humedad de 12.25%, se introdujeron las láminas hasta una profundidad de 5 cm dentro de la composta. Los frascos se taparon con papel aluminio y se mantuvieron dentro del laboratorio. Se midió dos veces por semana la temperatura de la composta. Transcurridas las cuatro semanas se extrajeron las muestras y pesaron para evaluar la pérdida de masa y comparar con el valor de masa antes de enterrar las biopelículas. Realizando los análisis por duplicado, descrita por Charro, (2015) con adaptación propia.

## IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 9.1 Elaboración del bioplástico

Para la elaboración del bioplástico se siguió el procedimiento descrito en el punto 8.9. De acuerdo al diseño experimental de los 27 tratamientos se elaboraron 11, ya que se tuvo escasas de materia prima. Se eligieron los experimentos con la finalidad de poder observar el efecto de cada factor a partir de diferentes concentraciones como se muestra en la tabla 9. Por lo tanto, se considera el estudio como predictivo. Asimismo, se evaluó la capacidad de formación de la biopelícula, se hallaron 8 muestras aceptables.

**Tabla 9. Experimentos elaborados, formados y no formados**

Código de muestra	Almidón (g)	Colágeno (g)	Ácido acético (ml)	Etilenglicol (ml)	Bioplástico
Exp 1	1.81	0	15.11	1.20	Formado
Exp 2	1.81	0.27	16.34	1.20	Formado
Exp 3	1.33	0.20	15.11	2.27	Formado
Exp 4	2.28	0.34	16.34	1.88	Formado
Exp 5	1.81	0.27	15.11	1.88	Formado
Exp 9	1.81	0.54	16.34	1.88	No formado
Exp 15	1.33	0.40	15.11	1.88	Formado
Exp 17	2.28	0.68	15.11	1.88	Formado
Exp 20	1.81	0.54	13.87	1.88	No formado
Exp 23	1.33	0.20	15.11	1.20	Formado
Exp 27	2.28	0.34	15.11	1.20	No formado

Fuente: Propia.

En general todas las biopelículas fueron flexibles y firmes. Sin embargo, se notaron ciertas diferencias debido a la variación en su composición. Se comprobó que las películas de almidón con colágeno presentaron una mejor apariencia y firmeza en comparación con aquellas que solo fueron elaboradas con almidón (ilustración 12 y 13).

**Ilustración 13. Biopelícula de almidón**



Fuente: Propia.

**Ilustración 12. Biopelícula de almidón y colágeno**



Fuente: Propia.

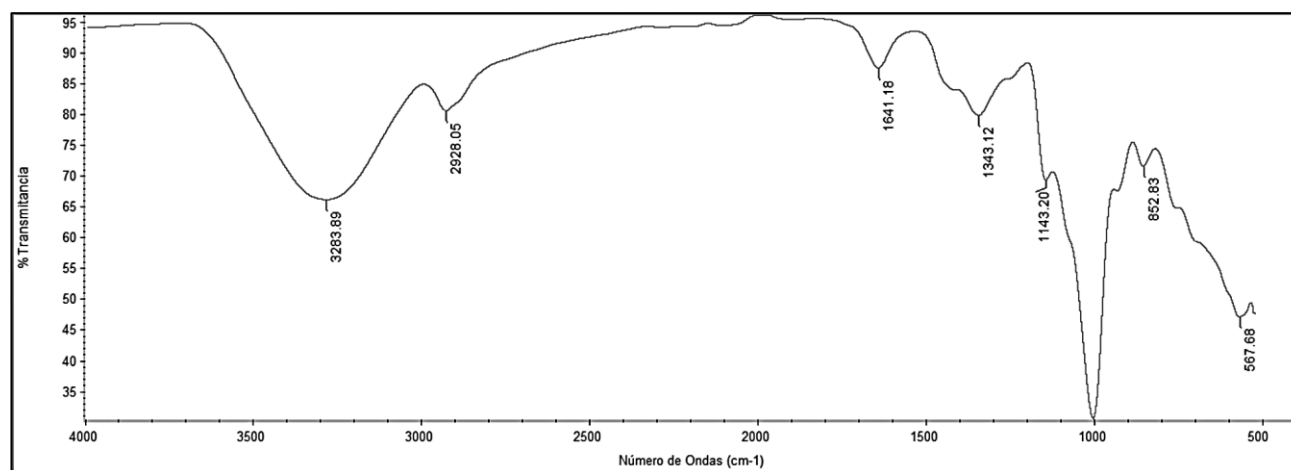
## 9.2 Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT – IR)

La espectroscopia de infrarrojo es utilizada para identificar los grupos funcionales que conforman un compuesto, así como dilucidar la composición de una muestra (Syafri et al., 2017). Este análisis se realizó con el objetivo de estudiar las interacciones entre los componentes del bioplástico, las diferencias en la estructura al mezclar el colágeno extraído de las escamas de pescado, almidón de plátano y etilenglicol.

### 9.2.1 Espectro del almidón de plátano

En la ilustración 14 se muestra el espectro IR del almidón de plátano.

Ilustración 14 Espectro IR del almidón de plátano



Fuente: Propia.

Se sabe que el almidón está integrado por dos polímeros de diferente estructura, la amilosa y la amilopectina, cerca del 20% de la mayoría de los almidones es amilosa y el 80% amilopectina. El pico mostrado en  $3283\text{ cm}^{-1}$  corresponde a las vibraciones O-H lo que permite establecer la presencia de hidroxilos libres. el pico observado en  $2928\text{ cm}^{-1}$  indica un grupo C-H. En  $1641\text{ cm}^{-1}$  se observa un estiramiento debido al grupo carbonilo C=O debido a las vibraciones de los grupos carboxilos. En la banda de  $1343\text{ cm}^{-1}$  se presenta baja presencia del grupo C=O, mientras que en el pico  $1143\text{ cm}^{-1}$  se puede apreciar una intensidad muy débil del grupo C=N, esto se debe a la presencia de los polisacáridos di aldehído que pueden entrecruzarse con grupos amina de proteína. En  $1000\text{ cm}^{-1}$  se presenta una banda producto del estiramiento de enlaces C-O que representa el almidón. Con ello se demuestra que se tiene almidón como materia prima. Finalmente, el pico visible en  $567\text{ cm}^{-1}$  está relacionado con el alargamiento del enlace C-O.

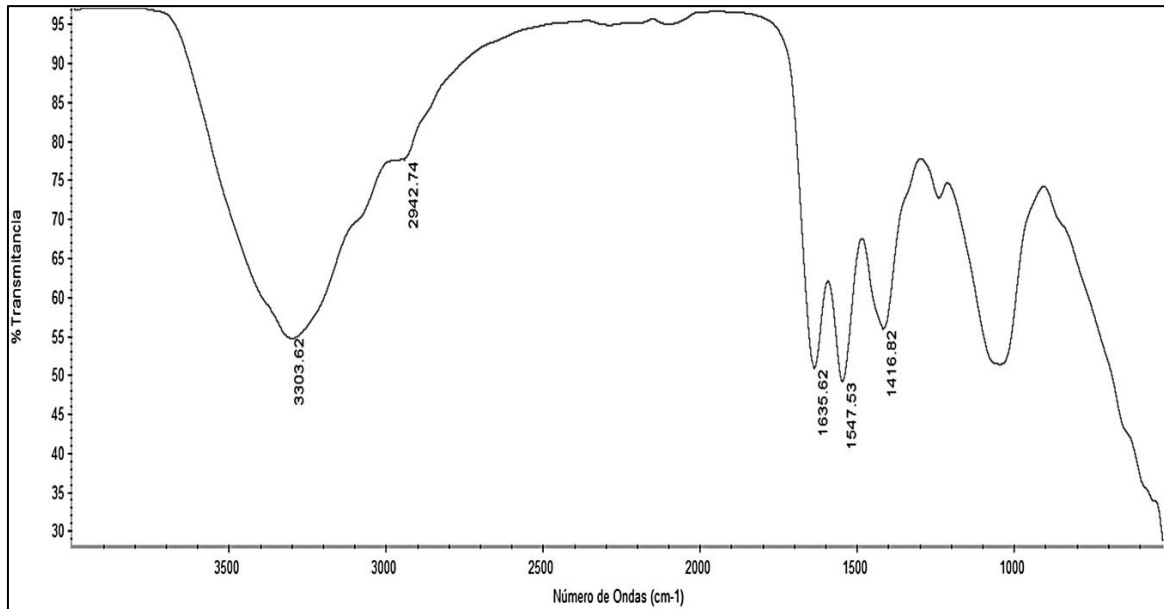
### 9.2.2 Espectro de colágeno

El espectro de reflectancia IR del colágeno obtenido concuerda con lo reportado por Chinh et al., (2019) en el que menciona los 5 picos de absorción principal del grupo amida (Ilustración 15). Por ejemplo, a  $3303\text{ cm}^{-1}$  un primer pico correspondiente al estiramiento del enlace N-H correspondiente a las amidas A,  $2942\text{ cm}^{-1}$  aparece la banda de amida B asociada al estiramiento N-H libre; La señal de estiramiento del enlace C=O en la amida I a  $1635\text{ cm}^{-1}$ , la flexión del grupo N-H de la amida II presenta señales en la región de  $1547\text{ cm}^{-1}$  y a  $1416\text{ cm}^{-1}$  la amida III. Estas bandas de absorción del colágeno obtenido fueron



similares a las de otros colágenos. Esto demostró que se obtuvo colágeno tipo I de las escamas de pescado. (Bergo, & Sobral, & P. J. A., 2007)

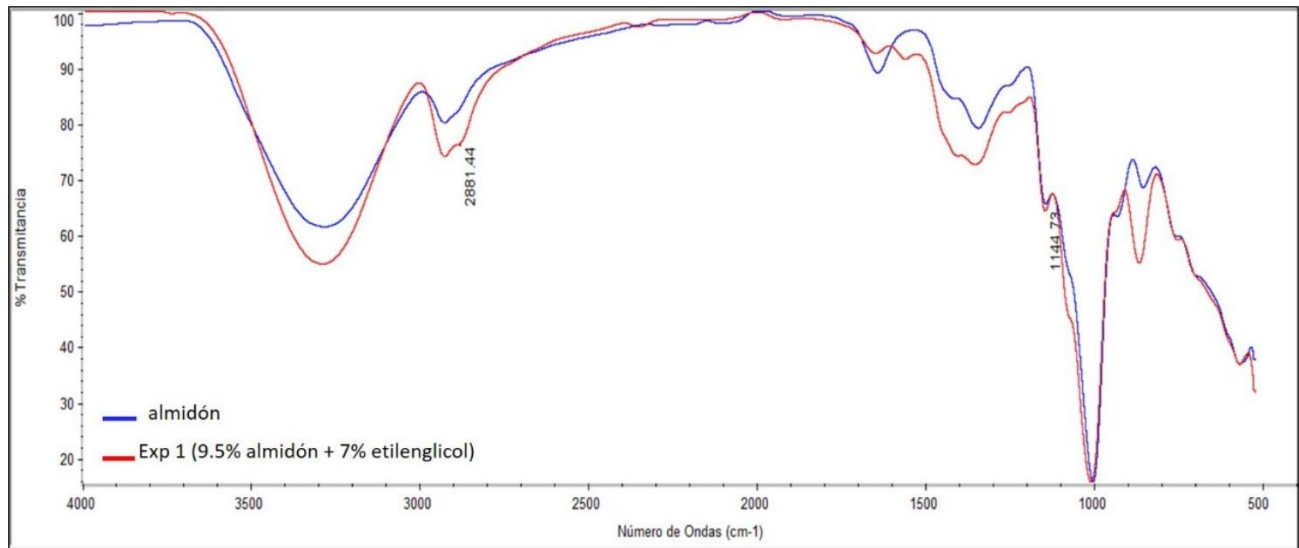
**Ilustración 15. Espectro IR del colágeno de escamas de pescado**



Fuente: Propia.

En términos generales, los espectros de las biopelículas presentaron el mismo patrón de absorbancia, con claras variaciones en la intensidad de algunas bandas. En la ilustración 16 se evidencia un patrón similar en las muestras. En la mayoría de los espectros se identifica un pico ancho de alrededor de  $3287\text{ cm}^{-1}$ , el cual se asocia con el estiramiento de los grupos O-H. A los  $2925\text{ cm}^{-1}$  se observa la vibración de tensión de los enlaces  $-\text{CH}_2$  presentes también en el espectro del almidón. De acuerdo a lo reportado por Meza et al., (2019) en el cual elaboró biopelículas con almidón y glicerol, menciona que cuando estos interactúan aparece un nuevo pico a los  $2887\text{ cm}^{-1}$  que representa al enlace CH presente al reaccionar la glucosa con el poliol, lo cual se aprecia de igual manera en los experimentos llevados a cabo en este estudio. Además, menciona que desaparece el pico  $1359\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a los enlaces  $-\text{OH}$  de los alcoholes primarios presentes en los anillos de glucosa, al reaccionar con el poliol estos enlaces desaparecen y pasan a ser enlaces éter C-O-C que se ve representado en el espectro por la aparición del pico  $1144\text{ cm}^{-1}$  lo cual se observa.

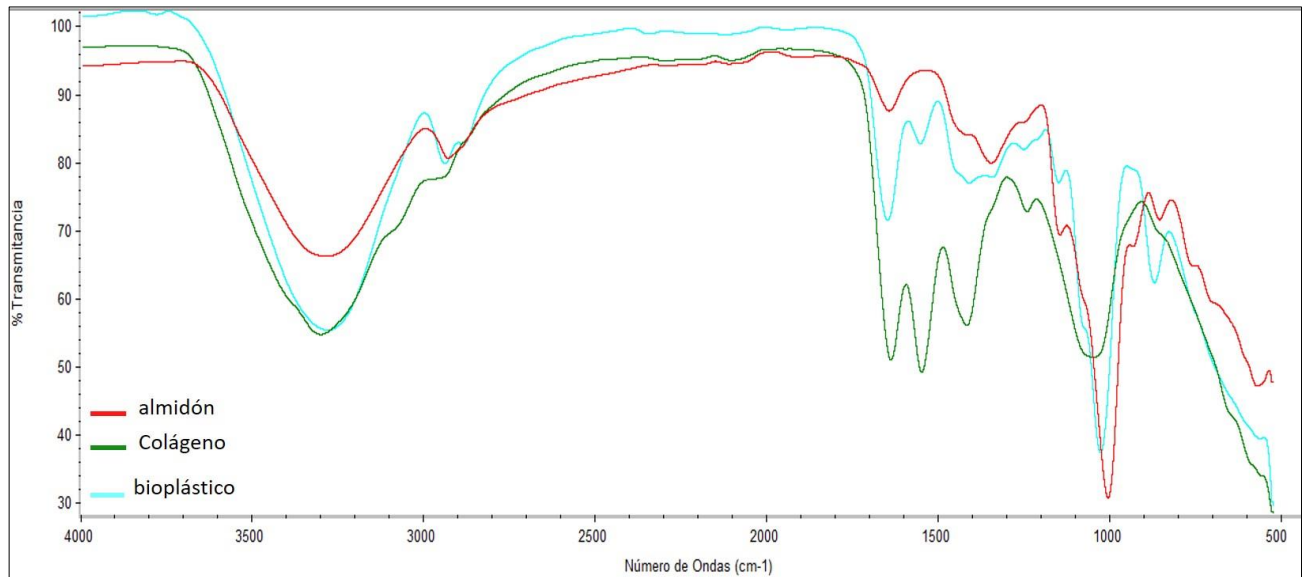
Ilustración 16. Comparación de espectros de la muestra de almidón y biopelícula



Fuente: Propia.

La ilustración 17 muestra la comparación de los espectros de las materias primas de manera individual con el de una biopelícula conformada por 9.5% almidón, 11% etilenglicol y 30% colágeno. Se observó que existe interacción entre las moléculas de almidón y las moléculas de colágeno, ya que se observa la presencia de señales particulares de estos compuestos. Los picos característicos del almidón se observan en la región de  $1028\text{ cm}^{-1}$ . Así también, la señal particular de una de las amidas a  $1550\text{ cm}^{-1}$  que corresponde al colágeno. Con ello los espectros muestran que existe interacción entre las materias primas en la formación del bioplástico. De acuerdo a lo comentado por los autores Bergo, & Sobral, & P. J. A., (2007), al aumentar la intensidad de las señales en  $3000\text{ cm}^{-1}$  y  $1050\text{ cm}^{-1}$  en el espectro de la biopelícula muestran que existe una mayor interacción entre el bioplástico respecto a las mismas señales en la materia prima.

**Ilustración 17. Espectros de las materias primas de manera individual con el de una biopelícula**



Fuente: Propia.

### 9.3 Caracterización de las biopelículas

#### 9.3.1 Contenido de humedad

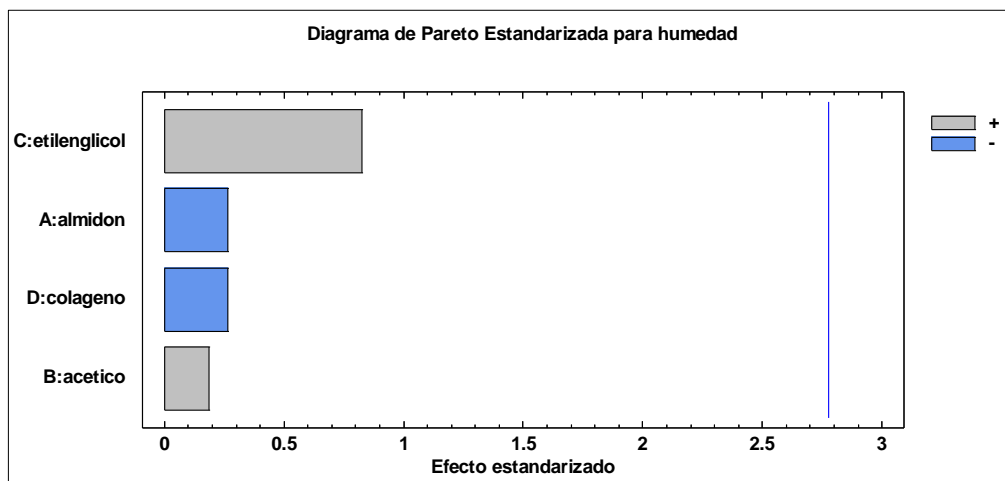
**Tabla 10. Resultados de la prueba de humedad**

Código de muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	humedad (%)
1 Col - Alm	0.670	0.505	26.28
2 Col - Alm	0.675	0.560	17.04
3 Col - Alm	0.675	0.470	30.37
4 Col - Alm	0.675	0.510	24.44
5 Col - Alm	0.670	0.475	29.10
15 Col - Alm	0.675	0.510	24.44
17 Col - Alm	0.675	0.575	14.81
23 Col - Alm	0.580	0.520	10.34
11 Alm	0.680	0.560	17.65
11 Alm - glicerol	0.675	0.540	20.00
12 Alm	0.670	0.520	16.98
14 Alm	0.670	0.530	20.90

Fuente: Propia.

En la tabla 10 se presentan los resultados de la prueba de humedad. El porcentaje de humedad de las películas osciló entre 10.34 y 30.37%. Según la norma ASTM 6980, el contenido de humedad de un plástico convencional proveniente del petróleo debe ser menor a 1%. Sin embargo, en las formulaciones de bioplásticos se reporta que se tiene como materia prima al almidón y algunos polioles, lo cual tienen la característica de ser hidrófilos y la humedad puede ser absorbida en la matriz de la película. De acuerdo a Zhang & Han, (2006), en su investigación de películas a partir de polioles y monosacáridos, obtuvieron datos de humedad entre 25.3 y 52.3% al utilizar glicerol, comparándolos con los resultados obtenidos en esta experimentación, estos se encuentran por debajo de ese rango, esto se debe a que se utilizó al etilenglicol en vez del glicerol. En la ilustración 18 se muestra el diagrama de Pareto. En él se demuestra que el factor que tuvo mayor influencia en el contenido de humedad fue efectivamente el etilenglicol. El signo positivo del factor etilenglicol significa que al incrementar el porcentaje se incrementa la humedad de las biopelículas. El signo negativo significa que si se incrementa la cantidad de almidón y colágeno la humedad disminuye.

**Ilustración 18 Diagrama de Pareto estandarizada para humedad**



Fuente: Propia.

El glicerol es un derivado del propano (propanotriol), mientras que el etilenglicol es un derivado del etano (etanodiol), este tiene un grupo OH menos que el glicerol, haciendo que sea menos hidrófilo. El plastificante juega un papel más importante en el aumento de este parámetro. El uso de plastificantes es imprescindible en la realización de biopelículas, ya que este compuesto desconecta las cadenas de amilopectina; evitando que adquieran una estructura cristalina, frágil y quebradiza. En este punto, se

forman enlaces de hidrógeno entre las moléculas añadidas del plastificante y almidón. Por lo que, los valores de humedad se encuentran dentro de lo reportado de diferentes biopelículas generando películas flexibles.

### 9.3.2 Grado de solubilidad

La solubilidad es la capacidad de una sustancia para disolverse en otra, expresada como un porcentaje de la solubilidad de la primera sustancia (el soluto) en la segunda sustancia (el solvente) (Lama, 2018). La solubilidad de las biopelículas de almidón de plátano y colágeno de escamas de pescado se muestran en la tabla 11. Se ensayaron 2 muestras por cada biopelícula. Se observó que el experimento 15 (7% almidón, 11% etilenglicol y 30% colágeno) es el que presenta mayor solubilidad ( $27.51 \pm 3.49\%$ ), mientras que el experimento 1 (9.5% almidón, 7% etilenglicol y 0% colágeno) es el que presenta menor solubilidad ( $15.15 \pm 9.19\%$ ). Esta característica hidrofílica es asociada a los enlaces de puente de hidrógeno que son formados entre las moléculas de agua y el bioplástico.

**Tabla 11. Resultados de la prueba de solubilidad**

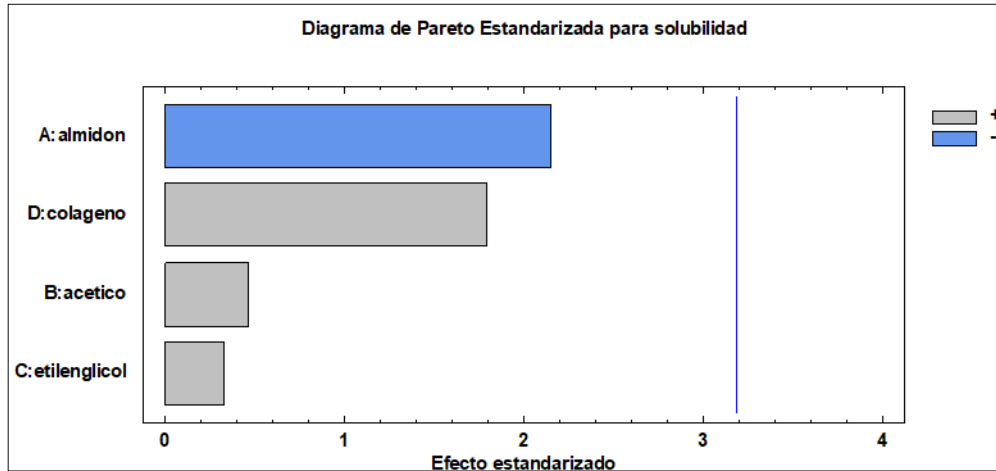
<b>Código de muestra</b>	<b>Promedio/media</b>	<b>±</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Exp 1</b>	15.15	±	9.19
<b>Exp 2</b>	17.64	±	2.42
<b>Exp 3</b>	20.05	±	3.23
<b>Exp 4</b>	17.76	±	2.53
<b>Exp 5</b>	20.17	±	3.4
<b>Exp 15</b>	27.51	±	3.49
<b>Exp 17</b>	16.47	±	0.66
<b>Exp 23</b>	19.58	±	5.26

Fuente: Propia.

En la ilustración 19 se muestra el efecto de los factores evaluados en este parámetro en el cual se observa como al aumentar la cantidad de almidón en las formulaciones la solubilidad disminuye, lo contrario a los demás factores. Wolf et al., (2009) informaron que el mayor contenido de almidón en las películas de

colágeno significaba que podían formar sistemas altamente reticulados, que podían evitar las moléculas de agua y disolver los gránulos de colágeno y almidón al penetrar en las películas de colágeno y almidón.

**Ilustración 19 Diagrama de Pareto estandarizada para solubilidad**



Fuente: Propia.

La solubilidad nos permite determinar la aplicación de un material de empaque. Si una película se disuelve muy fácilmente en agua, esta es ideal para ser un recubrimiento o cubierta comestible. En caso contrario, si no se disuelve con facilidad es favorable para cubrir alimentos (Charro, 2015). La solubilidad está muy relacionada con el contenido de amilosa-amilopectina del almidón utilizado, de la cantidad de plastificante y otros compuestos hidrofílicos agregados a la película.

En su trabajo Martín, (2021) reportó valores desde solubilidad 0.2% al 0.19% por debajo de lo obtenido en los tratamientos evaluados (15.15% – 27.51%). Las propiedades físicas de los bioplásticos determinan sus aplicaciones futuras; en este caso los materiales obtenidos en este trabajo presentan alta solubilidad acuosa, lo que facilitaría su reintegración a los ciclos naturales.

### 9.3.3 Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es una propiedad importante para evaluar el mecanismo de transporte de agua y el rendimiento de barrera de una membrana. La función principal de las membranas es generalmente evitar la transferencia de humedad entre el material y el aire circundante, por lo que el valor de WVP debe ser lo más bajo posible (Zhuang et al., 2019). En la tabla 12 se muestran los resultados

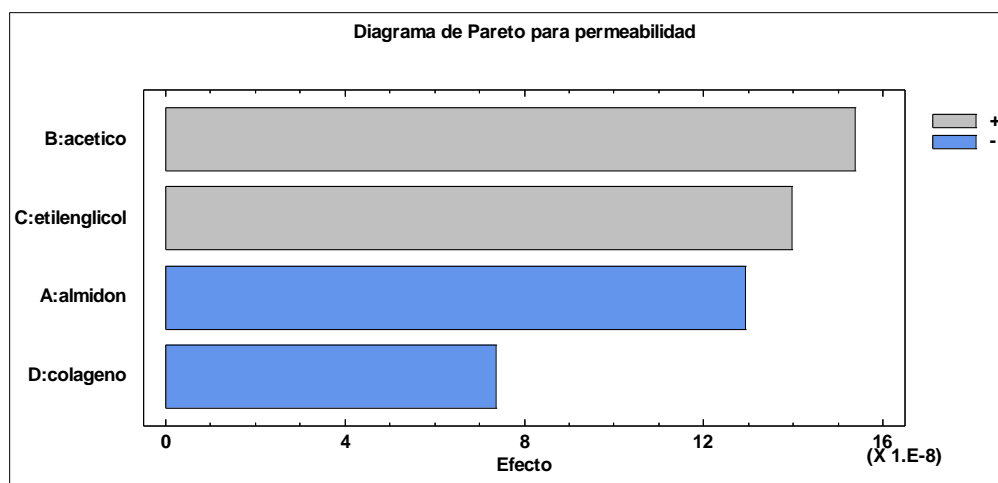
de la permeabilidad al vapor de agua. Los datos se obtuvieron a partir de la diferencia de peso en los Criotubos. El experimento 3 fue el que presentó mayor índice de PVA, dicho tratamiento está compuesto por 7% de almidón, 7% etilenglicol y 15% colágeno. Por otro lado, el tratamiento 17 compuesto por 12% almidón, 7% etilenglicol y 30% colágeno, presentó una menor diferencia estadística, lo que significa una menor permeabilidad al vapor de agua

**Tabla 12. Resultados de la prueba de permeabilidad al vapor de agua**

Código de muestra	Pva
1 Col - Alm	9.49254E-07
2 Col - Alm	8.7453E-07
3 Col - Alm	1.1172E-06
4 Col - Alm	9.60935E-07
5 Col - Alm	9.06688E-07
15 Col - Alm	9.35515E-07
17 Col - Alm	7.93666E-07
23 Col - Alm	8.56223E-07
11 Alm	9.27316E-07
11 Alm - glicerol	1.12794E-06
12 Alm	7.83857E-07
14 Alm	1.04944E-06

Fuente: Propia.

**Ilustración 20. Diagrama de Pareto para permeabilidad al vapor de agua**



Fuente: Propia.

La ilustración 20 muestra el efecto de los factores evaluados con este parámetro, mostrando que al aumentar el almidón y colágeno disminuye la permeabilidad al vapor de agua, como lo reportado por (Zhuang et al., 2019). Arreola & Fuentes, (2019) informó que la permeabilidad al vapor de agua aumenta con el aumento del contenido de plastificante, ya que esto cambia la organización molecular, haciendo que la estructura sea menos densa y, por lo tanto, más permeable, el aumento de la permeabilidad con el contenido de plastificante puede deberse a la hidrofilia de la molécula de plastificante.

El espesor de la película el cual se conocía previamente, el área al igual que en la permeabilidad al vapor de agua se halló el diámetro de la abertura del recipiente que contenía el agua y así calcular el área de contacto entre el agua y la película, el tiempo será el que tomo hacer la prueba y la diferencia de concentración la cual se expresa en presión parcial, esto debido a que esta ecuación sirve para gases y para líquidos.



### 9.3.4 Opacidad

El valor de la opacidad corresponde a una mayor absorbancia de luz visible de una muestra de película con un grosor dado. De acuerdo con Chariguamán, (2015) se requiere un bioplástico más transparente y atractivo para que los recubrimientos mantengan las propiedades originales del producto, y también es deseable una mayor opacidad para mantener las propiedades del producto que son más sensibles a la luz. En la tabla 13 se detallan los resultados de la prueba de opacidad, para este ensayo se realizaron 4 repeticiones para cada muestra. Donde se encontraron valores desde 0.255 hasta 1.358 nm. El tratamiento con mayor opacidad fue el experimento 17 conformado por 12% almidón, 11 etilenglicol y 30 % colágeno. Por el contrario, el tratamiento con menor opacidad fue el experimento 1 conformado por 9.5% de almidón, 7% etilenglicol y 0% colágeno. La opacidad de la biopelícula dependerá de la estructura del polímero utilizado, si más amorfo, más cristalino, más opaco y también su espesura influye.

**Tabla 13. Resultados de la prueba de opacidad**

<b>Código de muestra</b>	<b>Opacidad</b>	<b>±</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>1 col - alm</b>	0.255	±	0.027
<b>2 col - alm</b>	0.488	±	0.062
<b>3 col - alm</b>	0.831	±	0.061
<b>4 col - alm</b>	0.728	±	0.046
<b>5 col - alm</b>	0.731	±	0.082
<b>15 col - alm</b>	0.616	±	0.033
<b>17 col - alm</b>	1.358	±	0
<b>23 col - alm</b>	0.280	±	0.029

Fuente: Propia.

Al realizar un análisis de coeficiente de correlación se observó que los tratamientos presentaron mayor opacidad a mayor concentración de etilenglicol. Esto es contrario a lo reportado por Muñoz, (2014) donde indica que a mayor cantidad del polirol la opacidad disminuye.

### 9.3.5 Color

En la tabla 14 se puede observar los resultados de la prueba de color. Para este ensayo se realizaron 9 repeticiones a cada muestra.

**Tabla 14. Resultados de la prueba de color**

<b>Código de muestra</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Exp 1	86.017	0.939	8.033
Exp 2	74.906	2.302	13.910
Exp 3	79.944	1.614	12.098
Exp 4	74.623	2.902	15.387
Exp 5	76.491	2.474	14.057
Exp 23	84.191	0.752	8.547
Exp 11 Alm	78.230	0.752	10.516
Exp 11 Glice	82.038	0.951	11.247
Exp 12	86.481	0.472	6.009
Exp 14	82.261	1.277	8.834

Fuente: Propia.

La luminosidad de las biopelículas elaboradas se encontró en un rango de 74.62 y 86.01, presentando mayor luminosidad la película conformada 9.5% de almidón, 7% de etilenglicol y 0% de colágeno, por otro lado, la película con menor luminosidad de este grupo fue la conformada por 12% de almidón, 11% de etilenglicol y 15% colágeno. Lo que indica que tiende a blanco (Chocano, 2019). Los valores de luminosidad reportados en este estudio son cercanos a los citados por Castañeda, (2020) (81.35 y 92.03).

Las coordenadas a\* (verde-rojo) de todas las películas están dentro de los límites 0.75 a 2.90, mientras que los valores de b\* (amarillo-azul) oscilaron en un rango entre 8.03 y 15.38. Esos valores indican que los valores positivos en el índice de saturación b\* indica que la muestra tiende a tomar tonalidad amarilla, lo cual es comprobado con los resultados visuales que se presenta en la ilustración 40 (Anexos), propios de los pigmentos de almidón de plátano (Arreola & Fuentes, 2019). También se observa que los valores de índice de saturación a\* es mínima, por los que no se aprecian cambios hacia tonalidades del rojo, debido a los valores positivos registrados por la muestra.

#### 9.4 Determinación de propiedades mecánicas

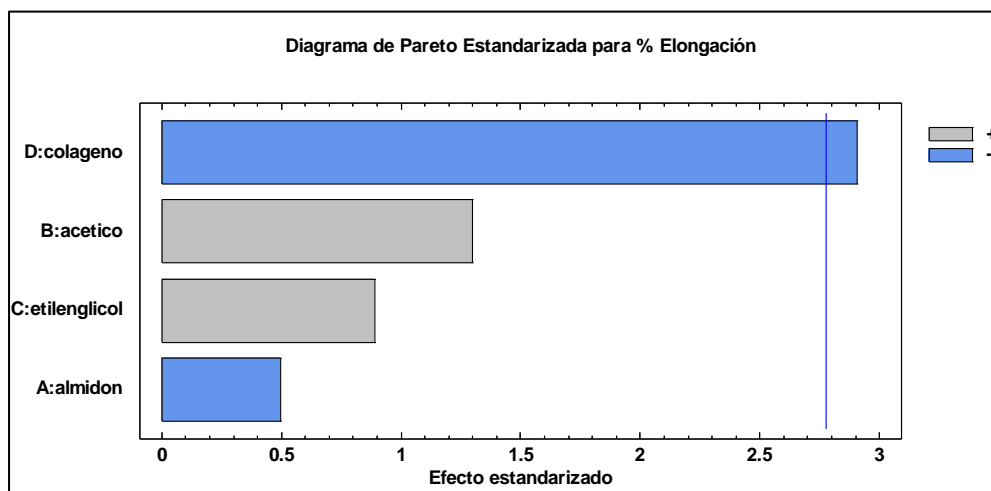
Los resultados de las propiedades mecánicas de las biopelículas de mezclas de almidón/colágeno (p/p) y usando etilenglicol como plastificante se observa en la tabla 15. En esta se puede observar diferentes valores de resistencia a la tensión y elongación. Cabe resaltar que las películas desarrolladas en esta investigación presentaron características plásticas, debido a las características propias del almidón y por la adición del etilenglicol como plastificante. De acuerdo a los resultados se obtuvo un rango de 0.2 a 0.87 MPa de fuerza de tensión, resaltando que la presencia del colágeno mejoro esta propiedad. De igual manera la presencia del acético ayuda a mejorar esta propiedad mecánica ya que esterifica los polisacáridos, modificando la naturaleza hidrofílica y se obtienen cambios significativos en las propiedades mecánicas y térmicas. Por lo tanto, al igual que lo reportado por Garcia (2017), indica que la presencia del ácido acético ayuda a aumentar la fuerza de tensión. Por otro lado, la presencia del etilenglicol mejora el porcentaje de elongación, por lo que la adición de la plastificante mejora la elasticidad de la biopelícula y la presencia del colágeno mejora la fuerza de tensión. El estudio de Huzaisham & Marsi (2020), informaron que a medida que aumenta la cantidad de almidón en la mezcla, la biopelícula se volverá más rígida, esto se confirma con el diagrama de Pareto que se muestra en la ilustración 21, donde se analizó el efecto de las cuatro materias primas con el porcentaje de elongación, confirmando que a mayor presencia de ácido acético y el etilenglicol se mejora la plasticidad de las biopelículas, efecto contrario del colágeno y almidón ya que estos mejoran la resistencia de las biopelículas. Valores similares de estas propiedades fueron reportados por Osorio & Rubiano (2019), en el desarrollo de biopelículas de cáscara de plátano y fibra natural, obtuvieron fuerzas de tensión entre un rango de 0.3375 y 1.66 MPa.

**Tabla 15. Resultados de las pruebas mecánicas**

Código de muestra	Almidón (%)	Etilenglicol (%)	Acético (%)	Colágeno (%)	Fuerza (N)	Tensión max. (Mpa)	Despl (mm)	Elongación (%)
Exp 1	9.5	7	79.5	0	5.07	0.2	14.74	29.48
Exp 2	9.5	7	86	15	9.94	0.66	15.49	30.98
Exp 3	7	15	79.5	15	ND	ND	16.69	33.39
Exp 4	12	11	86	15	ND	ND	25.49	50.98
Exp 5	9.5	11	79.5	15	ND	ND	16.58	33.16
Exp 11	9.5	15	79.5	0	ND	ND	29.49	58.98
Exp 23	7	7	79.5	15	13.11	0.87	22.93	45.86
Media					2.624	0.1622	21.0387	42.0773

Fuente: Propia.

**Ilustración 21. Diagrama de Pareto estándar para el porcentaje de elongación**



Fuente: Propia.

## 9.5 Biodegradabilidad

En la tabla 16 se presentan los resultados del porcentaje de biodegradabilidad para las muestras. Los datos obtenidos fueron a partir de láminas de bioplástico de 2 cm x 1 cm las que se trataron en condiciones aeróbicas con 12.25% de humedad del abono y una temperatura de 30°C. Para este ensayo se realizaron 2 repeticiones por muestra.

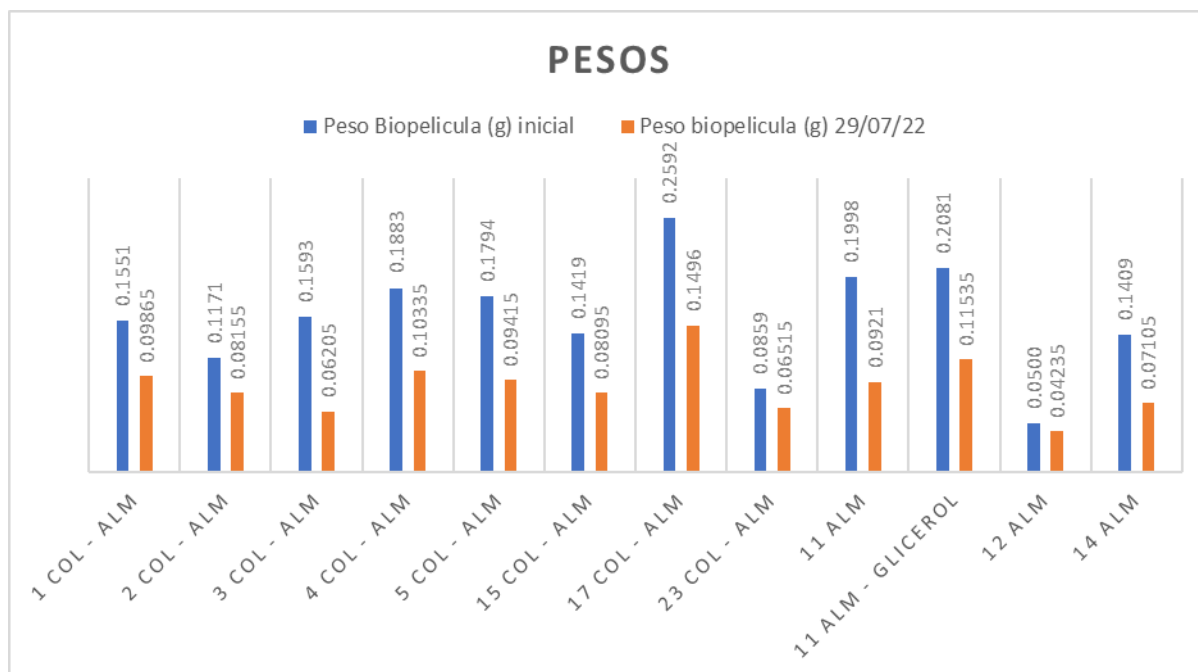
**Tabla 16. Resultados de la prueba de biodegradabilidad**

<b>Código de muestra</b>	<b>Peso Biopelícula inicial (g)</b>	<b>Peso biopelícula (g) 29/07/22</b>	<b>Degradación</b>	<b>% Degradación</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>1 Col - Alm</b>	0.1551	0.0987	0.0564	36.3754	1.0570
<b>2 Col - Alm</b>	0.1171	0.0816	0.0355	30.3289	0.4636
<b>3 Col - Alm</b>	0.1593	0.0621	0.0972	61.0361	1.9792
<b>4 Col - Alm</b>	0.1883	0.1034	0.0849	45.0996	0.8352
<b>5 Col - Alm</b>	0.1794	0.0942	0.0853	47.5195	1.5246
<b>15 Col - Alm</b>	0.1419	0.0810	0.0610	42.9528	1.0150
<b>17 Col - Alm</b>	0.2592	0.1496	0.1096	42.2840	0.1901
<b>23 Col - Alm</b>	0.0859	0.0652	0.0208	24.1560	0.3369
<b>11 Alm</b>	0.1998	0.0921	0.1077	53.8924	0.7811
<b>11 Alm - glicerol</b>	0.2081	0.1154	0.0928	44.5699	1.8956
<b>12 Alm</b>	0.0500	0.0424	0.0077	15.3000	0.4659
<b>14 Alm</b>	0.1409	0.0711	0.0699	49.5742	2.1106

Fuente: Propia.

En la gráfica 1 se representa los pesos tomados en el bioplástico al inicio y a los 30 días, donde el experimento 3 Col- Alm presenta una mayor degradación en el tiempo transcurrido, con una diferencia de peso de 0.0972 gr; el experimento 23 Col- Alm obtuvo la degradación más baja con una diferencia de 0.0208 gr.

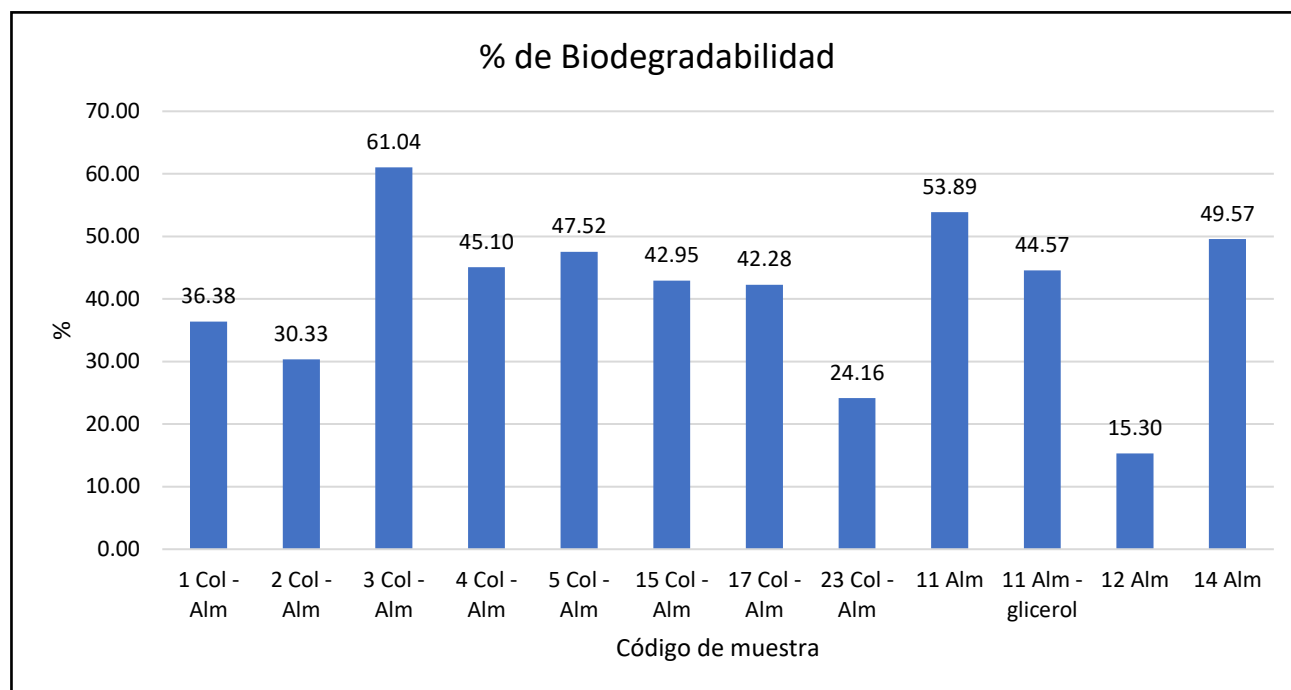
**Gráfica 1. Peso inicial y a los 30 días de las biopelículas**



Fuente: Propia.

En la gráfica 2 se detallan los valores promedio del porcentaje de biodegradabilidad para las muestras de las biopelículas a los 30 días. Al mes presentaron un porcentaje de biodegradabilidad de 24.16% y 61.04% de los experimentos Colágeno – Almidón, 15.30% y 53.89% los experimentos de almidón. El tratamiento que logró una mayor degradación en la pérdida de peso en 30 días es el experimento 3 Col-Alm con 61.04%, el cual consta de una concentración de 1.33 g de almidón y 0.20 g de colágeno con un agregado de 2.57 ml de etilenglicol. De acuerdo a los resultados, el tratamiento que logro un bajo porcentaje de degradación es el experimento 23 Col-Alm con 24.16%, el cual constituye de una concentración de 1.33 g de almidón y 0.20 g de colágeno incorporando 1.20 ml de etilenglicol.

**Gráfica 2. Porcentaje de degradación de las biopelículas a los 30 días**



Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos por Meza, (2016) que elaboró un bioplástico a partir de almidón de papa fueron de 64.21% en 92 días, mientras que en esta investigación los bioplásticos obtenidos de almidón y colágeno se degradó un 61.04% en 30 días. Por otro lado, Abril, (2020) reportó una degradación de pérdida de peso del 81.17% en 15 días, esto podría estar explicado por el material del bioplástico y por el medio de degradación. Los factores que influyen en la velocidad de degradación son las características del suelo, condiciones del medio como la temperatura, humedad, y pH (G. Ruiz, 2005). El suelo utilizado por Abril, (2020) tiene característica alta de carga de microorganismos aproximadamente de 20 000 millones por gramos y el suelo utilizado por Meza, 2016) está formado por 60% de residuos verdes y 40% de excretas.

## CONCLUSIÓN

En esta tesis se elaboró un bioplástico a partir de almidón *Musa paradisiaca* L y colágeno de escamas de pescado. Los residuos generados de la etapa pos cosecha de la industria del plátano, fue aprovechado para la obtención del almidón. Así mismo, los desechos de escama de pescado mediante la extracción por método ácido se logró obtener el colágeno.

Se analizaron las propiedades del bioplástico, mediante técnicas de espectrofotométricas donde se identificaron los grupos funcionales pertenecientes a la molécula de colágeno y almidón. Los valores obtenidos de solubilidad del bioplástico se encuentran dentro de los parámetros recomendados (15.1.5% - 27.51%).

El porcentaje de humedad no está dentro de los parámetros establecidos por ASTM 6980, ya que esta norma es empleada para plásticos convencionales provenientes del petróleo.

Prueba de propiedades mecánicas se observó que la presencia del colágeno mejoró la fuerza de tensión de las biopelículas formadas.

En cuanto a los resultados de la prueba de biodegradabilidad, el experimento 3 que presentó mayor biodegradabilidad, en 30 días se degradó el 61.04% de su peso. Demostrando que el bioplástico es biodegradable.

Por lo tanto, la contribución de este trabajo fue proporcionar una alternativa que permita el aprovechamiento de los residuos pos cosecha de la industria de plátano y las escamas de pescado, mediante la elaboración de diferentes biopelículas para aplicaciones en diversas áreas como la biotecnología alimentaria, farmacéutica, biomédica, entre otras muchas industrias.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar una enzima para obtener un mejor rendimiento en el proceso de extracción del colágeno.
- Para la elaboración de las películas se recomienda una agitación baja 140 – 170 RPM en la a parrilla de calentamiento y agitación, para evitar la formación burbujas que puedan afectar en las pruebas de propiedades mecánicas.
- Se recomiendan realizar análisis toxicológicos, para saber si se puede utilizar la biopelícula en contacto directo con los alimentos.
- Por último, se requiere profundizar en las caracterizaciones de los materiales obtenidos para su factible aplicación.
- Realizar pruebas de biodegradabilidad a las películas con microorganismos a nivel laboratorio.

## REFERENCIAS

- Abril, L. (2020). Elaboración de bioplástico de queratina obtenida de residuos de plumas de aves de corral y quitosano. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Almeida, A., Ruiz, J., López, N., & Pettinari, M. J. (2004). Bioplásticos: una alternativa ecológica. *Química Viva*, 3(3), 122–133. <http://www.redalyc.org/pdf/863/86330305.pdf>
- Aragón, I. (2018). Obtención y caracterización de un bioplástico a partir de residuos de la industria pesquera de dos especies: Marlín (*Makaira nigricans*) y Tiburón (*Carcharhinus falciformis*). Instituto Politécnico Nacional.
- Arreola, A., & Fuentes, A. (2019). Diseño y evaluación de un recubrimiento comestible para guayabas. 1.
- Bergo, P., & Sobral, P. J. A. (2007). Effects of plasticizer on physical properties of pigskin gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 1285-1289.
- Carvajal, S. (2019). Obtención de empaques biodegradables a partir de colágeno y almidón. *Αγαη*, 8(5), 55.
- Castañeda, D. (2020). Biomateriales para la conservación de compuestos feólicos extraídos de residuos de mango CV. “Haden.”
- Chariguamán, J. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). 60. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Charro, M. (2015). Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata. 151, 10–17.
- Chinh, N. T., Manh, V. Q., Trung, V. Q., Lam, T. D., Huynh, M. D., Tung, N. Q., Trinh, N. D., & Hoang, T. (2019). Characterization of collagen derived from tropical freshwater carp fish scale wastes and its amino acid sequence. *Natural Product Communications*, 14(7). <https://doi.org/10.1177/1934578X19866288>
- Chocano, N. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de una biopelícula formulada con almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y mucilago de nopal (*Opuntia ficus*).
- Da Rocha, M., Alemán, A., Romani, V. P., López-Caballero, M. E., Gómez-Guillén, M. C., Montero, P.,

- & Prentice, C. (2018). Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life. *Food Hydrocolloids*, 81, 351–363. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.017>
- Erazo, M. (2018). Evaluación del comportamiento de *Aspergillus niger* y *Penicillium* spp en la degradación de bioplástico elaborado a partir de almidón de cáscara de plátano. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10554/1/236T0413.pdf>
- Esquivel, A. S., & Martínez, C. I. (2019). Estudio de prefactibilidad para la instalación y comercialización de una planta productora de un bioplástico a partir de cáscara de naranja. <http://132.248.9.195/ptd2019/febrero/0785432/Index.html>
- Flores, C. (2017). Extracción de colágeno de las escamas de pescado utilizando diferentes niveles de rennina. 4, 9–15. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7774/1/27T0374.pdf>
- GAIA. (2021). Cuando la basura plástica nos alcanzó y nos rebasó... <https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/d9fa3e32-informe-gaia-20-de-enero-2021.pdf>
- García, A. V. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. In *International Journal of Modern Physics B* (Vol. 25, Issue 26). <https://doi.org/10.1142/S0217979211101259>
- García, I. (2017). Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa. *Universidad Nacional de Ucayali*, 32. <http://190.116.57.28/handle/UNU/3626>
- Gobierno del Estado de Chiapas. (2020). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial en el Estado de Chiapas. *Periodico Oficial Del Estado de Chiapas*, 183.
- Godínez, M., Juárez, S., Nieto, R., & Senties, M. (2016). Bioplásticos: soluciones ambientales.
- Greenpeace. (2021). Greenpeace. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Greenpeace México. (2022). Greenpeace México. Obtenido de Greenpeace México

- Guadrón, E. (2013). Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón de Guineo Majoncho verde, para su uso en la industria de alimentos. 195. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927>
- Héctor, P., & Heredia, M. (2019). Extracción de almidón a partir de residuos orgánicos para la fabricación de utensilios biodegradables. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 24(4), 233–244. <https://doi.org/10.1145/1390630.1390641>
- Holguín, J. (2019). Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa. 5–10.
- Huzaisham, N. A., & Marsi, N. (2020). Utilization of banana (*Musa paradisiaca*) peel as bioplastic for planting bag application. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, 11(4), 108–118. <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.4.2020.013>
- Imatclinic. (2017). Inductores de Colágeno | Medicina Estética Castelldefels. Obtenido de Imatclinic medicina estética: <https://imatclinic.com/medicina-estetica-facial/inductores-de-colageno/>
- Lama, J. (2018). Elaboración de bioplástico aprovechando la pectina presente en la cascara de naranja valencia (*Citrus × sinensis*) reforzado con almidón de yuca a nivel de laboratorio – UCV sede Lima Norte 2018. 125.
- Llerena, J., & Monzón, L. (2017). Elaboración de un envase biodegradable a partir de almidón obtenido de arroz quebrado (*Oryza sativa*), queratina obtenida de residuos avícolas (plumas) fortificado con residuos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*). Repositorio de Tesis UCSM, 1–151. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6666/42.0158.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, I. (19 de Marzo de 2019). El heraldo de Chiapas. Obtenido de <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/crece-basura-de-plastico-3202619.htm>
- Márquez, D. N. (2021). Elaboración de películas biodegradables utilizando escamas de pescado, concentrado de proteína de soya y almidón de papa.
- Martín, H. (2021). Extracción de biopolímeros a partir de desechos agroindustriales y su aplicación en la formación de películas funcionalizadas con miel. 120.
- Meza, P. (2016). Elaboración de bioplásticos a partir de almidón residual obtenido de peladoras de papa y determinación de su biodegradabilidad a nivel de laboratorio. *Facultad De Ciencias*, 103.

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2016/Q60-M49-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Meza, P., Quipuzco, L., & Meza, V. (2019). Elaboración de bioplásticos y determinación de su biodegradabilidad. *Rev. Del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM*, 22(43), 67–80.

Michola, G. (2019). Elaboración y degradación de bioplástico de residuos de *Solanum tuberosum* y *Tropaeolum tuberosum* en lugares de baja temperatura- Oyón, 2019. Ucv, 0–116.

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45862/Minchola\\_SGV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/45862/Minchola_SGV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Muñoz, J. M. (2014). Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus propiedades físicas y de barrera. 58.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c2c06b9d-86c1-43e2-83e3-3eecbb12653d/content>

ONU. (2018). Recuperado el 18 de Noviembre de 2020, de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/un-tercio-de-los-residuos-de-america-latina-y-el-caribe>

ONU. (2020). Noticias ONU. Recuperado el 18 de Noviembre de 2020, de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2018/06/1435111>

Osorio, A., & Rubiano, K. (2019). Desarrollo de una biopelícula partiendo de cáscara de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio. *Society*, 2(1), 1–19.

[http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS\\_](http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_)

Ovando, A. (2021). Biomaterial quelado con metales a partir de colágeno extraído de piel de pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*). *Tecnológico Nacional de México*.

Ramos, C. (2018). Obtención y caracterización de colágeno a partir de las escamas de pescados rojos y pardo. 121. <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/17289/1/T-UCE-0017-IQU-025.pdf>

Rodríguez, D., López, V., Alpizar, A., & Calixto, M. (2020). Biopolímeros: de principio a fin. *Mujeres*

En La Ciencia Biología, 107–129. <https://doi.org/10.35429/h.2020.9.107.129>

- Rosales, A. (2016). Obtención de biopolímero plástico a partir del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*), por el método de polimerización por condensación en el laboratorio 110 de la UNAM - Managua.
- Ruiz, G. (2005). *Polímeros Biodegradables a partir de almidón de yuca*. Eafit, 97. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys\\_RuizAviles\\_2005.pdf?sequence=2](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/7364/Gladys_RuizAviles_2005.pdf?sequence=2)
- Ruiz, G. (2019). Obtención de un biopolímero a partir de harina de plátano de desecho (*Musa x paradisiaca*). 01(993). [http://itvillahermosa.edu.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio\\_de\\_tesis\\_2014-2020/GRISELDA RUIZ GARCIA TESIS.pdf](http://itvillahermosa.edu.mx/docs/departamentos/tesis/repositorio_de_tesis_2014-2020/GRISELDA RUIZ GARCIA TESIS.pdf)
- Ruiz, M., Pastor, K., & Acevedo, A. (2012). Biodegradabilidad de artículos desechables en un sistema de composta con lombriz. *Informacion Tecnologica*, 24(2), 47–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000200007>
- Secretaría general de Gobierno. (2022). Periódico oficial Órgano de difusión oficial del estado libre y soberano de Chiapas. 405, 5–9.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. January 2007, 361–372. [https://www.researchgate.net/publication/242144167\\_Contaminacion\\_ambiental\\_y\\_bacterias\\_productoras\\_de\\_plasticos\\_biodegradables](https://www.researchgate.net/publication/242144167_Contaminacion_ambiental_y_bacterias_productoras_de_plasticos_biodegradables)
- Syafri, E., Kasim, A., Abrial, H., & Asben, A. (2017). Effect of precipitated calcium carbonate on physical, mechanical and thermal properties of cassava starch bioplastic composites. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(5), 1950–1956. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.5.1292>
- Tecnología del plástico. (2019). Obtenido de Tecnología del plástico: <https://www.plastico.com/temas/Entendiendo-las-diferencias-entre-compostables,-bioplasticos-y-biodegradables+95010?pagina=2>
- Valero, M. F., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: Avances y perspectivas. *DYNA*

(Colombia), 80(181), 171–180.

Vicente, R. (2018). Aprovechamiento de la cáscara residual de la Musa balbisiana para la obtención de bioplástico en el Mercado APECOLIC - Comas - 2018”. Universidad César Vallejo.

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24754>

Wolf, K., Sobral, P., & Telis, V. (2009). Physicochemical characterization of collagen fibers and collagen powder for self-composite film production. *Food Hydrocolloids*.

Zhang, Y., & Han, J. (2006). Mechanical and thermal characteristics of pea starch films plasticized with monosaccharides and polyols. *Journal of food science*, E109-E118.

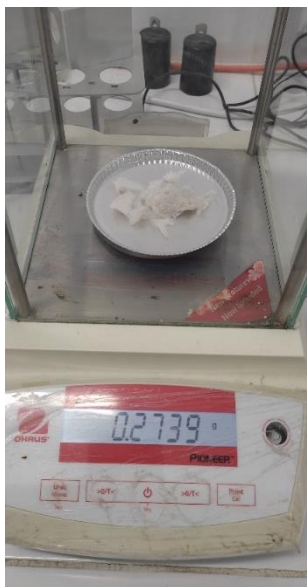
Zhuang, Y., Ruan, S., Yao, H., & Sun, Y. (2019). Physical properties of composite films from tilapia skin collagen with Pachyrhizus starch and rambutan peel phenolics. *Marine Drugs*, 17(12).

<https://doi.org/10.3390/md17120662>

## ANEXOS

### Elaboración del bioplástico

**Ilustración 24 Medición del colágeno**



**Ilustración 22. Medición del almidón**



**Ilustración 25 Elaboración del bioplástico**

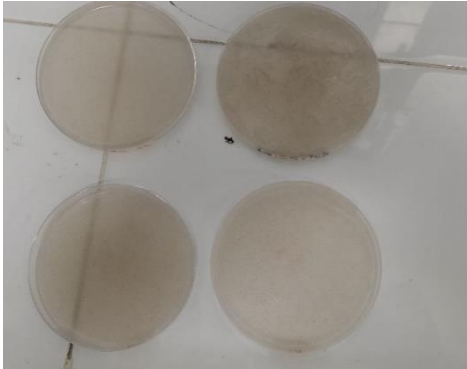


**Ilustración 23 Método casting**

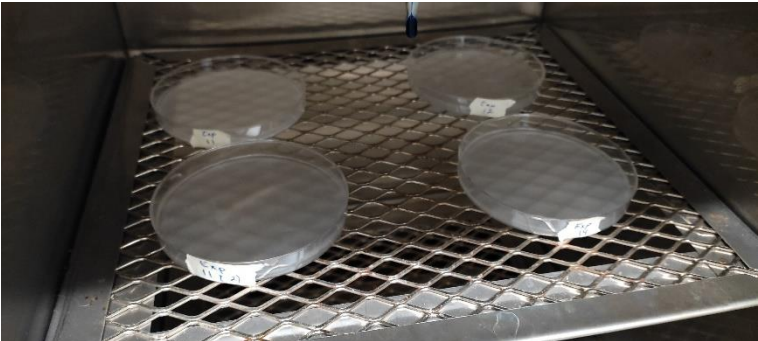




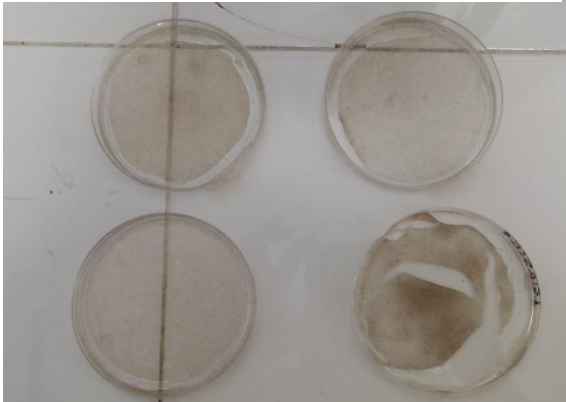
**Ilustración 28 Biopelículas antes del secado**



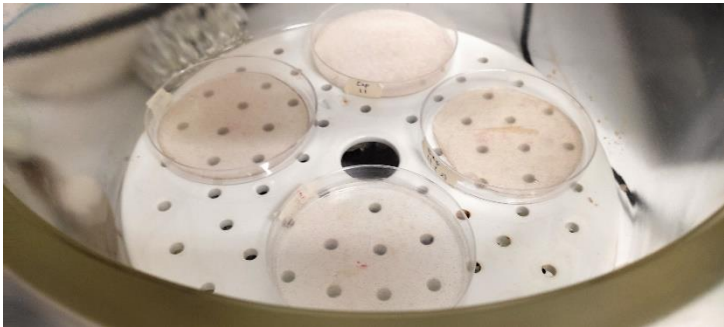
**Ilustración 29 Secado de las biopelículas en horno**



**Ilustración 26 Biopelículas después de 24 en el horno**



**Ilustración 27 Almacenamiento de las películas en desecador**



## Caracterización de las biopelículas

### Prueba de humedad

Ilustración 30 Prueba de humedad



### Prueba de solubilidad

Ilustración 32 Películas cortas en cuadros de 1.4 x 1.4 cm

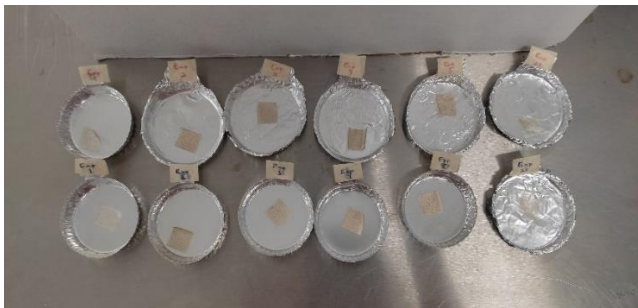
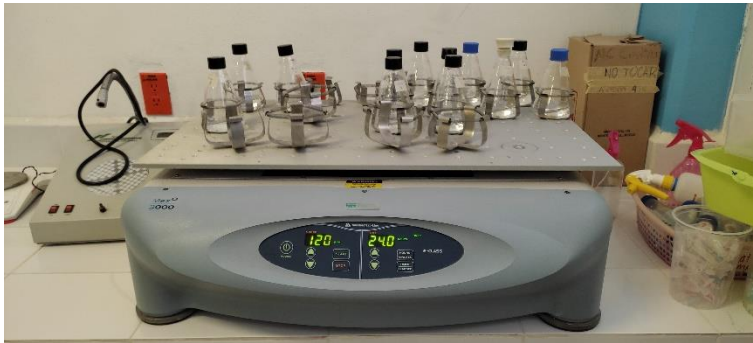


Ilustración 31 Secado de las películas cortadas



**Ilustración 36 Películas en matraces en mesa agitadora orbital**



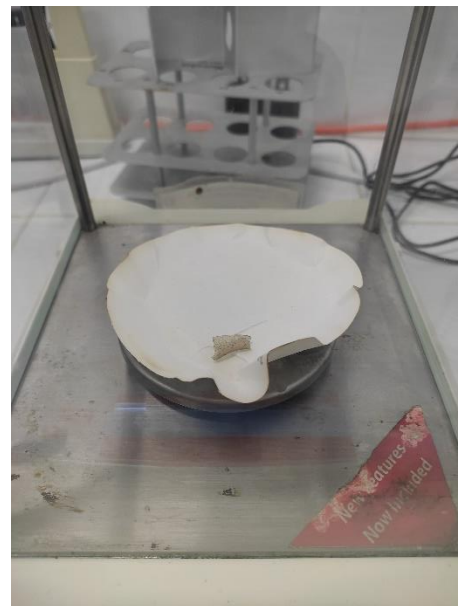
**Ilustración 35 Separación de las películas del líquido**



**Ilustración 34 Secado de las películas por 24 horas**



**Ilustración 33 Toma de peso de las biopelículas después de 24 horas en el horno**



## Prueba de opacidad

**Ilustración 38**  
Espectrofotómetro UV-VIS

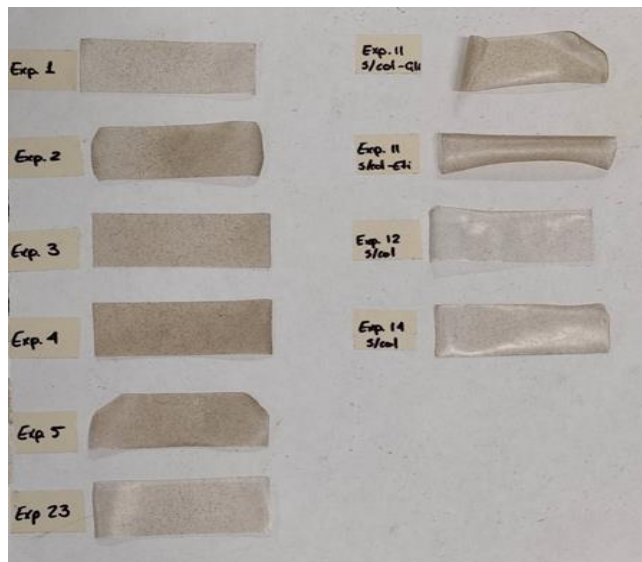


**Ilustración 37** Prueba de opacidad



## Determinación de las propiedades mecánicas

**Ilustración 40** Tiras de biopelículas para las pruebas mecánicas



**Ilustración 39**  
Texturómetro de ensayo EZ



## Prueba de permeabilidad al vapor de agua

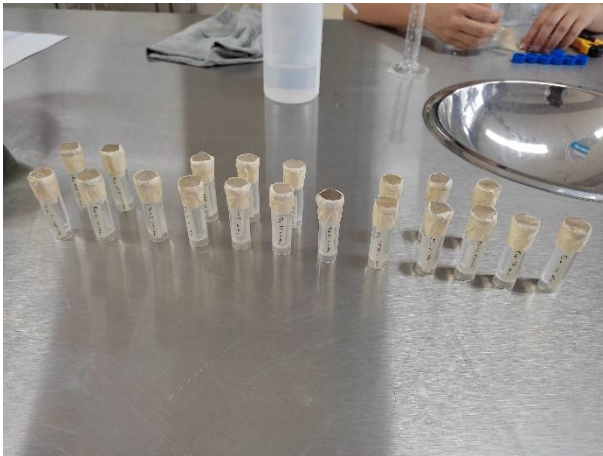
**Ilustración 42**  
Preparación de los criotubos



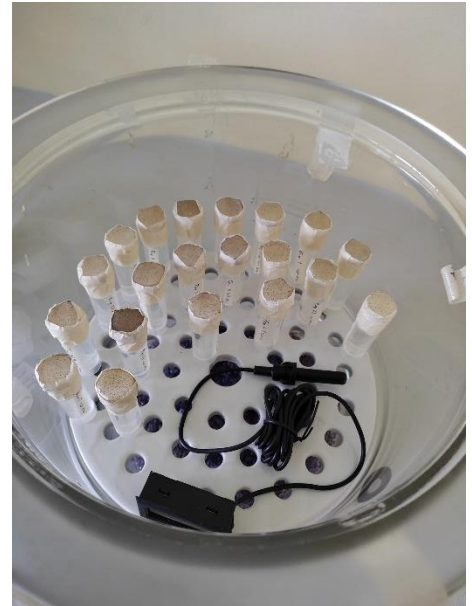
**Ilustración 41** Cortado de las biopelículas



**Ilustración 43** Películas selladas en los criotubos



**Ilustración 44** Almacenamiento de los contenedores en el desecador



## Biodegradabilidad

Ilustración 48 Preparación de los materiales para la prueba de biodegradabilidad



Ilustración 47 Colocación de las láminas



Ilustración 46 Prueba de biodegradabilidad



Ilustración 45 Evaluación de pérdida de peso después de 4 semanas

