

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA  
BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE PLÁTANO  
VERDE (*Musa paradisiaca*) INCORPORANDO ACEITE  
ESENCIAL DE ORÉGANO (*Origanum sp.*) COMO INHIBIDOR  
MICROBIANO EN LA PRESERVACIÓN DE FRESAS  
EMPACADAS**

PRESENTADO POR:

**MILAGRO DE LA PAZ ARGUETA MIRANDA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Y

**ASTRID MELISSA TRUJILLO RIVERA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2019

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**MSc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

DIRECTOR:

**Dra. TANIA TORRES RIVERA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Título:

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA  
BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE PLÁTANO  
VERDE (*Musa paradisiaca*) INCORPORANDO ACEITE  
ESENCIAL DE ORÉGANO (*Origanum sp.*) COMO INHIBIDOR  
MICROBIANO EN LA PRESERVACIÓN DE FRESAS  
EMPACADAS**

Presentado por:

**MILAGRO DE LA PAZ ARGUETA MIRANDA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ ANIBAL ERAZO CORNEJO**

**SAN SALVADOR, JUNIO DE 2019**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERA QUÍMICO**

Título:

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA  
BIOPELÍCULA A PARTIR DE ALMIDÓN DE PLÁTANO  
VERDE (*Musa paradisiaca*) INCORPORANDO ACEITE  
ESENCIAL DE ORÉGANO (*Origanum sp.*) COMO INHIBIDOR  
MICROBIANO EN LA PRESERVACIÓN DE FRESAS  
EMPACADAS**

Presentado por:

**ASTRID MELISSA TRUJILLO RIVERA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ ANIBAL ERAZO CORNEJO**

**SAN SALVADOR, JUNIO DE 2019**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ ANIBAL ERAZO CORNEJO**

## AGRADECIMIENTOS GENERALES

Gracias a Dios todopoderoso que nos ha permitido llegar a esta instancia donde culmina nuestra formación como ingenieras, por haber cuidado nuestros pasos, regalarnos la fuerza y tenacidad necesaria para poder alcanzar esta meta.

Agradecemos a la Universidad de El Salvador, a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y a su personal docente por habernos transmitido sus valiosos conocimientos y experiencias, las cuales contribuyeron a nuestro crecimiento como profesionales.

A nuestra asesora *Inga. Haydee Munguía de Pérez*, por todos sus aportes, su apoyo y orientación durante esta investigación, gracias por acompañarnos y siempre estar dispuesta a ayudarnos en los momentos difíciles que se presentaron.

A nuestro asesor *Ing. Anibal Erazo* por ayudarnos a mejorar la calidad de nuestra investigación.

Un especial agradecimiento al *Ing. Mario Bermúdez* por su valiosa dirección en el análisis estadístico que hizo posible la realización de este trabajo de grado.

A la *Inga. Iliana Morales* por toda su colaboración y por habernos facilitado los recursos necesarios para llevar a cabo nuestro trabajo de investigación.

Al *Ing. Teodoro Ramírez Zelaya* por permitirnos usar las instalaciones de la Planta Piloto durante la fase experimental de este estudio.

A la *Inga. Ana Cecilia de Flamenco* por su valiosa orientación en la realización de las pruebas de caracterización de nuestra materia prima y por darnos ánimos siempre.

A la *Inga. Delmy Rico* por su calidad como docente y su gran capacidad para guiar nuestras ideas durante este proceso.

Al *Sr. Alexander Padilla* y *Sr. Oscar Morán*, por sus consejos y por facilitarnos el uso del material necesario para la realización de este trabajo de grado.

*Astrid Trujillo y Milagro Argueta*

## **AGRADECIMIENTOS**

Lo que en su momento parecía un sueño, ahora es una realidad, feliz de cerrar un ciclo en mi vida y ansiosa por los nuevos retos que vendrán.

Agradecida con Dios por cuidarme en mi camino, por ayudarme a superar cada obstáculo, y por esas lecciones que ha puesto en mi vida para ser una mejor persona.

A mis padres, a mi papa Antonio Argueta que desde el cielo me ha cuidado y que este logro también es gracias a él, a mi mama María Miranda, la persona que más admiro en la vida, por ser ese apoyo incondicional, por estar conmigo en los momentos más difíciles, y por siempre motivarme a seguir adelante a pesar de las dificultades.

A mis hermanas por acompañarme con su incondicional apoyo en este proceso, en especial a Fátima por mantenerse a mi lado ante cualquier circunstancia, por escucharme, por todas las cosas que pasamos juntas, este logro lo celebro y lo comparto contigo.

A mis amigas y amigos, por los momentos alegres y por esos momentos tristes también, porque se convirtieron en un apoyo en toda circunstancia, gracias por cada aventura compartida, por los consejos, paciencia y buenos deseos.

Y finalmente agradezco a cada una de esas personas que aparecieron en mi vida y se quedaron y aquellas que solo estuvieron por un momento pero que me ayudaron y dejaron lecciones por aprender.

*Milagro Argueta*

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a la infinita misericordia de **Dios** que me permite estar hoy escribiendo estas tan emotivas palabras, por bendecir mi vida, regalarme salud, protegerme y darme las fuerzas para perseverar en este largo camino. Sin él jamás habría podido lograrlo.

A mis amados padres, con quienes estaré eternamente en deuda, todos mis pequeños triunfos, el costado bueno de quien soy hoy y lo que Dios me permita alcanzar en algún futuro es por y para Uds. A mi papi **René Trujillo** gracias por enseñarme a “nunca mirar atrás”, por motivarme a ser mejor, a soñar en grande y sobre todo por protegerme y amarme en la manera que lo hace. A mi mami **Delmy Rivera**, por todos sus esfuerzos y sacrificios, por enseñarme a luchar hasta el final, a no rendirme ante el primer obstáculo... en sus brazos todas las cargas se vuelven más ligeras, es su amor sin lugar a dudas mi mayor fortaleza.

Esta meta cumplida, mi sueño, que fue el sueño de ambos, se lo dedico a mi hermano **Elmer Giovanni**, su perseverancia, esfuerzo y determinación han sido mi mayor inspiración, y aunque no pueda acompañarme físicamente es ésta etapa, su amor está presente cada día que pasa.

A mi tía **Alma Dina**, gracias por ser una segunda madre, por estar siempre pendiente de mi salud y mis estudios, y a todos mis familiares quienes me brindaron palabras de aliento durante éste proceso.

A todos *mis maestros*, por su contribución en mi formación académica, especialmente a **Seño Silvia** quien fue más allá de su labor como docente cuidando de mí durante mi niñez y preocupándose por mi bienestar hasta la fecha.

A mis *queridas amigas*, que han ido sumándose a mi vida a lo largo de estos años, gracias por la complicidad, el apoyo, por las palabras de ánimo, por esas tardes de pláticas en las que junto a un café filosofamos sobre la vida y divagamos entre nuestros más locos sueños, cada risa, cada anécdota y cada aventura me acompañarán siempre en la memoria y Uds. en el corazón.

A los *amigos y compañeros* con los que compartí largas jornadas de estudio, quienes me ayudaron en algún momento de dificultad y con los que viví momentos llenos de risas... estén donde estén, ¡Gracias!

**Astrid Melissa Trujillo Rivera**

## RESUMEN

En la presente investigación se elaboró y caracterizó una biopelícula a partir de almidón de plátano verde incorporando aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano con la finalidad de preservar de fresas empacadas, además se realizó una comparación de la efectividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano frente al sorbato de potasio.

Inicialmente se realizaron los procesos de extracción a nivel de laboratorio así como caracterización de materias primas: almidón de plátano verde y aceite esencial de orégano, el primero se obtuvo por el método seco y el segundo aplicando el método de hidrodestilación, en relación a la caracterización se realizaron distintos análisis fisicoquímicos utilizando diferentes normas y metodologías.

Durante el desarrollo de la investigación, se establecieron diferentes formulaciones en relación a la concentración de almidón, glicerina y antimicrobianos a utilizar. Se planteó elaborar las biopelículas manteniendo constante las proporciones de almidón-glicerina y añadiendo diferentes concentraciones de los antimicrobianos (aceite esencial de orégano, sorbato de potasio), para ello se realizó una prueba piloto con tres formulaciones, variando la concentración de almidón y glicerina en cada formulación, la formulación elegida fue aquella que presentó mejores características como biopelícula y recubrimiento, dicha formulación fue la constituida por 3.75 % P/V de almidón y 3 % P/V de glicerina, obteniendo la concentración almidón-glicerina y las diferentes concentraciones de antimicrobianos se prosiguió a elaborar las biopelículas y recubrimientos en fresas con las diferentes formulaciones, con respecto a las biopelículas se realizaron pruebas de permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua y biodegradabilidad; la permeabilidad al vapor de agua se vio afectada por los agentes antimicrobianos agregados a las formulaciones, siendo la menos permeable la formulación F4 constituida por sorbato de potasio y las más permeables al vapor de agua las adicionadas con aceite esencial de orégano, en relación a la solubilidad en agua, las formulaciones menos solubles fueron aquellas constituidas por el aceite esencial de orégano, siendo la formulación F3 con mayor concentración de aceite esencial de orégano la menos soluble, con respecto a la biodegradabilidad, todas las biopelículas elaboradas resultaron completamente biodegradables y su tiempo de desintegración física es de 27 días; en lo referente a la aplicación del recubrimiento en fresas, éste se realizó por inmersión en todas las formulaciones seguidamente las fresas recubiertas se almacenaron a una temperatura de 3°C al

igual que las fresas control o de referencia (sin recubrimiento), periódicamente se realizaron pruebas de sólidos solubles totales (°Brix), pérdida de humedad, pH y acidez titulable, para determinar cuál formulación constituida por aceite esencial de orégano presentaba los mejores parámetros de calidad se realizó un análisis exploratorio mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP), arrojando que la formulación F3 presentaba mejores características de calidad, además se aplicó análisis de varianza de dos factores que permitió evaluar por separado cada prueba de calidad realizada, para determinar si existía una diferencia significativa al utilizar un recubrimiento con respecto a otro, encontrándose diferencia significativa solamente en la prueba de pérdida de humedad.

La vida de anaquel en fresas con recubrimiento se determinó por análisis microbiológico y análisis sensorial, el análisis microbiológico se llevó a cabo por medio del recuento total de hongos y levaduras, arrojando una vida de anaquel de 7 días para la formulación F1 y 18 días para las formulaciones F2, F3 y F4.

Con relación al análisis sensorial, este se realizó a través de la prueba de aceptabilidad y prueba de preferencia, se evaluaron fresas recubiertas con la formulación F3 y F4, en la prueba de aceptabilidad el parámetro sabor representa diferencia estadísticamente significativa, debido a la intensidad característica del aceite esencial de orégano, la presencia de éste en las formulaciones le confiere un sabor particular al fruto que lo diferencia de una fresa común, con respecto a los parámetros de color, olor y textura no existe diferencia significativa entre una formulación y otra, por lo tanto estos parámetros no se ven alterados con la incorporación del aceite esencial de orégano al recubrimiento, en la prueba de preferencia la formulación que contenía sorbato de potasio no fue significativamente más preferida que la muestra que incorporaba aceite esencial de orégano, por lo tanto, el tipo de inhibidor microbiano adicionado en el recubrimiento no disminuye la probabilidad de que una persona seleccione ese fruto.

# ÍNDICE

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
OBJETIVOS	1
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
1.1. Deterioro de frutas frescas en el período postcosecha. ....	3
1.1.1. Deterioro fisiológico. ....	4
I) Daños causados por la temperatura. ....	4
II) Daños por baja concentración de oxígeno. ....	6
III) Daños por alta concentración de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ). ....	6
IV) Daños por pérdida de agua .....	6
1.1.2. Daños mecánicos. ....	6
I) Lesiones, cortes o perforaciones. ....	7
II) Impacto. ....	7
III) Compresión (apretujamiento o aplastamiento). ....	7
IV) Vibración (Sacudidas). ....	7
1.1.3. Enfermedades y plagas. ....	7
1.2. Generalidades sobre películas y recubrimientos comestibles. ....	8
1.2.1. Definición. ....	9
1.2.2. Funciones. ....	9
1.2.3. Componentes de una película comestible. ....	10
I) Polisacáridos, proteínas y lípidos como matrices estructurales. ....	11
II) Plastificantes. ....	13
III) Emulsificantes y surfactantes. ....	13
IV) Antimicrobianos. ....	14

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
1.2.4. Principales propiedades de películas y recubrimientos comestibles. ....	15
I) Propiedades de barrera.....	15
II) Propiedades mecánicas.....	16
III) Propiedades físico-químicas.....	17
1.2.5 Técnicas de aplicación de películas y recubrimientos comestibles. ....	18
1.3.    Generalidades de productos hortofrutícolas: Plátano y fresas. ....	18
1.3.1. Plátano. ....	18
I) Clasificación botánica del plátano.....	19
II) Características del fruto (plátano).....	20
III) Composición nutricional del plátano verde.....	20
IV) Usos del plátano.....	21
V) Cultivo de plátano en El Salvador.....	22
1.3.2 Fresas.....	22
I) Morfología de la fresa.....	23
II) Importancia económica del cultivo de fresas.....	23
III) Recolección, almacenamiento y conservación postcosecha.....	24
IV) Principales microorganismos que atacan a las fresas en periodos postcosecha.....	25
1.4    Aceite esencial de orégano: Generalidades y antecedentes en el uso de biopelículas comestibles. ....	27
1.4.1 Generalidades del orégano.....	27
1.4.2 Aceite esencial de orégano. ....	27
1.4.3 Métodos de extracción de los aceites esenciales. ....	28
1.4.4 Caracterización de los aceites esenciales.....	29
1.4.5 Composición química del aceite esencial de orégano. ....	31
1.4.6 Propiedad antimicrobiana del aceite esencial de orégano. ....	32

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
1.4.7 Antecedentes sobre el uso del aceite esencial de orégano en biopelículas comestibles. ....	33
1.5 Almidón: Generalidades y antecedentes en biopelículas comestibles.....	35
1.5.1 Generalidades del almidón. ....	35
1.5.2 Composición química del almidón.....	36
1.5.3 Métodos de extracción.....	37
I) Método húmedo.....	38
II) Método seco.....	38
1.5.4 Gránulos del almidón. ....	38
1.5.5 Cambios térmicos producidos en el gránulo del almidón. ....	39
I) Gelatinización.....	39
II) Retrodegradación.....	40
1.5.6 Uso del almidón en biopelículas comestibles. ....	41
2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	45
2.1 Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano. ....	45
2.1.1 Diseño de la toma de muestra y operaciones preliminares. ....	45
2.1.2 Proceso de extracción del aceite esencial de orégano ....	45
2.1.3 Caracterización del aceite esencial de orégano. ....	47
I) Densidad.....	47
II) Índice de refracción.....	48
III) Infrarrojo.....	48
2.2 Extracción y caracterización del almidón de plátano verde.....	48
2.2.1 Diseño de la toma de muestra y operaciones preliminares. ....	48
2.2.2 Proceso de extracción del almidón de plátano verde.....	50

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
2.2.3 Caracterización del almidón de plátano verde. ....	51
I) Pureza.....	51
II) Determinación de pH, Acidez titulable, índice de absorción en agua.....	52
2.3 Diseño experimental para la formulación de las biopelículas.....	52
2.3.1 Determinación de la concentración de almidón de plátano verde y glicerina en las biopelículas.....	53
2.3.2 Determinación de la concentración de antimicrobianos: Sorbato de potasio y aceite esencial de orégano. ....	54
2.4 Elaboración y caracterización de las biopelículas.....	55
2.4.1 Proceso de elaboración de las biopelículas.....	55
2.4.2 Caracterización de las biopelículas. ....	58
I) Permeabilidad al vapor de agua.....	58
II) Solubilidad.....	59
III) Biodegradabilidad.....	59
2.5 Acondicionamiento de materia prima: Fresas.....	59
2.5.1 Operaciones preliminares. ....	59
2.6 Procedimiento para recubrir las fresas con las biopelículas. ....	61
2.7 Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y con recubrimiento. ...	62
I) Tiempo de estudio.....	62
II) Parámetros de calidad.....	62
A) Sólidos solubles totales (°BRIX).....	62
B) Pérdida de peso (humedad).....	63
C) Determinación de pH.....	63
D) Determinación de Acidez titulable.....	64

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
2.8 Vida de anaquel de las fresas.....	64
2.8.1 Análisis microbiológico.....	65
2.8.2 Análisis sensorial. ....	66
3 DESARROLLO METODOLÓGICO.....	71
3.1 Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano. ....	71
3.1.1 Extracción. ....	71
3.1.2 Caracterización. ....	72
I) Densidad.....	72
II) Índice de refracción.....	72
III) Infrarrojo.....	72
3.2 Extracción y caracterización de almidón de plátano verde.....	73
3.2.1 Extracción. ....	73
3.2.2 Caracterización. ....	74
I) Pureza.....	74
II) Determinación de pH.....	75
III) Determinación de la Acidez titulable.....	75
IV) índice de absorción en agua.....	75
3.3 Formulación de las biopelículas de almidón de plátano verde. ....	76
3.3.1 Resultados de la prueba piloto para elaboración de biopelículas.....	78
3.4 Caracterización de las biopelículas. ....	81
3.4.1 Permeabilidad al vapor de agua. ....	82
3.4.2 Solubilidad en agua. ....	83
3.4.3 Biodegradabilidad. ....	84
3.5 Acondicionamiento de materia prima: fresas. ....	85

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
3.6 Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento.....	85
3.6.1 Sólidos Solubles Totales (°Brix).....	85
3.6.2 Pérdida de peso (humedad).....	86
3.6.3 Determinación de pH. ....	86
3.6.4 Determinación de acidez titulable.....	87
3.7 Vida de anaquel de las fresas.....	87
3.7.1 Análisis microbiológico.....	88
3.7.2 Análisis sensorial. ....	89
I) Primer análisis sensorial.....	90
II) Segundo análisis sensorial.....	91
4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
4.1. Caracterización de aceite esencial de orégano.....	95
4.1.1. Densidad.....	95
4.1.2. Índice de refracción.....	96
4.1.3. Infrarrojo (IR).....	96
4.2. Caracterización del almidón de plátano verde.....	97
4.2.1. Pureza del almidón.....	97
4.2.2. Determinación de pH.....	98
4.2.3. Acidez titulable.....	99
4.2.4. Índice de absorción de agua, poder de hinchamiento e índice de solubilidad.....	99
4.3 Caracterización de las biopelículas.....	100
4.3.1 Permeabilidad al vapor de agua.....	100
4.3.2 Solubilidad en agua.....	102
4.3.3 Biodegradabilidad.....	103

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
4.4 Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento.....	105
4.4.1 Sólidos Solubles Totales (°Brix).....	106
4.4.2 Pérdida de peso. ....	108
4.4.3 Determinación de pH. ....	110
4.4.4 Determinación de acidez titulable.....	111
4.5 Vida de anaquel de las fresas.....	117
4.5.1 Análisis microbiológico.....	117
4.5.2 Análisis sensorial. ....	120
II) Primer análisis sensorial.....	121
A) Prueba de aceptabilidad.....	121
B) Prueba de preferencia pareada.....	127
II) Segundo análisis sensorial.....	129
A) Prueba de aceptabilidad.....	129
B) Prueba de preferencia pareada.....	134
CONCLUSIONES.....	136
RECOMENDACIONES.....	141
GLOSARIO.....	143
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXOS.....	155
Anexo A: Determinación de sólidos solubles totales (°Brix) en pulpa de plátano verde.....	155
Anexo B: Metodología para caracterización de almidón de plátano verde.....	156
Anexo C: Metodología para caracterización de las biopelículas.....	160
Anexo D: Metodología de evaluación de parámetros de calidad de las fresas con recubrimiento. ....	164
Anexo E: Metodología para realización de análisis microbiológico. ....	170

<b>TEMA</b>	<b>PÁG.</b>
Anexo F: Test para análisis sensorial.....	172
Anexo G: Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano.....	176
Anexo H: Extracción y caracterización del almidón de plátano verde.....	182
Anexo I: Resultados de la caracterización como recubrimiento en prueba piloto.....	188
Anexo J: Resultados de caracterización de las biopelículas.....	194
Anexo K: Resultados de parámetros de calidad de fresas con recubrimiento.....	201
Anexo L: Resultados de análisis sensorial.....	212
Anexo M: Resultados de análisis estadístico.....	236

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 1.1 <i>Alteraciones fisiológicas causadas por el frío en productos hortofrutícolas.....</i>	5
Tabla 1.2. <i>Clasificación botánica del plátano.....</i>	19
Tabla 1.3 <i>Composición en 100 gramos de porción comestible del plátano verde.....</i>	20
Tabla 1.4. <i>Taxonomía de las fresas.....</i>	22
Tabla 1.5. <i>Principales países productores de fresas.....</i>	23
Tabla 1.6. <i>Cantidad anual (miles) importada de fresas “frutilla” frescas (toneladas).....</i>	24
Tabla 1.7. <i>Valor importado (millones) de fresas “frutillas” frescas (dólar americano).....</i>	24
Tabla 1.8. <i>Composición química del aceite esencial de acuerdo a la especie de orégano.....</i>	32
Tabla 1.9. <i>Contenido de almidón y azúcares en el plátano durante las etapas de maduración.....</i>	35
Tabla 1.10. <i>Porcentaje de amilopectina y amilosa presente en algunos almidones.....</i>	37
Tabla 1.11. <i>Temperaturas de gelatinización (°C) de algunos almidones usados en la industria alimentaria.....</i>	40
Tabla 2.1. <i>Relación almidón-glicerina en las formulaciones piloto.....</i>	54
Tabla 2.2. <i>Concentración de antimicrobianos utilizada en la elaboración de las biopelículas.....</i>	55

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 2.3. <i>Identificación de muestras durante el primer análisis sensorial.....</i>	69
Tabla 2.4. <i>Identificación de muestras durante el segundo análisis sensorial.....</i>	69
Tabla 3.1. <i>Rendimiento obtenido en la extracción del aceite esencial de orégano.....</i>	71
Tabla 3.2. <i>Densidad del aceite esencial de orégano a 20°C.....</i>	72
Tabla 3.3. <i>Índice de refracción para el aceite esencial de orégano a 20°C.....</i>	72
Tabla 3.4. <i>Rendimiento obtenido en la extracción del almidón de plátano verde.....</i>	74
Tabla 3.5. <i>Composición proximal y pureza del almidón de plátano verde.....</i>	74
Tabla 3.6. <i>Determinaciones de pH para almidón de plátano verde.....</i>	75
Tabla 3.7. <i>Acidez titulable para el almidón de plátano verde.....</i>	75
Tabla 3.8. <i>Índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento para el almidón de plátano verde.....</i>	76
Tabla 3.9. <i>Concentraciones de almidón y glicerina a utilizar en la elaboración de las biopelículas.....</i>	77
Tabla 3.10. <i>Caracterización de biopelículas en prueba piloto.....</i>	78
Tabla 3.11. <i>Evaluación de las características del recubrimiento aplicado en fresas durante prueba piloto.....</i>	79
Tabla 3.12. <i>Puntajes obtenidos en la evaluación del recubrimiento durante la prueba piloto.....</i>	80
Tabla 3.13. <i>Porcentajes de pérdida de peso para fresas con recubrimiento y sin recubrimiento en la prueba piloto.....</i>	80
Tabla 3.14. <i>Permeabilidad al vapor de agua (WVP) de cada formulación.....</i>	82
Tabla 3.15. <i>Porcentajes de solubilidad de cada formulación.....</i>	83
Tabla 3.16. <i>Biodegradabilidad de cada formulación.....</i>	84
Tabla 3.17. <i>Sólidos Solubles Totales (°BRIX) presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	85
Tabla 3.18. <i>Porcentajes de pérdida de peso (%) presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	86
Tabla 3.19. <i>Valores de pH presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	87
Tabla 3.20. <i>Acidez titulable presentadas en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con Recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	87

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 3.21 <i>Recuento de hongos (UFC/ g de fresas*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	88
Tabla 3.22. <i>Recuento de levaduras (UFC/ g de fresas*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	88
Tabla 3.23 <i>Recuento total de hongos y levaduras (UFC/g de fresa*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	89
Tabla 3.24. <i>Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F2 en el análisis sensorial 1.....</i>	90
Tabla 3.25. <i>Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F3 en el análisis sensorial 1.....</i>	91
Tabla 3.26. <i>Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F3 en el análisis sensorial 1.....</i>	91
Tabla 3.27. <i>Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F3 en el análisis sensorial 2.....</i>	92
Tabla 3.28. <i>Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F4 en el análisis sensorial 2.....</i>	92
Tabla 3.29. <i>Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 2.....</i>	93
Tabla 4.1. <i>Densidades de aceites esenciales de orégano.....</i>	95
Tabla 4.2. <i>Índice de refracción de aceites esenciales de orégano.....</i>	96
Tabla 4.3. <i>Pureza de almidón de plátano.....</i>	97
Tabla 4.4. <i>Temperaturas de gelatinización del almidón de plátano verde.....</i>	100
Tabla 4.5. <i>Permeabilidad al vapor de agua presentada por la biopelícula de diferentes tipos de almidones.....</i>	101
Tabla 4.6. <i>Porcentajes de solubilidad de películas de almidón de plátano adicionadas con aceite esencial de canela o sorbato de potasio.....</i>	103
Tabla 4.7. <i>Porcentajes de pérdida de peso de biopelícula. Prueba de biodegradabilidad.....</i>	104
Tabla 4.8. <i>Valores promedios de sólidos solubles totales (°Brix) después de la transformación angular.....</i>	106

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 4.9. <i>Análisis de varianza de dos factores. Prueba sólidos solubles totales (°Brix).....</i>	106
Tabla 4.10. <i>Valores promedios de pérdida de peso después de la transformación angular.....</i>	108
Tabla 4.11. <i>Análisis de varianza de dos factores. Prueba de pérdida de peso.....</i>	108
Tabla 4.12. <i>Análisis de varianza de dos factores. Prueba de pH.....</i>	110
Tabla 4.13. <i>Análisis de varianza de dos factores. Prueba acidez titulable.....</i>	111
Tabla 4.14. <i>Análisis de componentes principales. Autovalores.....</i>	114
Tabla 4.15. <i>Análisis de componentes principales. Autovectores.....</i>	114
Tabla 4.16. <i>Limites microbiológicos para el deterioro causado por microorganismos (UFC/g) en frutas y hortalizas.....</i>	118
Tabla 4.17. <i>Vida de anaquel de fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con Recubrimiento (F1, F2, F3 y F4).....</i>	120
Tabla 4.18. <i>Vida de anaquel de fresas utilizando diferentes recubrimientos comestibles.....</i>	120
Tabla 4.19. <i>Resultados del análisis sensorial 1 para el atributo sabor.....</i>	121
Tabla 4.20. <i>Puntuaciones promedio de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para las formulaciones F2 y F3 en el análisis sensorial 1.....</i>	124
Tabla 4.21. <i>Análisis de varianza simple para análisis sensorial 1.....</i>	126
Tabla 4.22. <i>Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 1.....</i>	127
Tabla 4.23. <i>Valores de “X” y “n” para el análisis sensorial 1.....</i>	128
Tabla 4.24. <i>Determinación de la probabilidad de X o más juicios concordantes en n pruebas correspondientes al primer análisis sensorial.....</i>	128
Tabla 4.25. <i>Resultados del análisis sensorial 2 para el atributo sabor.....</i>	129
Tabla 4.26. <i>Puntuaciones promedio de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para las formulaciones F4 y F3 en el análisis sensorial 2.....</i>	132
Tabla 4.27. <i>Análisis de varianza simple para el análisis sensorial 2.....</i>	133
Tabla 4.28. <i>Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 2.....</i>	134
Tabla 4.29. <i>Valores de “X” y “n” para el análisis sensorial 2.....</i>	135
Tabla 4.30. <i>Determinación de la probabilidad de X o más juicios concordantes en n pruebas correspondientes al análisis sensorial 2.....</i>	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<i>Figura 1.1.</i>	Principales materiales utilizados en películas comestibles para productos Frescos mínimamente procesados..... 10
<i>Figura 1.2.</i>	Inflorescencia del plátano en forma de racimo..... 19
<i>Figura 1.3.</i>	Fruto del plátano..... 20
<i>Figura 1.4.</i>	Fresa con micelos y conidias producidas por <i>Botrytis cinerea</i> ..... 25
<i>Figura 1.5.</i>	Fresa cubierta con filamentos blancos y negros producidos por <i>Rhizopus stolonifer</i> ..... 26
<i>Figura 1.6.</i>	Obtención de aceites esenciales por arrastre con vapor, agua-vapor e hidrodestilación..... 29
<i>Figura 1.7.</i>	Estructura de la molécula de amilosa..... 36
<i>Figura 1.8.</i>	Estructura de la molécula de amilopectina..... 37
<i>Figura 1.9.</i>	Proceso de gelatinización del almidón..... 39
<i>Figura 1.10.</i>	Mecanismo de retrogradación del almidón..... 41
<i>Figura 2.1.</i>	Proceso de extracción del aceite esencial de orégano..... 46
<i>Figura 2.2.</i>	Operaciones preliminares aplicadas al plátano verde..... 49
<i>Figura 2.3.</i>	Proceso de extracción del almidón de plátano verde..... 50
<i>Figura 2.4.</i>	Proceso de elaboración de las biopelículas..... 56
<i>Figura 2.5.</i>	Operaciones preliminares aplicadas a las fresas..... 60
<i>Figura 2.6.</i>	Procedimiento para recubrir fresas con las formulaciones de las biopelículas..... 61
<i>Figura 3.1.</i>	Aceite esencial de orégano..... 71
<i>Figura 3.2.</i>	Gráfica %T versus 1/cm del aceite esencial de orégano..... 73
<i>Figura 3.3.</i>	Almidón de plátano verde..... 73
<i>Figura 3.4.</i>	Biopelículas secas con relación 2:5 (glicerina: almidón en base seca)..... 77
<i>Figura 3.5.</i>	Biopelículas secas con relación 2:2.5 (glicerina: almidón en base seca)..... 77
<i>Figura 3.6.</i>	Porcentaje de pérdida de peso (%) vs almacenamiento (días) para fresas en prueba piloto..... 81
<i>Figura 4.1.</i>	Grupos funcionales presentes en el aceite esencial de orégano..... 97
<i>Figura 4.2.</i>	Gráficas de permeabilidad al vapor de agua (WVP) vs formulación (F)..... 101
<i>Figura 4.3.</i>	Gráfica de solubilidad (%) versus formulaciones (F)..... 102

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
<i>Figura 4.4.</i> Porcentaje de pérdida de peso vs almacenamiento (días). Prueba de biodegradabilidad.....	104
<i>Figura 4.5.</i> Sólidos solubles totales promedios (°Brix) vs almacenamiento (días).....	107
<i>Figura 4.6.</i> Porcentaje de pérdida de peso promedios (%) vs almacenamiento (días).....	109
<i>Figura 4.7.</i> pH promedios vs almacenamiento (días).....	111
<i>Figura 4.8.</i> Acidez titulable promedio vs almacenamiento (días).....	112
<i>Figura 4.9.</i> Biplot de las componentes principales.....	115
<i>Figura 4.10.</i> Deterioro microbiológico (hongos) en fresas.....	117
<i>Figura 4.11.</i> Recuento total de hongos y levaduras para fresas en refrigeración.....	119
<i>Figura 4.12.</i> Frecuencia de respuestas para atributo sabor. Análisis sensorial 1.....	122
<i>Figura 4.13.</i> Frecuencia de respuestas para atributo sabor de F2. Análisis sensorial 1.....	123
<i>Figura 4.14.</i> Frecuencia de respuestas para atributo sabor de F3. Análisis sensorial 1.....	123
<i>Figura 4.15.</i> Medias ponderadas para el análisis sensorial 1.....	125
<i>Figura 4.16.</i> Porcentaje de preferencia para las muestras de fresas en el análisis sensorial 1...	127
<i>Figura 4.17.</i> Frecuencia de respuesta para atributo sabor. Análisis sensorial 2.....	130
<i>Figura 4.18.</i> Frecuencia de respuestas para atributo sabor de F3. Análisis sensorial 2.....	131
<i>Figura 4.19.</i> Frecuencia de respuestas para atributo sabor de F4. Análisis sensorial 2.....	132
<i>Figura 4.20.</i> Medias ponderadas para el análisis sensorial 2.....	132

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar y caracterizar una biopelícula a partir de almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) incorporando aceite esencial de orégano (*Origanum sp.*) como inhibidor microbiano en la preservación de fresas empacadas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1) Realizar la extracción de aceite esencial de orégano y de almidón de plátano verde y evaluar los principales parámetros de calidad de cada uno de ellos.
- 2) Elaborar biopelículas realizando pruebas con distintas concentraciones de aceite esencial de orégano y sorbato de potasio para determinar la dosis que permita retardar el deterioro de fresas.
- 3) Comparar la efectividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano con respecto al sorbato de potasio en la preservación de fresas.
- 4) Determinar la biodegradabilidad de las biopelículas.
- 5) Caracterizar las biopelículas elaboradas, por sus propiedades físicas y de barrera.
- 6) Evaluar la aceptabilidad de las fresas recubiertas con las biopelículas, empleando análisis sensorial.

# **CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO**

---

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

El estudio teórico abarca los puntos importantes que ayudan a resolver la problemática de la investigación. En este capítulo se hace énfasis en la problemática de deterioro de frutas frescas en periodo postcosecha y como el uso de alternativas como biopelículas y recubrimientos comestibles ayudan a minimizar el deterioro temprano de estas, esto con el fin de presentar una idea más clara sobre el objetivo de esta investigación que es la elaboración y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de plátano verde incorporando aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano en la preservación de fresas empacadas. Además se presenta información relacionada al plátano, orégano y fresas que ayudan a la realización de esta biopelícula.

### 1.1. Deterioro de frutas frescas en el período postcosecha.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 1987) establece que el periodo que transcurre desde el momento mismo en que el producto es retirado de su fuente natural hasta el momento en que es consumido bajo su forma original o sometido a la preparación culinaria o al procesamiento y transformación industrial se conoce como postcosecha.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1993) todas las frutas, hortalizas y raíces son partes de plantas vivas que contienen de un 65 a un 95 por ciento de agua y cuyos procesos vitales continúan después de la recolección. Su vida después de la cosecha depende del ritmo al que consumen sus reservas almacenadas de alimentos y del ritmo de pérdida de agua. Cuando se agotan las reservas de alimentos y de agua, el producto muere y se descompone. Cualquier factor que acelere el proceso puede hacer que el producto se vuelva incomedible antes de que llegue al consumidor .

Una vez cosechadas, las frutas y hortalizas frescas pasan por una serie etapas tales como la selección, clasificación, empaque, embalaje, transporte y almacenamiento, y durante ellas son susceptibles al deterioro ya sea por cambios fisiológicos (maduración, senescencia, marchitamiento), daños físico-mecánicos (magulladuras, compresión, impacto), descomposición debido a la acción de microorganismos o por la exposición excesiva al calor o frío. Controlar todos estos factores que conllevan a una disminución en la calidad del producto es de suma importancia para su aceptación tanto sensorial como nutricionalmente.

A continuación, se describen las principales causas del deterioro en frutas y hortalizas que provocan la pérdida y/o desperdicio de las mismas:

### **1.1.1. Deterioro fisiológico.**

Las frutas y hortalizas modifican, alteran o reajustan su comportamiento fisiológico como respuesta obligada de sus células, tejidos, órganos y organismos a las nuevas condiciones, tratamientos y manipulaciones a que son sometidas a partir de momento mismo en que son cosechadas y retiradas de su fuente y medio natural de producción. Son respuestas que se manifiestan a través de cambio, ajustes y aún desviaciones en los procesos bioquímicos que normalmente se producen en el interior de cada producto comprometido (IICA, 1987).

A continuación, se mencionan los desórdenes fisiológicos de mayor importancia en la postcosecha.

#### **I) Daños causados por las temperaturas.**

La temperatura influye directamente sobre la respiración de la fruta, de modo que si se incrementa la temperatura del producto, igualmente incrementará la velocidad de la respiración, generando una mayor cantidad de calor. Del mismo modo, si se baja la temperatura se puede reducir la respiración, ayudando así a prolongar su vida de postcosecha. La temperatura además de la influencia que ejerce sobre la respiración, también puede causar daño al producto mismo (Aguayo, 2016).

La FAO advierte que todos los productos frescos sufren daños cuando están expuestos a temperaturas extremas y aunque los niveles de tolerancia térmica difieren mucho de un producto a otro, pueden presentarse:

- a. *Daños por congelación.* A temperaturas comprendidas entre los 0 y los -2 grados centígrados, todos los productos se congelan, adquiriendo un aspecto acuoso o vídrioso. Aunque algunos toleran una congelación leve, es recomendable evitar esas temperaturas, puesto que acortan la vida posterior en almacén además de que los productos descongelados son muy propensos a la descomposición.
- b. *Daños por frío.* Algunos tipos de productos frescos sufren daños cuando se exponen a bajas temperaturas, aunque sean superiores a las de congelación. Se trata en

su mayoría de productos tropicales o subtropicales, no obstante, también se ven afectados algunos productos de zonas templadas. Como se mencionó anteriormente, el grado de sensibilidad varía de un producto a otro, pero para cada caso existe una temperatura, la temperatura mínima tolerable por debajo de la cual se producen daños. Los efectos del frío pueden no manifestarse hasta que el producto se saca de la cámara refrigerada y es expuesto a la temperatura ambiente.

La Tabla 1.1 describe algunos cambios fisiológicos causados por el frío en los productos hortofrutícolas.

**Tabla 1.1.**

*Alteraciones fisiológicas causadas por frío en los productos hortofrutícolas*

<b>Daños causados por el frío</b>	<b>Síntomas</b>
Alteración del color	Interna, externa o de ambos tipos, normalmente con tendencia al marrón o al negro.
Hoyos en la piel	Aparición de zonas hundidas, especialmente en condiciones de sequedad.
Maduración anormal (Frutas)	Maduración desigual o interrumpida, sabores anómalos.
Descomposición acelerada	Actividad de microorganismos

**Fuente:** (FAO, 1993)

- c. *Daños por temperaturas elevadas.* El producto fresco se deteriora rápidamente si se expone a las altas temperaturas generadas por la radiación solar. Los productos expuestos al sol después de la cosecha pueden alcanzar temperaturas de hasta 50 grados centígrados, que los hacen respirar muy rápidamente, por lo que, si se embalan y transportan sin refrigeración ni una ventilación adecuada, dejan pronto de ser aptos para el consumo.

Si el producto se mantiene a una temperatura superior a los 40°C se dañan los tejidos y a los 60°C toda la actividad enzimática se destruye, quedando el producto afectivamente muerto. El daño causado por la alta temperatura se caracteriza

por sabores alcohólicos desagradables, generalmente como resultado de reacciones de fermentación y de una degradación de la textura del tejido (Aguayo, 2016).

## **II) Daño por baja concentración de oxígeno.**

Bajos niveles de oxígeno en el ambiente pueden inducir procesos de fermentación en las frutas ocasionando la producción de malos olores y sabores y el deterioro del producto. Esto es común cuando la ventilación del ambiente en el cual se encuentran las frutas es deficiente. Estos cambios son favorecidos por altas temperaturas (FAO, 2000).

## **III) Daño por alta concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).**

La acumulación de CO<sub>2</sub> puede retrasar el normal ablandamiento y pérdida del color verde de algunas frutas. En otros casos, se observa decoloración y deterioro internos por la acumulación de este gas en la atmósfera de almacenamiento; así como también, mal sabor y depresiones superficiales en la cáscara de la fruta (pitting) (FAO, 2000).

## **IV) Daño por pérdida de agua.**

La fruta cosechada pierde agua por transpiración de manera irreversible. Como consecuencia, el producto sufre una serie de alteraciones fisiológicas que aceleran los procesos de senescencia, síntesis de etileno y deterioro de tejidos. Esto, conjuntamente con los síntomas externos de marchitez y arrugamiento del producto, afectan seriamente su calidad comercial. En general, se puede decir que un 5% de pérdida de agua es aproximadamente el valor máximo permisible en frutas. La pérdida de agua por transpiración es mayor a temperatura alta y humedad relativa baja (FAO, 2000).

### **1.1.2. Daños mecánicos.**

Como cita Lucas-Aguirre J.C., Velásquez-Herrera J.D., Montoya-López J. (2013), La manipulación negligente del producto fresco es causa de magulladuras internas que dan lugar a un deterioro fisiológico anormal, o a hendiduras y grietas de la piel que aumentan rápidamente la pérdida de agua y aceleran el proceso normal de modificaciones fisiológicas como son: agrietamiento de

los frutos, magulladuras, raspaduras, aplastamiento, abrasiones, desgarres durante el corte y machucones; los cuales se clasifican así:

#### **I) Lesiones, cortes o perforaciones.**

Causado en el momento del embalaje por objetos agudos; astillas en los contenedores de madera; grapas o clavos sobresalientes en los contenedores, provocando en el producto pérdida de agua y aceleración de la velocidad de deterioro.

#### **II) Impacto (golpes).**

Provocado por el lanzamiento o caída de los embalajes; puesta en marcha o frenazos bruscos de vehículo, que hacen que la carga se mueva; alta velocidad del vehículo en carreteras mal pavimentadas, causando ruptura de los embalajes, magulladuras en el contenido.

#### **III) Compresión (apretujamiento o aplastamiento).**

Causadas por contenedores débiles o excesivamente grandes; contenedores demasiado llenos o en pilas demasiado altas o ambas cosas, lo que provoca desestabilización y derrumbamiento de los contenedores apilados durante el transporte, provocando magulladuras o aplastamiento del contenido.

#### **IV) Vibración (sacudidas).**

Es la vibración debida al propio vehículo y a las malas carreteras, ocasionado que los empaques de madera, sufran averías y por ende provocando daños en los productos.

### **1.1.3. Enfermedades y plagas.**

La alteración de las frutas y hortalizas frescas se denomina enfermedad postcosecha debido a que son partes vivas de las plantas y aunque éstas suelen poseer algunas defensas naturales contra la infección microbiana, en la práctica son de escasa importancia. Ciertas propiedades tales como una cáscara o piel gruesa, pueden proteger contra un daño superficial y el crecimiento subsecuente de los organismos saprobios. Por otra parte, también es posible que existan microbios vivos en los tejidos internos no dañados. La infección fúngica que causa deterioro post-cosecha

puede ocurrir antes o después de la recolección. El tipo de infección fúngica post-cosecha puede ser epicuticular o subcuticular. La primera suele encontrarse en cualquier parte del fruto. Si el hongo aún no ingresó se puede eliminar con tratamientos en el empaque. Este tipo de infección es activa apenas el hongo ingresa al tejido por heridas (*Penicillium spp*) o bien latente inactiva cuando requiere de un ambiente apropiado para que las esporas germinen (*Phytophthora spp*).

La infección subcuticular ocurre en campo y en el momento de la cosecha el hongo ya ingresó. Suele encontrarse en cualquier parte del fruto, aunque con frecuencia se halla en los extremos pedunculares y estilares. En general se trata de patógenos difíciles de eliminar con tratamientos en el empaque y la madurez acelera la expresión del deterioro (Carrillo L., 2007).

Las plagas de insectos, principales causantes de las pérdidas de cereales y legumbres, no suelen ocasionar pérdidas postcosecha de productos frescos, aunque cuando aparecen pueden crear graves problemas locales. Los daños causados por insectos, como la mosca de la fruta, el gorgojo de la batata y la polilla de la papa, se deben a que sus larvas horadan los productos. La infestación suele producirse antes de la recolección. La propagación después de la cosecha constituye un problema cuando el producto se almacena o es objeto de largos transportes. Las ratas, los ratones y otras plagas animales también pueden constituir un problema cuando los productos se almacenan en la propia explotación agrícola (FAO, 1993).

## **1.2. Generalidades sobre películas y recubrimientos comestibles.**

Aunque pareciera que el uso de recubrimientos comestibles en alimentos es nuevo, desde hace mucho tiempo se ha aplicado. Durante los siglos XII y XIII se practicó en China la inmersión en cera de naranjas y limones para retardar la pérdida de agua. En el siglo XVI, en Inglaterra, el recubrimiento con manteca fue utilizado para prevenir la pérdida de humedad en alimentos. Actualmente recubrimientos comestibles son aplicados en una variedad de productos como: embutidos, chocolate, vegetales y frutas (Kroachta, Baldwin y Nísperos-Carriedo, 1994, citado en Vásquez-Briones A.C., s.f).

### **1.2.1. Definición.**

De acuerdo con Krochta y De Mulder-Johnston (1997). Una película comestible se define como aquella capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como un recubrimiento, o colocada (lo que implica que debe ser preformada) sobre o entre los componentes de los alimentos. Ambos sistemas ofrecen una barrera selectiva a la migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas, lípidos, etc.; además pueden servir como agentes acarreadores de otros ingredientes o aditivos (antioxidantes, saborizantes, antimicrobianos y colorantes) para mejorar el potencial de conservación y las características de manejo del alimento. En algunos casos las películas comestibles con buenas propiedades mecánicas pueden llegar a sustituir las películas de empaque sintéticas.

Las cubiertas comestibles pueden ser aplicadas directamente a la superficie del alimento como una barrera adicional de protección para mantener la calidad y estabilidad de un alimento. Para el caso de frutas y vegetales, los recubrimientos con polímeros comestibles y biodegradables ofrecen una alternativa de empaque sin causar daño al medio ambiente (Ruiz, 2004, citado en Reyes, 2011).

### **1.2.2. Funciones.**

Las películas comestibles tienen diversas propiedades funcionales, estas son asociadas a la preservación de la calidad de los alimentos sobre los cuales se aplica y consisten principalmente en servir como barrera en la transferencia de distintas sustancias, desde el alimento hacia el exterior y viceversa (Kester y Fennema, 1986, citado en Espinoza, 2015). Algunas propiedades funcionales de las películas comestibles son las siguientes:

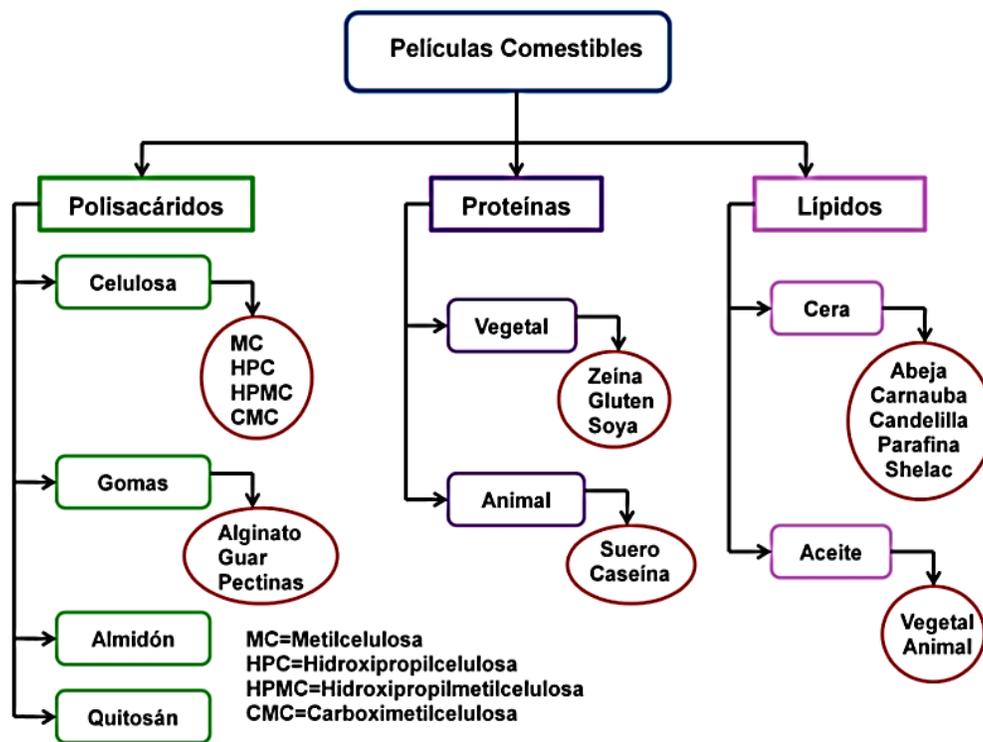
- a. Sensorialmente aceptable (transparente, insípido y sin olor).
- b. Reducir la pérdida de humedad.
- c. Reducir el transporte de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $C_2H_4$ ).
- d. Reducir la migración de lípidos.
- e. Retener componentes volátiles y de sabor.
- f. Mejorar las propiedades mecánicas.
- g. Servir como vehículo de aditivos (sabores, colores, antioxidantes, antimicrobianos).
- h. Evitar o reducir el deterioro microbiano.

Cabe destacar la importancia de la habilidad que los recubrimiento y películas comestibles tienen para incorporar ingredientes activos, que pueden servir como vehículo de aditivos capaces de conservar y mejorar la calidad del producto tales como antioxidantes, antimicrobianos y mejoradores de textura (Espinoza, 2015).

### 1.2.3. Componentes de una película comestible.

Existe una diversidad de materiales que son empleados en la formulación de películas comestibles, por lo general se elaboran a base de hidrocoloides que incluyen a los polisacáridos, las proteínas y compuestos hidrofóbicos como los lípidos. Pueden ser utilizados de manera única o de forma combinada (multicomponentes), su selección considera características tales como su naturaleza hidrofílica e hidrofóbica, su facilidad de formación, propiedades sensoriales y especialmente del tipo de aplicación a que se destine la película (Arredondo Ochoa, 2012).

En la Figura 1.1 se muestran los componentes más comúnmente utilizados en la elaboración de películas comestibles aplicadas en productos frescos mínimamente procesados.



**Figura 1.1:** Principales materiales utilizados en películas comestibles para productos frescos mínimamente procesados.

**Fuente:** Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, citado en Arredondo O., 2012.

## **I) Polisacáridos, proteínas y lípidos como matrices estructurales.**

Miramont (2012) informa que muchos biopolímeros han sido utilizados en la formulación de películas y recubrimientos comestibles, tales como polisacáridos (celulosa, pectinas, almidón), proteínas (de soja, zeína, gluten), lípidos (ceras, aceites) o sus mezclas. Entre los polímeros naturales, el almidón ha sido considerado como uno de los más prometedores candidatos para futuros materiales debido a que su atractiva combinación entre precio, disponibilidad y termoplasticidad, entre los polímeros más utilizados para la elaboración de películas tenemos:

- i. *Polisacáridos*: son polímeros de cadena larga formados a partir de unidades repetidas de monosacáridos o disacáridos unidos mediante enlaces glucosídicos. Como resultado de la gran cantidad de grupos hidroxilo y otros restos hidrofílicos presentes en su estructura, los enlaces de hidrógeno tienen un papel importante en la formación de la película comestible que a su vez le confieren características especiales. En general, las películas elaboradas a partir de estos biopolímeros se forman por interacciones interrumpidas entre los segmentos de cadena larga del polímero durante el proceso de coacervación y la formación de nuevos enlaces de hidrógeno intermoleculares a través de la evaporación del solvente para crear la matriz estructural de la película comestible (Janjarasskul y Krochta, 2010, citado en Arredondo O., 2012).

Los polisacáridos son los hidrocoloides que más se utilizan como recubrimientos en frutas y hortalizas, ya que forman parte de la mayoría de las formulaciones que actualmente existen en el mercado. Los polisacáridos presentan buenas propiedades barrera a los gases y pueden adherirse a las superficies de frutas y hortalizas troceadas, pero son hidrofílicos y por lo tanto constituyen una pobre barrera a la pérdida de humedad (Kester y Fennema, 1986; Krochta y de Mulder-Johnston, 1997, citado en Espinoza, 2015).

- ii. *Las proteínas*: son biomoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos unidas mediante enlaces peptídicos que dependiendo de su estructura se clasifican en fibrosas y globulares. Molecularmente, las proteínas proporcionan una variedad casi ilimitada de materiales que provienen de diversas fuentes y que natural-

mente difieren en la secuencia de aminoácidos, pero que pueden utilizarse en la elaboración de películas comestibles (Arredondo O., 2012).

Las proteínas utilizadas en la formulación de recubrimientos comestibles pueden ser de origen animal (caseínas, proteínas del suero lácteo) o de origen vegetal (proteína de maíz, gluten de trigo, y proteína de soya, principalmente) y dependiendo de este origen muestran una amplia variedad de características moleculares. Así, las proteínas varían en su peso molecular, conformación, carga (dependiendo del pH), flexibilidad y estabilidad térmica y las diferencias en estas características moleculares determinarán su habilidad para formar recubrimientos, así como las características de los recubrimientos formados (Espinoza, 2015).

- iii. *Los lípidos y resinas*: a diferencia de otras macromoléculas, no son considerados como biopolímeros debido a que no poseen un gran número de unidades repetidas unidas por enlaces covalentes para formar una estructura molecular grande. Como consecuencia, son frágiles y no forman una estructura autosuficiente, por lo que su uso siempre está asociado como un agente de incorporación a un polímero que proporcione resistencia mecánica a la película comestible (Janjarasskul y Krochta, 2010, citado en Arredondo O., 2012).

La función primaria de la incorporación de lípidos en la formulación de películas comestibles, además de conferirle brillo al alimento, es la barrera contrala humedad, ya que el agua posee poca movilidad dentro de una matriz lipídica debido a su poca afinidad, baja polaridad y densidad. Las propiedades finales de las películas adicionadas con lípidos dependerán de las características de estos componentes tales como su estado físico, grado de saturación y longitud de la cadena. (Guilbert y col. 1995; Vargas y col., 2008; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, citado en Arredondo O., 2012).

- iv. *Mezclas (multicomponente o compuestas)*: Tal como se indica en la Revista Industria y Alimentos ( OSMOSIS, 2015), las películas compuestas se formulan combinando hidrocoloides y lípidos, presentando las ventajas de ambos compuestos, ya que los hidrocoloides proveen la estructura y la barrera contra los gases y

los lípidos aportan la barrera contra el agua. Existen dos tipos de películas compuestas, las películas laminadas y las emulsiones; las primeras se forman colocando la capa lipídica sobre la capa de hidrocoloides, de tal forma que se genere una bicapa o varias capas, las emulsiones por otro lado, son mezclas heterogéneas de lípidos, hidrocoloides y emulsionantes que presentan buena resistencia mecánica pero que son menos eficientes para evitar la transferencia de humedad debido a que no se logra una distribución homogénea de los lípidos sobre la superficie del alimento.

## **II) Plastificantes.**

Además del componente de naturaleza polimérica y de alto peso molecular (matriz), otro componente importante de las películas comestibles son los plastificantes. Estos son moléculas pequeñas de bajo peso molecular, de baja volatilidad y con una naturaleza química similar a la del polímero formador de recubrimiento. Se usan para mejorar la flexibilidad y la funcionalidad de los recubrimientos, ya que reducen los enlaces hidrógeno internos entre las cadenas de polímeros (Miramont, 2012).

Tal y como cita Reyes (2011) el plastificante debe ser miscible con el polímero y de ser posible, soluble en el solvente. Los recubrimientos requieren de una concentración de plastificante entre el 10 y 60% (base seca) (Guzmán, 2003). Según Guilbert (1986) los plastificantes comúnmente utilizados en alimentos son:

- a. Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos (glucosa, jarabes, miel).
- b. Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicoles y sus derivados).
- c. Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster y surfactantes).

Dentro de los plastificantes más utilizados podemos mencionar al glicerol.

## **III) Emulsificantes y surfactantes.**

La naturaleza física de la región interfacial es crucial para obtener una emulsión de alta calidad y para conseguirla frecuentemente se adicionan emulsificantes: la función principal de los emulsificantes es la de promover y/o estabilizar una emulsión. En concreto un emulsificante no neces-

riamente confiere estabilidad duradera, sino simplemente tiene la capacidad de adsorberse rápidamente en la interface recién creada durante la emulsificación mientras que la estabilidad a largo plazo usualmente es conferida por las proteínas y polisacáridos. (Bósquez, 2003, citado en Reyes, 2011).

#### **IV) Antimicrobianos.**

Las principales causas de alteraciones en los productos hortofrutícolas son debidas al ataque de microorganismos tales como mohos y levaduras, así como el oscurecimiento enzimático debido a procesos bioquímicos. Los antimicrobianos son compuestos usados para retardar o prevenir el deterioro fisicoquímico o microbiológico y pueden tener al menos tres tipos de acción sobre el microorganismo: (Reyes, 2011 y Miramont, 2012)

- i. Inhibición de la biosíntesis de los ácidos nucleicos o de la pared celular.
- ii. Daño a la integridad de las membranas.
- iii. Interferencia con la gran variedad de procesos metabólicos esenciales.

Entre los antimicrobianos que han causado mayor interés para su aplicación a alimentos son: polipéptidos, bacteriocinas, quitosano, ciertas enzimas como el sistema lactoperoxidasa y la lisozima, ácidos grasos y orgánicos (ácido sórbico y parte de sus sales: sorbato sódico, sorbato potásico y sorbato cálcico), propóleo y los aceites esenciales.

- a. *Los aceites esenciales*, generalmente poseen notables propiedades antimicrobianas y pueden ser soportado por las matrices estructurales, se caracterizan por ser una mezcla compleja de varios compuestos aromáticos: hidrocarburos (compuestos terpénicos), alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y fenoles. Ejemplo de ellos son el cinamaldehído obtenido de la canela, el eugenol obtenido del clavo de olor, el carvacrol obtenidos a partir del orégano, el cineol obtenido del eucalipto, el timol obtenido del tomillo, entre otros.

El carvacrol (componente mayoritario del orégano) y el timol, son capaces dependiendo de la concentración de inclusión, de desintegrar la membrana externa de las bacterias Gram negativas *E. coli* y *S. typhimurium*. En estudios realizados con extractos de canela, tomillo, clavo y orégano se ha podido demostrar la actividad frente a *Clostridium perfringens* (Deans, 1995; Huerta, 2007; Mitch, 2004).

Para *S. enteritidis*, los mejores resultados se obtuvieron con aceites de mostaza, clavo, tomillo, orégano y canela.

- b. *El ácido sórbico o ácido 2,4-hexadienoico* es un compuesto orgánico natural empleado como conservante alimentario en su forma de sales (ejemplo: sorbato de potasio). La razón principal es su falta de toxicidad, además de que su uso no aporta sabores ni aromas extraños al alimento. El ácido sórbico y sus sales se emplean como agentes fungistáticos, inhibiendo ciertas enzimas en la célula microbiana como la enolasa y lactodeshidrogenasa y también otras del ciclo de Krebs. Muchas enzimas son inactivadas al formarse enlaces covalentes entre los grupos sulfhídricos (SH) y los dobles enlaces del ácido sórbico. Su acción se debe a la forma no disociada de la molécula, ya que es ésta la que atraviesa la membrana celular del microorganismo y actúa en su interior. A pH 3,5 el 40% del ácido sórbico presente, penetra en la célula y a pH 7, sólo el 1%.

#### **1.2.4. Principales propiedades de películas y recubrimientos comestibles.**

De acuerdo a Olivas y Barbosa-Cánovas (2005), los recubrimiento y películas comestibles aplicados en la cadena hortofrutícola producen una atmósfera modificada en la fruta, reducen el deterioro, retrasan la maduración de frutas climatéricas, reducen la pérdida de agua, retardan los cambios de color, mejoran la apariencia, disminuyen la pérdida de aromas, reducen el intercambio de humedad entre trozos de frutas, transportan compuestos antioxidantes y estabilizantes de la textura, imparten color y sabor, y pudieran servir como transporte de otras sustancias. Entre las principales propiedades de los recubrimientos y películas comestibles se pueden destacar las siguientes: (Reyes, 2011).

##### **I) Propiedades de barrera.**

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los recubrimientos y películas comestibles es la resistencia a la migración de humedad, debido a que la deshidratación superficial es uno de los principales factores que determina la calidad de los productos hortofrutícolas.

A mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua, de manera que los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales como los polisacáridos, así como aquellos a base de proteínas, muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera como consecuencia de su naturaleza hidrofílica. A fin de mejorar las propiedades de *barrera al vapor de agua* de esta clase de recubrimientos, pueden incorporarse lípidos, que emulsificados en la solución formadora de coberturas o formando una doble capa sobre el producto, ayudan a prevenir reacciones degradativas del tejido como consecuencia de la pérdida de humedad y de las reacciones respiratorias.

En el caso de los recubrimientos y películas formulados para frutas y vegetales frescos (caracterizados por tener un metabolismo activo), las propiedades de *barrera a los gases* se vuelven especialmente importantes, ya que dichos recubrimientos deben permitir una correcta modificación del entorno gaseoso dentro del envase, de tal manera que pueda crearse una atmósfera modificada mediante el aislamiento del producto con respecto al ambiente que lo rodea, pero sin que ésta barrera sea extremadamente impermeable ya que puede inducir a la creación de condiciones anaerobias que tienen como consecuencia una pérdida de los compuestos aromáticos típicos de la fruta y la presencia de aromas indeseables.

## **II) Propiedades mecánicas.**

La propiedad mecánica de la película comestible tiene un gran impacto en la estabilidad y flexibilidad a cambios de temperatura, y físicos en los ingredientes. Las propiedades mecánicas que mayormente se determinan son la fuerza y el porcentaje de elongación al quiebre, el cual representa la habilidad de la película a estriarse. Las propiedades mecánicas dependen en gran medida de la composición y estructura de los ingredientes que conforman la película comestible, de modo que la elección de las sustancias a emplear y/o aditivos activos a añadir están totalmente relacionados con la función para la cual se desea utilizar la cobertura comestible, la naturaleza del alimento y el método de aplicación.

Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005). Cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los recubrimientos comestibles gobiernan las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta

capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

### III) Propiedades físico-químicas.

Entre las propiedades físicas más importantes para los recubrimientos comestibles. Se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo, 2009).

- a. *Propiedades ópticas*: En el aspecto sensorial, y en sentido amplio, se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista. A las ya enunciadas pueden añadirse la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos (Roblejo, 2009).
- b. *Propiedades de solubilidad*: La solubilidad es una medida de la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua. Esta propiedad afecta la futura aplicación de los recubrimientos (Roblejo, 2009).
- c. *Propiedades de espesor*: La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica y según (Park y Chinnan, 1995). Se ha encontrado una relación dependiente positiva entre la permeabilidad al vapor del agua y el espesor de los recubrimientos. Se considera que a medida que el espesor de los recubrimientos aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero.
- d. *Vehículo de aditivos*: Los recubrimientos comestibles tienen un uso potencial como medio de transporte y retención de aditivos como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, etc., que permiten mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento.

### **1.2.5 Técnicas de aplicación de películas y recubrimientos comestibles.**

Existe una diversidad de técnicas y métodos de aplicación de películas y recubrimientos comestibles, sin embargo, el método dependerá en gran medida del tipo de producto que se quiera recubrir, por ejemplo, si este posee una superficie irregular o no, o si se trata de una superficie lisa o rugosa.

Algunas técnicas de aplicación para la obtención de recubrimientos son las siguientes (Flores, 2007, citado en Espinoza, 2015):

- i. *Inmersión*: utilizado especialmente en alimentos de forma irregular que requieren una cobertura uniforme. Luego de la inmersión, el material excedente se deja drenar del producto y, finalmente, se seca o se deja solidificar (lípidos).
- ii. *Atomización (spraying)*: se puede lograr un espesor más delgado y uniforme que con la técnica anterior. Por otro lado, es más adecuado para productos que necesitan ser recubiertos sólo en una de sus caras o en uno de sus lados.
- iii. *Otros*: las coberturas en forma líquida pueden aplicarse con pinceles, cepillos, rodillos, o directamente vertidos sobre la superficie del alimento. En todos los casos se requiere de aplicadores adecuados.

### **1.3. Generalidades de productos hortofrutícolas: Plátano y fresas.**

A continuación se presentan generalidades del plátano y fresas, en la investigación el almidón será extraído del plátano y el recubrimiento se formará en las fresas.

#### **1.3.1. Plátano.**

Hoy en día debido a la gran cantidad de híbridos de las familias de las musáceas que las industrias han desarrollado con el fin de optimizar la producción, e incrementar ganancias, en el mercado resulta bastante complicado y hasta casi imposible poder establecer, el tipo de híbrido que se cultiva, de ahí que se ha optado por dar una clasificación general en cuanto al plátano se refiere, clasificándolo como *Musa paradisiaca* (Girón, 2013).

El plátano, guineo de seda y guineo majoncho, pertenecen a la familia de las musáceas y al género *Musa*, estos no son verdaderos árboles si no hierbas gigantes, provistas de un rizoma del que salen de 10 a 30 hojas, cuyas vainas al superponerse forman un falso tallo. Las nuevas hojas se desarrollan encima del cilindro formado por las vainas de las hojas viejas. Luego de formada la última hoja, se desarrolla una inflorescencia en forma de racimo como puede observarse en la Figura 1.2, en el que se encuentra tres tipos de flores: femeninas, hermafroditas y masculinas.



**Figura 1.2.** Inflorescencia del plátano en forma de racimo  
**Fuente:** Ayala y otros, (2003)

El número de gajos es diferente para cada variedad al igual que el número de frutos, estos carecen de semillas y se reproducen vegetativamente en forma de brotes que crecen en la base de una planta madre. (Ayala C., Rivas G., Zambrana C., 2003).

#### **I) Clasificación botánica del plátano.**

Autores como Ayala et al (2003), Girón (2013) y Hernández (2017) concuerdan en que el plátano se clasifica botánicamente como se muestra en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2.**

*Clasificación botánica del plátano*

<b>Especificación</b>	<b>Clasificación</b>
Tipo	Fanerógama
Sub-tipo	Angiosperma
Clase	Monocotiledóneas
Sub-clase	Inferogamas
Familia	Musáceas
Orden	Musa
Sección	Eumusa
Especie	Paradisíaca

**Fuente:** (Ayala et al, 2013) (Girón G., 2013) (Hernández, 2017)

## II) Características del fruto (plátano)

El fruto del plátano es una baya carnosa que se encuentra en racimos, posee una cáscara gruesa con aristas en la superficie, la cual lo protege. Cuando madura es de color amarillo y las aristas tienden a desaparecer y queda casi lisa; el fruto tiene un tamaño promedio de 20 a 25 cm y un diámetro aproximado de 4 cm, es de sabor dulce cuando está maduro como se muestra en la Figura 1.3.



**Figura 1.3.** Fruto del plátano

**Fuente:** Ayala y otros, (2003)

El plátano es una fruta a la que no se le permite madurar en el árbol (fruta climatérica), ya que, de hacerlo, estaría sujeta a daños causados por insectos, roedores y otros animales; además, la cantidad de componentes se ven disminuidos por lo que la calidad de la fruta sería inferior que la madurada fuera de la planta (Hernández, 2017).

## III) Composición nutricional del plátano verde.

La Tabla 1.3 se presenta la composición del plátano verde en 100 gramos de porción comestible reportada por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (INCAP, 2012).

**Tabla 1.3.**

*Composición en 100 gramos de porción comestible del plátano verde*

<b>Composición</b>	<b>Valor</b>	<b>Composición</b>	<b>Valor</b>
Agua (%)	62.60	Fosforo (mg)	40.00
Energía (Kcal.)	132.00	Hierro (mg)	0.80
Proteína (g)	1.20	Tiamina (mg)	0.07
Grasa total (g)	0.10	Riboflavina (mg)	0.04
Carbohidratos (g)	35.30	Niacina (mg)	0.50
Fibra dietética total (g)	0.50	Vitamina C (mg)	28.00
Cenizas	0.80	Vitamina A equivalente a retinol (mcg)	130.00
Calcio (mg)	8.00	Fracción comestible (%)	0.66

**Fuente:** (INCAP, 2012)

#### IV) Usos del plátano.

Hernández (2017) informa que el plátano es un producto muy importante dentro de la dieta alimenticia de los salvadoreños. La demanda de plátano en El Salvador es de dos tipos: consumo fresco y consumo como materia prima en la elaboración de botanas en empresas industriales y artesanales pertenecientes a grupos familiares o pequeños empresarios cuya producción es destinada principalmente a las ferias de los pueblos en el interior del país. De acuerdo a estimaciones con base a estadísticas oficiales del Banco Central de Reserva y la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA)/MAG, en El Salvador, durante el período 1,995-2,000 el consumo aparente fue de 1,826.62 miles de quintales, anuales en promedio, y el crecimiento anual fue de 21.1%.

De acuerdo a sus partes, Anzora (2008) menciona los siguientes usos:

- i. *Las hojas.* El gran tamaño de las hojas del plátano y su fuerte fibra hace de ellas una fuente importante de tejidos, son empleadas como embalajes y envoltorios sin apenas tratamiento, como cobertores naturalmente impermeables para techos de construcciones primitivas, para recubrir el interior de pozos utilizados para cocinar y como bandejas para la comida.
- ii. *La fibra* extraída del procesamiento de las hojas es resistente y durable, puede ser utilizada en la fabricación de tela (como la agna) la cual puede emplearse en la elaboración de indumentaria masculina y femenina, alfombras y alpargatas.
- iii. *El pseudotallo* se emplea como mobiliario y material de embalaje durante el transporte de frutas; los restos o la parte interna de éste son reintegrados al medio ambiente para el reaprovechamiento de sus nutrientes. De la pulpa del pseudotallo se elabora papel mediante un proceso de machacado, lavado y secado.
- iv. *La cáscara* del fruto es rica en taninos, y se usa en el tratamiento del cuero y en la producción de detergentes.
- v. *La pulpa y las cáscaras* de los plátanos maduros contienen principios activos efectivos contra microbacterias y hongos. El fruto es rico en dopamina, de efecto vasoconstrictor y serotonina, que regula la secreción gástrica y estimula la acción intestinal.

## V) Cultivo de plátano en El Salvador.

De acuerdo con el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA, 2010), en El Salvador, el área estimada de siembra de este cultivo es de aproximadamente 3,574 manzanas, con una producción de 78,000 Tm. de frutas, lo cual no satisface la demanda interna ya que para 2007 se tuvo que importar 34,717 Tm, representando una fuga de divisas (U.S. \$3, 005,082). Los cultivares de Plátano que más se siembran en el país son:

- a. Plátano Criollo o Usulután. Se caracteriza por su alto vigor, alcanzando una altura que oscila entre 3.5 a 4.0 m., con racimos cortos y con un número promedio de 27 a 30 frutos y un peso de 26 a 30 lb. La inflorescencia masculina (Pichota bs.) se atrofia y desaparece conforme va se madurando el racimo.
- b. Plátano Enano. La planta es de una altura media de 2.50 m., lo que la hace más resistente al acame, causado por el viento. Posee pseudotallo grueso con abundantes hojas anchas. Los racimos son cortos, con un promedio de 40 - 42 frutos y 28 lb. de peso. El período de floración a cosecha es de 80 - 85 días. La cosecha se inicia 10 - 11 meses de la siembra.

### 1.3.2 Fresas.

La fresa es un fruto de forma triangular, de color rojo, formado por pequeñas frutillas. En la Tabla 1.4 se presenta la taxonomía de la fresa.

**Tabla 1.4.**

*Taxonomía de las fresas*

Nombre común	Nombre científico	Familia	Género	Especie
				Europeas: <i>Fragaria vesca</i> , <i>Fragaria moschata</i> , <i>Fragaria viridis</i>
Fresa	<i>Fragaria sp</i>	Rosaceae	Fragaria	Americanas: <i>Fragaria chiloensis</i> , <i>Fragaria virginiana</i> Asiáticas: <i>Fragaria indica</i>

**Fuente:** (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).

## I) Morfología de la fresa.

La planta de fresa es de tipo herbáceo y perenne, está formada por un sistema radicular, tallo, hojas estas son largamente pecioladas, flores y fruto, la flor la conforman 5-6 pétalos, de 20 a 35 estambres y muchos pistilos sobre un receptáculo carnoso, el desarrollo de los achenios da lugar al fruto de la fresa. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2014).

## II) Importancia económica del cultivo de fresas.

La fresa es un fruto que es utilizado en diferentes campos, no solo para consumo directo (frescas, congeladas), sino que es utilizado en la industria de alimentos y bebidas, en donde se utiliza para elaborar diferentes productos y subproductos, también es utilizada en la industria cosmética, estos diferentes usos conllevan a que exista una mayor demanda con respecto al cultivo de este fruto. (Grupo de Desarrollo Rural Bajo Nalón, 2015).

Según la FAO (2016) entre los principales países productores de fresas se encuentran China Continental, Estados Unidos, México, Egipto, Turquía entre otros.

La Tabla 1.5 presenta la producción (miles de toneladas) para el año 2016 de los principales países productores de fresas.

**Tabla 1.5.**

*Principales países productores de fresas*

<b>País</b>	<b>Producción (toneladas)</b>	<b>País</b>	<b>Producción (toneladas)</b>
China Continental	3793,864	España	366,161
Estados Unidos	1420,570	Polonia	196,972
México	468,248	Rusia	197,523
Egipto	464,958	Japón	159,000
Turquía	415,150	Alemania	143,221

**Fuente:** (FAO, 2016)

Con respecto a El Salvador, este mantiene una fuerte dependencia de las importaciones de fresas frescas.

El Centro de Comercio Internacional reporta el valor y cantidad importada para los periodos 2013-2017.

La Tabla 1.6 presenta la cantidad en toneladas importada anuales de fresas “frutillas” frescas.

**Tabla 1.6.**

*Cantidad anual (miles) importada de fresas “frutilla” frescas (toneladas)*

Producto	Cantidad anual importada (miles de toneladas)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Fresas “frutillas”, frescas	3,382	2,899	5,151	6,228	5,676

**Fuente:** (Centro de Comercio Internacional, 2018).

La Tabla 1.7 presenta el valor (dólar americano) importado anuales de fresas “frutillas” frescas.

**Tabla 1.7.**

*Valor importado (millones) de fresas “frutillas” frescas (dólar americano)*

Producto	Valor importado anuales (dólar americano)				
	2013	2014	2015	2016	2017
Fresas frescas	1.349	1.340	1.294	1.056	1.070

**Fuente:** (Centro de Comercio Internacional, 2018)

### III) Recolección, almacenamiento y conservación postcosecha de las fresas.

- a. **Recolección:** La recolección de las fresas se realiza cuando el 75 % de su superficie se ha puesto roja y el fruto esta firme. En condiciones ambientales la fresa se deteriora a los dos o tres días después de ser recolectada, esto debido a la temperatura, ya que cuando la temperatura aumenta, provoca que las fresas se ablanden rápidamente y se contaminan con hongos (Grupo de Desarrollo Rural Bajo Nalón, 2015).
- b. **Almacenamiento y conservación postcosecha:** Las condiciones de almacenamiento como la temperatura y humedad relativa juegan un papel importante en términos de calidad e inocuidad en las fresas, ya que al ser estas condiciones las

óptimas impiden el deterioro temprano de estas. Por ejemplo la humedad relativa dependiendo de su porcentaje, influye de manera positiva o negativa en la conservación de fresas, si la humedad relativa es baja implica una deshidratación, marchitamiento, pérdida de peso, en cambio, si la humedad relativa es alta implica el desarrollo de microorganismos y podredumbre (Grupo de Desarrollo Rural Bajo Nalón, 2015).

Según McGregor (1989), recomienda una temperatura de 0 °C y una humedad relativa entre el 90 y 95%, para el transporte y almacenamiento de fresas, el tiempo de vida aproximada es de 5 a 7 días.

#### IV) Principales microorganismos que atacan a las fresas en períodos postcosecha.

Las dos podredumbres más importantes que se producen en el período postcosecha en las fresas son las producidas por: *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonife*.

##### A. *Botrytis cinerea*

**Síntomas:** En los frutos se presenta como una pudrición blanda acompañada de una masa de micelio y conidias de color gris como puede observarse en la Figura 1.4, este hongo sigue creciendo a temperaturas de 0 °C, por lo que causa pérdidas en períodos postcosecha, ya que la presencia de un fruto enfermo termina pudriendo a los frutos adyacentes (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2013).



**Figura 1.4.** Fresa con micelios y conidias producidas por *Botrytis cinerea*

**Fuente:** (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2013)

##### **Manejo de la enfermedad:**

Algunas medidas para prevenir y eliminar la contaminación debido a este hongo durante la cosecha y postcosecha presentada por la Revista Infoagro (2016) son las siguientes:

- a. Evitar el uso de abonos nitrogenados excesivos, ya que a niveles elevados favorecen el desarrollo de la enfermedad.
- b. Eliminación de los frutos enfermos.
- c. Almacenar los frutos en refrigeración inmediatamente después de su recolección.
- d. Utilización de organismos como *richoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, que actúan como organismos biocontroladores.

### ***B. Rhizopus stolonifer***

**Síntomas:** Origina un ablandamiento y exudado en la fruta infectada, es decir, los tejidos debido a su descomposición empiezan a perder jugos. La fruta es cubierta por filamentos blanco y negro como puede observarse en la Figura 1.5.



**Figura 1.5.** Fresa cubierta por filamentos blancos y negros producidos por *Rhizopus stolonifer*

**Fuente:** (Junqueira, 2016)

Después del periodo postcosecha y durante el empaque, se presentan las mayores pérdidas por pudriciones debido al ataque de este hongo.

Un fruto infectado desencadena que los frutos adyacentes se contaminen, en un tiempo de cuatro días puede cubrir totalmente los frutos, lo que origina pérdidas considerables en un corto tiempo (Universidad de Buenos Aires, 2018)

### **Manejo de la enfermedad:**

La cátedra de fitopatología de la Universidad de Buenos Aires (2018), establece algunas medidas para prevenir y eliminar la contaminación debido a este hongo durante la cosecha y postcosecha, las cuales se detalla a continuación:

- a. Eliminación de fruta podrida de las plantas.
- b. Aplicación de fungicidas.
- c. Manipular de forma adecuada la fruta, evitando no dañarla o herirla.

- d. Enfriar la fruta de manera inmediata después de la cosecha, esto ayuda a la prevención del aumento de la pudrición, ya que el hongo no crece a temperaturas inferiores a 5 °C.
- e. Uso de atmósferas controlada o atmósfera modificada.

#### **1.4 Aceite esencial de orégano: Generalidades y antecedentes en el uso de biopelículas comestibles.**

A continuación se presenta información sobre la planta de orégano, los métodos de extracción del aceite esencial, la composición química, diferentes análisis fisicoquímicos que son aplicados a los aceites esenciales, la propiedad antimicrobiana exclusivamente del aceite esencial de orégano y el uso de este en biopelículas o recubrimientos comestibles.

##### **1.4.1 Generalidades del orégano.**

El orégano comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, flores y hojas. Las principales especies de uso culinario común son el *Origanum vulgare* (perteneciente a la familia *Lamiaceae*) nativo de Europa y *Lippia graveolens* (perteneciente a la familia *Verbenaceae*) nativo de México. El género *Origanum* se ha clasificado en 3 grupos, 10 secciones, 38 especies, 6 subespecies y 17 híbridos (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Urbe, y González de Mejía, 2004).

##### **1.4.2 Aceite esencial de orégano.**

Según la definición de la Norma Mexicana NMX-K-090-1974 “se considera como aceite esencial, únicamente a la sustancia volátil obtenida por un proceso físico, de material vegetal oloroso y/o sávido de un solo género y especie botánicos, del cual posee las características olorosas y/o sápidas del que generalmente lleva el nombre.”

En términos generales los aceites esenciales a condiciones ambientales son líquidos que presentan una densidad menor que la del agua, pero una mayor viscosidad que esta. Son inflamables, no tóxicos, aunque puede existir casos que las personas presenten sensibilidad a algún compuesto que contiene los aceites esenciales. Los aceites esenciales son solubles en disolventes orgánicos e inmiscibles en disolventes polares asociados, sufren de degradación química en presencia de aire, luz solar, calor, ácidos y álcalis fuertes (Vega-Portocarrero y López-Malo, 2009).

Entre los factores que inciden sobre la composición y el rendimiento de aceites esenciales se encuentran: Régimen climático (luminosidad, temperatura, pluviosidad, vientos, altitud), tipo de suelo y disponibilidad de nutrientes, postcosecha (lavado, secado, empaque, almacenamiento y transporte), métodos de extracción (arrastre con vapor, hidrodestilación, uso de solventes), procesos industriales a los que son sometidos para mejorar sus características organolépticas (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2003).

### **1.4.3 Métodos de extracción de los aceites esenciales.**

Hay diferentes métodos para la extracción de aceites esenciales, con disolvente, por fluidos supercríticos, por microondas, sin embargo, los métodos anteriores tienen ventajas y desventajas, al utilizar disolventes se tiene el problema que se obtenga un extracto impuro, es muy costoso a nivel industrial por el valor comercial de los disolventes y es limitado el uso de estos aceites en la industria de alimentos; el método por fluidos supercríticos tiene sus ventajas, como los tiempos de extracción se reducen, se obtienen rendimientos mayores, sin embargo tienen la desventaja es que ceras cuticulares y compuestos de alto peso molecular son extraídos con el aceite y al realizar extracción por microondas hay una reducción considerable del tiempo y del consumo de energía, sin embargo se requieren altos niveles de seguridad (Peredo-Luna, Palou-García, y López-Malo, 2009).

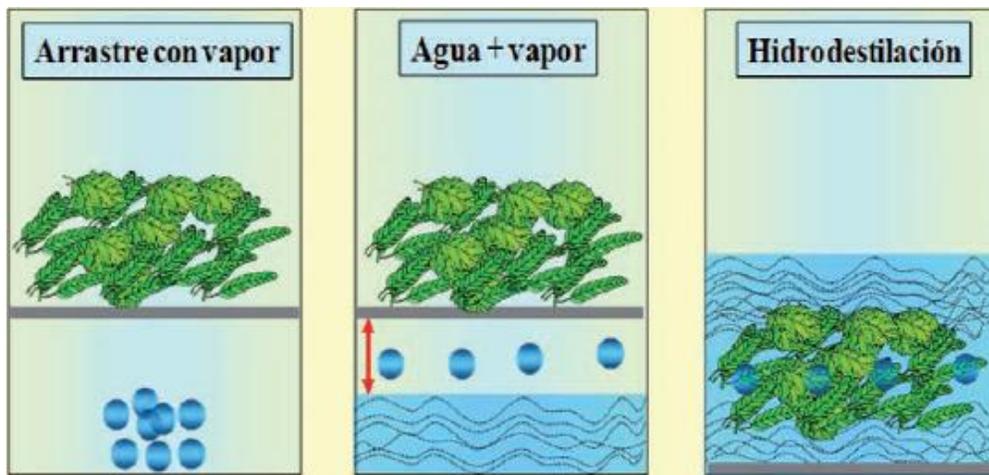
Es por ello, que los métodos más utilizados son: Destilación por arrastre con vapor, destilación con agua-vapor e hidrodestilación.

- I) Destilación por arrastre con vapor:** Este consiste en la inyección de vapor de agua que penetra al material vegetal, la corriente de vapor rompe las células en la planta y arrastra la mezcla volátil. Se obtendrán dos fases inmiscibles una orgánica y otra acuosa, cada una de estas fases se comportaran independientemente, es decir, cada uno de ellos ejercerá su propia presión de vapor y corresponderá a la del líquido puro a una temperatura de referencia. El destilado obtenido será puro en relación con el compuesto volátil, en este caso será necesaria la decantación para ser separado del agua (Stashenko, 2009).
- II) Destilación agua-vapor:** En este caso, el material se encuentra suspendido sobre un tramo (falso fondo), que impide que este en contacto con el líquido en ebullición. El

vapor puede ser generado desde una fuente externa o dentro del extractor (Stashenko, 2009).

**III) Hidrodestilación:** En este método se pone en contacto el agua y el material vegetal y se aplica calor. Un factor importante en este método, es que la cantidad de agua que está en contacto con el material vegetal debe ser suficiente durante el proceso, a fin de evitar el sobrecalentamiento o carbonización del material vegetal, ya que al ocurrir esto, provocaría la formación de olores desagradables en el producto final, además de lo anterior es recomendable que el material vegetal se encuentre en constante agitación para evitar sedimentación o aglomeraciones del mismo en el fondo provocando su degradación térmica (Bandoni, 2002).

En la Figura 1.6 se presentan los tres métodos más utilizados para la extracción de aceites esenciales.



**Figura 1.6.** Obtención de aceite esencial por arrastre con vapor, agua-vapor e hidrodestilación

**Fuente:** (Stashenko, 2009)

#### 1.4.4 Caracterización de los aceites esenciales.

Para garantizar la calidad e inocuidad de los aceites esenciales, es necesario someterlos a una caracterización completa, en la cual se evalúan características organolépticas, determinaciones físicas, índices químicos, características cromatográficas, características espectroscópicas y otras determinaciones (Bandoni, 2002).

- i. *Características organolépticas:* Olor, apariencia, color.
- ii. *Constantes físicas:* Densidad, poder rotatorio, índice de refracción, miscibilidad en etanol, punto de congelación, punto de inflamación, rango de destilación.
- iii. *Índices químicos:* índice de acidez, índice de éster, índice de saponificación, índice de acetilo, índice de fenoles, índice de peróxido.
- iv. *Características cromatográficas:* Perfil cromatográfico utilizando cromatografía de gases, cuantificación de los principales componentes. Esta caracterización es de las más importantes, ya que permite conocer la composición química, nombres y cantidades de constituyentes del aceite esencial.
- v. *Características espectroscópicas:* Espectroscopia ultravioleta, visible o infrarrojo.
- vi. *Otras determinaciones:* Pesticidas, metales pesados.

El objetivo de determinar algunas de las constantes físicas e índices químicos en los aceites esenciales, se enlistan a continuación (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA):

- a. Densidad: El método consiste en determinar la masa a volúmenes iguales de agua y de aceite o grasa vegetal o animal que se utilizarán para calcular la relación entre ambos valores, bajo condiciones específicas de temperatura a 20 °C para aceites.
- b. Índice de refracción: Señala adulteraciones y envejecimiento de los aceites.
- c. Miscibilidad en etanol: Sirve para detectar adulteraciones producto de la adición de aceites vegetales o minerales que son insolubles en alcohol.
- d. Punto de congelación: Tiene por objeto determinar y separar componentes de distinto punto de solidificación
- e. Índice de acidez: Representa el grado de acidez y se expresa como el número de hidróxido potásico necesario para neutralizar los ácidos que contiene un gramo de aceite.
- f. Índice de éster: Determina el contenido de ésteres de la muestra, y se expresa como el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para saponificar los ésteres que contiene un gramo de aceite esencial.
- g. Índice de peróxido: Es la cantidad en microgramos de oxígeno activo, en un gramo de sustancia, que nos indica el grado de envejecimiento en los aceites esenciales.

Para realizar la caracterización de los aceites esenciales, existen normas ya sean propias de cada país o normas internacionales como las ISO (Organización Internacional para la Estandarización) y las UNE (Una Norma Española) que los países adoptan, en las cuales indican el procedimiento que se debe de llevar a cabo para realizar las mediciones para determinar los índices químicos, físicos (Stashenko, 2009).

En relación al aceite esencial de orégano el Código de Regulaciones Federales de los Estados Unidos, en el título 21: Alimentos y drogas, parte 182, reconoce al aceite esencial de orégano (*Origanum spp*) como sustancia segura GRAS (Generally Recognized as Safe) (FDA, 2017).

#### **1.4.5 Composición química del aceite esencial de orégano.**

En términos generales los aceites esenciales están conformados por las siguientes clases de sustancias volátiles: Terpenos, compuestos fenólicos y sus derivados, moléculas no terpénicas (alcoholes, ésteres, ácidos) y menos frecuentemente por compuestos heterocíclicos, que contienen generalmente átomos de nitrógeno o azufre. (Stashenko, 2009).

En el aceite esencial de orégano se han encontrado flavonoides como la apigenina y la luteolina, agliconas, alcoholes alifáticos, compuestos terpénicos y derivados del fenilpropano (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Uribe, y González de Mejía, 2004). En la especie *Origanum vulgare* se han encontrado ácidos cumérico, ferúlico, caféico,  $p$ -hidroxibenzóico y vainillínico, sus principales quimiotipos de esta especie son el carvacrol y el timol. En la especie *Lippia* contienen limoneno,  $\beta$ -cariofileno,  $p$ -cimero, canfor, linalol,  $\alpha$ -pineno y timol (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Uribe, y González de Mejía, 2004).

En la Tabla 1.8 se presentan los compuestos principales presentes en los aceites esenciales encontrados en algunos tipos de especies de orégano.

**Tabla 1.8.**

Composición química del aceite esencial de acuerdo a la especie de orégano

Nombre científico	Principales componentes
<i>O. vulgare</i>	Ácido o-cumárico, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido $\rho$ -hidroxibenzoico, ácido vainillínico, ácido rosmarínico. Mirceno, $\alpha$ -terpineno $\rho$ -cimeno, $\gamma$ -terpineno, timol, carvacrol, $\beta$ -cariofileno
<i>O. dictamnus</i>	$\rho$ -cimeno, timoquinona.
<i>O. onites</i>	Ácido ferúlico, ácido cafeico, $\rho$ -hidroxibenzoico ácido vainillinico
<i>O. glandulosum</i>	$\rho$ -cimeno, $\gamma$ -terpineno, timol, carvacrol
<i>L. multiflora</i>	1,8-cineol, linalool, $\beta$ -cariofileno, (Z)b-farneseno, germacreno D, (Z)-nerolidol
<i>L. graveolens</i>	Ácido carioptosidico, naringenina, pinocembrina, $\beta$ -felandreno, carvacrol, 1,8-cineol, $\rho$ -cimeno, metil timol, timol
<i>L. sidoides</i>	Metil 3, 4-dihidroxibenzoato, lapachenol, quercetin, luteolin.

**Fuente:** (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Uribe, y González de Mejía, 2004)

#### 1.4.6 Propiedad antimicrobiana del aceite esencial de orégano.

La propiedad antimicrobiana de las especies es atribuida a los compuestos fenólicos presentes en los aceites esenciales de las mismas, estos compuestos fenólicos son sustancias que le sirven a las plantas como un escudo protector contra la depredación de microorganismos e insectos. Los compuestos fenólicos inactivan las enzimas esenciales, alteran el material genético y reaccionan con la membrana celular de los microorganismos (Vega-Portocarrero y López-Malo, 2009).

En el aceite esencial de orégano los compuestos que tienen niveles más altos de actividad contra microorganismos gram negativos excepto para *P. aeruginosa*, es el carvacrol y timol, estos compuestos producen cambios en la concentración de los ácidos grasos de la membrana celular de los microorganismos (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Uribe, y González de Mejía, 2004).

Los aceites esenciales de las especies del género *Origanum* presentan actividad contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica* y *Enterobacter cloacae*; y las gram positivas como *Staphylococcus aureus*,

*Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus subtilis*, además presentan capacidad antifúngica contra *Cándida albicans*, *C.tropicalis*, *Torulopsis glabrata*, *Aspergillus niger*, *Geotrichum* y *Rhodotorula*; pero no contra *Pseudomona aeruginosa*.

Los valores de la concentración mínima inhibitoria (CMI) para los aceites esenciales se han establecido entre 0.28-1.27 mg/mL para bacterias, y de 0.65-1.27 mg/mL para hongos.

Otros microorganismos como *Acinetobacter baumannii*, *Aeromonas veronii biogroup sobria*, *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica subsp. enterica serotype typhimurium*, *Serratia marcescens* y *Staphylococcus aureus*, se han logrado inhibir gracias a la presencia de extractos de orégano (2% v/v) (Arcila-Lozano, Loarca-Piña, Lecona-Uribe, y González de Mejía, 2004).

Entre los factores que afectan la actividad antimicrobiana de los aceites esenciales son: Tipo de microorganismo ya que estos difieren en su resistencia, tipo de sustrato, variaciones en la composición de la planta (Vega-Portocarrero y López-Malo, 2009).

#### **1.4.7 Antecedentes sobre el uso del aceite esencial de orégano en biopelículas comestibles.**

Algunas investigaciones acerca del uso del aceite esencial para la formulación de biopelículas, se enlistan a continuación:

##### **I. Aplicación de recubrimientos comestibles adicionados con aceite esencial de orégano en pepino (*Cucumis Sativus L.*)**

Sosa Cantero, Trejo Márquez, Lira Vargas y Pascual Bustamante (2016) determinaron el efecto de un recubrimiento a base de carboximetilcelulosa, cera de candelilla y aceite esencial de orégano. La concentración de orégano empleados fue de 500, 750 y 1000 ppm, los pepinos recubiertos los almacenaron a 13 °C por 20 días, en este período de tiempo evaluaron el efecto antifúngico contra la antracnosis, los resultados mostraron que el recubrimiento con 1000 ppm de aceite esencial presentó 100% de inhibición con respecto a las otras concentraciones.

## **II. Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceite esencial de orégano para la conservación de papaya “Maradol”.**

Pontigo Suárez, Trejo Márquez y Lira Vargas (2015), desarrollaron un recubrimiento a base de carboximetilcelulosa, adicionado con aceite esencial de orégano, con efecto antibacterial y antifúngico en papaya variedad “Maradol”, la formulación del recubrimiento consta de concentraciones de 0.5% de carboximetilcelulosa, se utilizó glicerol como plastificante al 1%, emulsificante (Tween 80) al 0.5% y aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*) a 5000 ppm. La extracción del aceite esencial de orégano se realizó por destilación (arrastre de vapor). Al realizar el análisis microbiológico con respecto a *Salmonella spp.*, observaron que hubo una disminución de la población bacteriana hasta en 2.5 ciclos log UFC/mL.

## **III. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite de orégano (*Origanum vulgare*) en la calidad y vida útil de la lechuga (*Lactuca sativa L*) mínimamente procesada refrigerada.**

Patiño Rincón, Moreno Cristancho y Chaparro González (2012), elaboraron una película comestible compuesta por pectina, gelatina y aceite de orégano, realizaron 10 formulaciones variando la concentración de pectina, aceite de orégano, agua destilada, el porcentaje de gelatina se mantuvo fijo en todas las formulaciones. Evaluaron tasa de respiración, pérdida de peso, adhesión del recubrimiento, análisis sensorial, análisis microbiológico, al realizar el análisis estadístico a cada uno de estos parámetros para cada formulación, la película que mostró mejores resultados fue la que está compuesta por pectina 6%, gelatina 5% y aceite de orégano en concentraciones de 1% y 2%. Los resultados mostraron que la tasa de respiración se disminuye en un 30%, la pérdida de peso en un 21% y la reducción de humedad en 94%. La vida útil de la lechuga refrigerada fue de 9 a 20 días.

## 1.5 Almidón: Generalidades y antecedentes en biopelículas comestibles.

A continuación se presenta información sobre el almidón, su composición química, los métodos de extracción, los cambios térmicos producidos en el gránulo de almidón, además de diferentes investigaciones sobre el uso en biopelículas o recubrimientos comestibles.

### 1.5.1 Generalidades del almidón.

La reserva alimenticia predominante en las plantas es el almidón, este proporciona el 70-80% de las calorías consumidas a nivel mundial por los seres humanos, ya que el almidón es uno de los carbohidratos más digeribles de la dieta habitual. Desde el punto de vista comercial el almidón es el polisacárido más importante, se encuentra en los cereales como el maíz céreo, maíz rico en amilosa, trigo, varios tipos de arroz; tubérculos y algunas frutas como polisacáridos de reserva energética (Fennema, 2010). Según Badui Dergal, (2016) la concentración de almidón varía según la fuente en la que se encuentre.

En la Tabla 1.9 se muestra como varía la concentración del almidón en el plátano a medida que el fruto madura, esto es debido a que el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas y otros sistemas enzimáticos.

**Tabla 1.9.**

*Contenido de almidón y azúcares en el plátano durante las etapas de maduración*

<b>Características</b>	<b>Almidón</b>	<b>Azúcares</b>
Verde	21.5-19.5	0.1-2.0
Verde con huella de amarillo	19.5-16.5	2.0-5.0
Más amarillo que verde	15.0-9.0	6.0-12.0
Solo puntas verdes	10.5-2.5	10.0-18.0
Todo amarillo	4.0-1.0	16.5-19.5
Pequeñas áreas de color café	2.5-1.0	17.5-19.0
Grande áreas de color café	1.5-1.0	18.5-19.0

**Fuente:** (Badui Dergal, 2016)

### 1.5.2 Composición química del almidón.

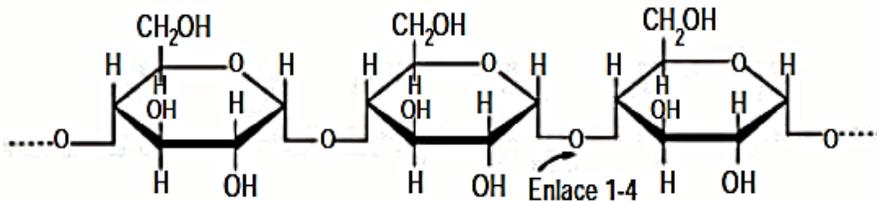
Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos, un polisacárido lineal llamado amilosa, y el otro polisacárido ramificado denominado amilopectina.

#### I) Amilosa.

La amilosa es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha(1,4)$ , que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa (Badui Dergal, 2006).

La amilosa tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui Dergal, 2006).

En la Figura 1.7 se presenta la estructura de la amilosa.

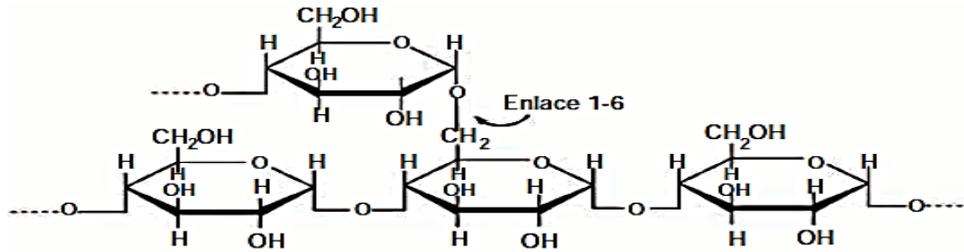


*Figura 1.7.* Estructura de la molécula de amilosa

Fuente:(Mejía Lorío., Aristizábal., y Sánchez., 2007)

#### II) Amilopectina.

La amilopectina contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6) (véase la Figura 1.8), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones (Badui Dergal, 2006).



**Figura 1.8.** Estructura de la molécula de amilopectina

**Fuente:** (Mejía Lorío., Aristizábal., y Sánchez., 2007)

Los almidones en términos generales, contienen aproximadamente valores entre 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina, la concentración de estos dos polímeros depende de los factores genéticos de las fuentes que los contienen, además que la amilosa y la amilopectina tienen efecto en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, como lo son la hidratación y gelatinización (Badui Dergal, 2006).

En la Tabla 1.10 se muestra los porcentajes de amilopectina y amilosa presentes en algunos almidones.

**Tabla 1.10.**

*Porcentaje de amilopectina y amilosa presente en algunos almidones*

<b>Tipo de almidón</b>	<b>Amilopectina (%)</b>	<b>Amilosa (%)</b>	<b>Tipo de almidón</b>	<b>Amilopectina (%)</b>	<b>Amilosa (%)</b>
Maíz	73	27	Plátano	63	37
Papa	78	22	Maíz céreo	99-100	0-1
Arroz	83	17	Sorgo céreo	99-100	0-1
Trigo	76	24			

**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

### 1.5.3 Métodos de extracción.

Los métodos para obtener almidón de manera comercial son dos: método húmedo y método seco, estos métodos se diferencian entre sí, por medio del orden en el que se llevan dos operaciones: secado y molienda.

## **I) Método húmedo.**

Las etapas esenciales para el proceso de extracción de almidón por el método húmedo son las siguientes: Operaciones preliminares (selección, pesado, lavado, pelado y corte), maceración, tamizado, decantación, secado, tamizado y empacado (Mazzeo M, Alzate G, y Marín M, 2008).

## **II) Método seco.**

La extracción del almidón por medio de este método se basa en la molienda seca de cereales y tubérculos, las etapas esenciales que conlleva este método son las siguientes: operaciones preliminares (selección, pesado, lavado, pelado y corte), secado, molienda, tamizado, empacado (Mazzeo M, Alzate G, y Marín M, 2008).

Ambos métodos no solo se diferencian, en el orden de las operaciones de secado y tamizado, sino que también en el rendimiento obtenido.

Mazzeo, Alzate y Marín (2008), compararon los rendimientos por ambos métodos para la obtención de almidón a partir de residuos postcosecha del plátano dominicano Hartón (Musa ABB SIMMONDS), el cual presentó mayor rendimiento de almidón por el método húmedo, sin embargo, no se puede seleccionar como el mejor, ya que el método húmedo presenta el problema de contaminación ambiental debido a la generación de líquidos con elevada carga orgánica, además del consumo alto de agua.

### **1.5.4 Gránulos del almidón.**

Los gránulos de almidón presentan una estructura rígida, la cual está compuesta por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina ordenadas de forma radial, y permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales. Estos cuerpos presentan dos índices de refracción, es decir son cuerpos birrefringentes, por lo cual cuando se irradia con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”, esto es producto a que dentro de los gránulos existen zonas cristalinas de moléculas de amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina, que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa. Esta característica, se pierde cuando los gránulos alcanzan la gelatinización. Además la forma y tamaño del gránulo son característicos de cada especie botánica (Badui Dergal, 2006).

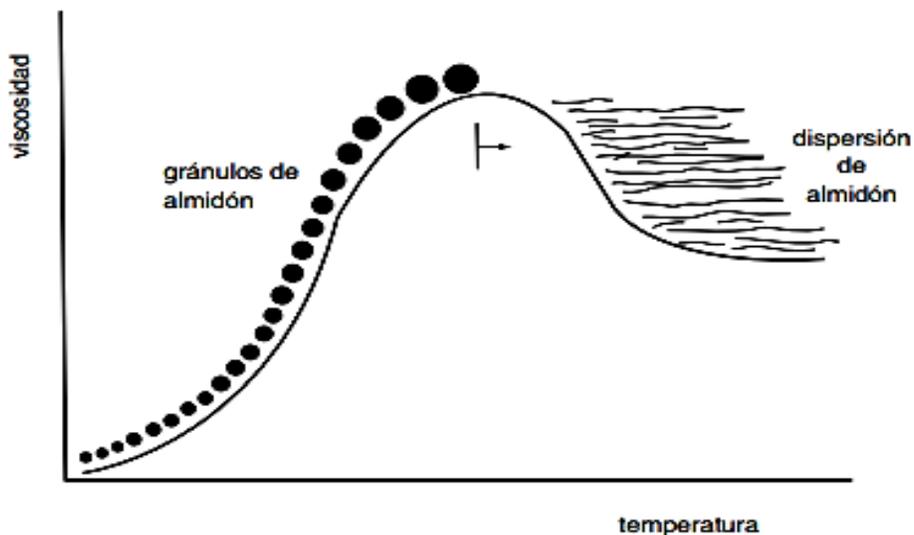
### 1.5.5 Cambios térmicos producidos en el gránulo del almidón.

El gránulo del almidón sufre cambios en presencia de un aumento de temperatura, estos cambios: La gelatinización y la retrogradación.

#### D) Gelatinización.

Según Badui Dergal (2006), la gelatinización “es el intervalo de temperatura en la que se alcanza el máximo de viscosidad, pérdida de birrefringencia y el patrón de difracción de rayos X”. Este fenómeno ocurre en presencia de calor, debido a que los gránulos son insolubles en agua fría, el gránulo al estar en presencia de un aumento de temperatura retiene más agua y presenta un hinchamiento y por ende un aumento en su volumen, si se administra más calor, el gránulo queda incapacitado en retener más líquido originando así un rompimiento dando como producto a la dispersión en el seno de la disolución de la amilosa y la amilopectina, en este punto se pierde la estructura original y la birrefringencia del gránulo, esto aunado a un aumento de la viscosidad.

En la Figura 1.9 muestra el aumento de volumen de los gránulos contra el aumento de la viscosidad de la dispersión acuosa, en el cual se observa que al existir un rompimiento de los gránulos, la viscosidad empieza a reducirse hasta llegar a un valor estable.



*Figura 1.9.* Proceso de gelatinización del almidón

**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

Cabe señalar, que se habla de un intervalo de temperatura de gelatinización ya que los gránulos tienen diferente composición y grado de cristalinidad aunque provengan de la misma fuente botánica, lo que produce que unos sean más resistentes que otros.

En la Tabla 1.11 se muestran las temperaturas de gelatinización para algunos almidones.

**Tabla 1.11.**

*Temperatura de gelatinización (°C) de algunos almidones usados en la industria alimentaria*

<b>Tipo</b>	<b>Temperatura de gelatinización (°C)</b>	<b>Tipo</b>	<b>Temperatura de gelatinización (°C)</b>
Maíz	62-72	Tapioca	51-65
Maíz rico en amilosa	67-80	Maíz céreo	63-72
Papa	58-67	Sorgo	67-74
Arroz	62-78	Trigo	58-64

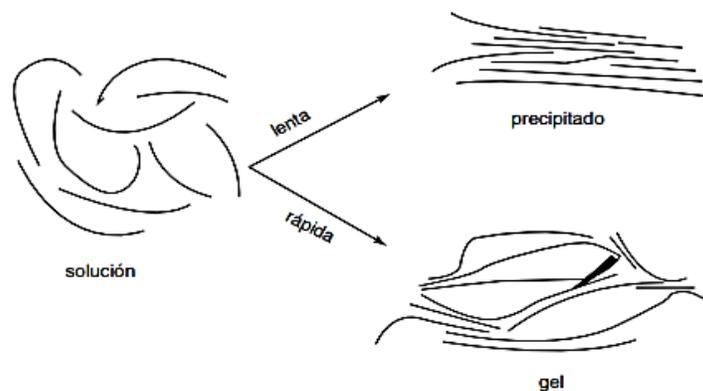
**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

Según Fennema (2010), los gránulos más grandes son los primeros en gelatinizar, además que la temperatura inicial aparente de gelatinización y el intervalo dentro del cual tiene lugar depende de la relación almidón-agua, del tipo de gránulo, de las heterogeneidades en la población de gránulos y del método de medida.

## **II) Retrogradación.**

Badui Dergal (2006) define la retrogradación como “la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa”, producto de la orientación paralela de sus cadenas lineales y la reacción entre sí que ocurre por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; este fenómeno puede ocurrir según la concentración y la temperatura del sistema, la formación de un gel rígido y reversibles es producto de un calentamiento de una solución concentrada de amilosa que se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente, pero si las soluciones son diluidas las moléculas de almidón tienden a precipitar cuando se dejan reposar y enfriar lentamente.

En la Figura 1.10 se muestra el mecanismo de retrogradación del almidón.



**Figura 1.10.** Mecanismo de retrogradación del almidón

**Fuente:** (Badui Dergal, 2006)

Fennema (2010) establece que la velocidad de retrogradación depende de varios factores, entre los cuales se encuentran: La relación molecular amilosa-amilopectina, las estructuras de las moléculas de amilosa y amilopectina, estas están determinadas por la fuente botánica de la que proviene el almidón; la temperatura, la concentración del almidón, pH.

### **1.5.6 Uso del almidón en biopelículas comestibles.**

El almidón es uno de los polisacáridos utilizados en la formación de películas comestibles, Tongdeesoontorn, Mauer, Wongruong, Sribur y Rachtanapun (2011), establecieron que la relación de la amilosa y amilopectina es un valor muy importante en la formación de películas comestibles ya que tiene influencia en las propiedades físicas y mecánicas, esta últimas mejoran con la adición de plastificante o al mezclar el almidón con otros biopolímeros. Algunas investigaciones acerca del uso del almidón para la formulación de biopelículas, se enlistan a continuación:

#### **I) Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera.**

Zamudio-Flores, Romero-Bastida y Bello-Perez (2011) evaluarón la actividad antimicrobiana del aceite esencial de canela y sorbato de potasio frente a dos cepas *Listeria innocua* y *Staphylococcus aureus*, además de determinar propiedades como la solubilidad y propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua para observar la funciona-

lidad de la biopelícula. Para ello utilizaron almidón de plátano modificado con hipoclorito de sodio al 1% p/p. Las películas se elaboraron mezclando una concentración de almidón de 4% p/p en base seca y glicerol de 2% p/p, con respecto a la concentración del antimicrobiano, algunas películas se adicionó concentraciones de 0.4% y 0.6% p/v de sorbato de potasio y para el aceite esencial de canela 1% y 1.5% p/v, al realizar los diferentes análisis se obtuvieron los siguientes resultados: El aceite esencial de canela presento una mayor actividad antimicrobiana en comparación con el sorbato de potasio en las dos cepas estudiadas. La incorporación del aceite de canela disminuyó la permeabilidad al vapor de agua de  $18.34 \times 10^{-10}$  a  $5.07 \times 10^{-10}$  g/m•s•Pa, no modifico el porcentaje de elongación. Por otro lado, el sorbato de potasio aumento la solubilidad de 35.2% a 68.8% y la permeabilidad al vapor de agua de  $18.34 \times 10^{-10}$  a  $22.52 \times 10^{-10}$  g/m•s•Pa.

## **II) Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche.**

Palma Rodríguez, Salgado Delgado, Páramo Calderón, Vargas Torres y Meza Nieto (2017) estudiaron las propiedades de las películas a partir de mezclas de polímeros naturales (almidón, proteína), para ello se utilizaron proteínas del suero de la leche de vaca  $\alpha$ -Lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA) y  $\beta$ -Lactoglobulina ( $\alpha$ -LG A y  $\alpha$ -LG B) en la elaboración de películas biodegradables a base de almidón de plátano, para la elaboración de las biopelículas se mezclaron 4 g de almidón de plátano y 0.5 g de proteína sérica, 1.6 mL de glicerol y 100 mL de agua destilada en cada concentración. Se elaboró una biopelícula solo de almidón de plátano que serviría de control, al analizar las propiedades a las biopelículas de solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, mecánicas (esfuerzo a la ruptura, módulo de Young, elongación y dureza), muestran que las biopelículas que contienen las proteínas del suero tuvieron un mayor porcentaje de solubilidad (32.42%) que aquella elaborada con almidón (7.2%), sin embargo la adición de las proteínas no afecto la permeabilidad al vapor de agua con respecto a la que solo contenía almidón, caso contrario sucede con las propiedades mecánica, ya que la adición de estas proteínas a la matriz del almidón mejoraron dichas propiedades.

### **III) Formulación y caracterización de una Biopelícula comestible elaborada a partir de Almidón de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y Yuca (*Manihot esculenta*).**

Arévalo Alvarenga, Azucena Peña y Laínez Amaya (2017), el objetivo de su investigación era determinar la formulación y los parámetros de proceso idóneos, para la elaboración de una biopelícula comestible, obtenida a partir de almidón de sorgo y yuca. La biopelícula fue utilizada en el recubrimiento de moras y fresas, para ello realizaron 10 formulaciones, variando los porcentajes de almidón de yuca, almidón de sorgo y glicerol, estableciendo la concentración de antimicrobiano de 0.1% de sorbato de potasio para todas las formulaciones, a cada formulación se le evaluaron propiedades a la biopelícula (solubilidad, permeabilidad al vapor de agua, biodegradabilidad, análisis microbiológico) y al recubrimiento en fresas y en moras (°Brix, pH, pérdida de peso, acidez titulable, análisis microbiológico, análisis sensorial), al analizar los datos obtenidos para cada análisis, proponen el uso de la biopelícula compuesta por 5% p/v de almidón (50% de almidón de Sorgo y 50% de almidón de Yuca) y 2% de glicerol, para el estudio de vida de anaquel de otro tipo de frutos e incluso verduras, la aplicación de esta biopelícula permitió extender el período de vida de anaquel a 19 días en moras y 17 días en fresas, estos resultados se compararon con la vida de anaquel presentada en moras y fresas sin recubrimiento, la cual fue de 14 y 10 días en moras y fresas respectivamente.

# **CAPÍTULO II: DISEÑO EXPERIMENTAL**

---

## **2. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se presenta la descripción general del proceso que se llevó a cabo en la presente investigación, la metodología para la obtención de materia prima para las biopelículas y su caracterización (aceite esencial de orégano, almidón de plátano verde), además contiene el diseño experimental para las formulaciones de las biopelículas, el proceso para elaborarlas y la aplicación como recubrimiento en fresas, incluye los diferentes análisis que se realizaron para la caracterización de las biopelículas y recubrimiento y por último se presenta el análisis microbiológico y análisis sensorial para determinar la vida de anaquel de las fresas con recubrimiento.

### **2.1 Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano.**

A continuación se presenta el proceso para la extracción del aceite esencial de orégano a nivel de laboratorio, desde la obtención del orégano, operaciones preliminares, extracción del aceite esencial y los análisis fisicoquímicos para su caracterización.

#### **2.1.1 Diseño de la toma de muestra y operaciones preliminares.**

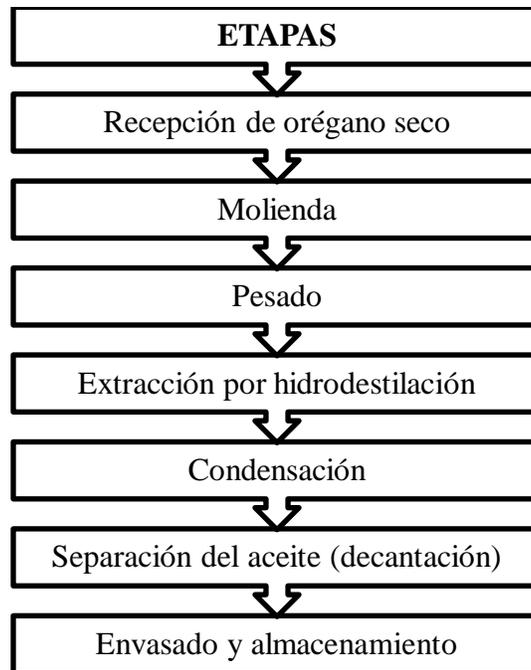
El orégano seco en su presentación comercial, fue adquirido a Productos la Canasta situado en el departamento de La Libertad. Se compraron en total 1000 gramos de orégano comercial seco.

El orégano fue llevado al Laboratorio de Química de la Planta Piloto en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador para la extracción del aceite esencial. Las operaciones preliminares como limpieza y desinfección no fueron aplicadas al orégano, ya que como se mencionó anteriormente, el orégano fue adquirido en su presentación comercial listo para su consumo.

#### **2.1.2 Proceso de extracción del aceite esencial de orégano.**

La extracción del aceite esencial de orégano a nivel de laboratorio se realizó por el método de hidrodestilación, poniendo en contacto directo el material vegetal y el agua generadora de vapor.

La metodología utilizada para la extracción del aceite esencial de orégano se presenta en la Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Proceso de extracción del aceite esencial de orégano

A continuación se detalla la descripción de cada etapa del proceso de extracción del aceite esencial de orégano.

### **Descripción de las etapas del proceso de extracción del aceite esencial de orégano**

- i. *Recepción orégano seco:* Para llevar a cabo la extracción del aceite esencial, fueron adquiridos 1000 g de orégano comercial seco, provenientes de Productos la Canasta situado en el departamento de La Libertad.
- ii. *Molienda:* Haciendo uso de una licuadora, se procedió a moler el orégano seco hasta obtener un polvo similar a una harina.
- iii. *Pesado:* Una vez molido, se pesaron 50 g de orégano en una balanza analítica, y posteriormente se colocaron en un balón de 1000 mL con la ayuda de un embudo.
- iv. *Extracción por hidrodestilación:* Después de depositar la materia prima molida en el balón, se añadieron 750 mL de agua destilada. Seguidamente la mezcla se sometió a calentamiento y agitación (para evitar que el material se aglomere y/o adhiere a las paredes) haciendo uso de un hotplate.

El agua al llegar a su punto de ebullición generó vapor, el cual al entrar en contacto con la materia prima, extrajo los componentes volátiles (aceite esencial).

El orégano molido junto con el agua se mantuvo en ebullición durante 120 minutos, contados después de la obtención de la primera gota de destilado.

- v. *Condensación:* La mezcla de vapor saturado y aceite esencial fluyo hacia un condensador, en donde se condensa y enfrió hasta la temperatura ambiente. El destilado se colecto en un beaker de 250 mL contenido en un baño de hielo (con el fin de evitar la degradación del aceite por efecto de la temperatura).
- vi. *Separación del aceite (Decantación):* A la salida del condensador se obtuvo una emulsión líquida (destilado), que posteriormente se colocó en una ampolla de decantación para lograr la separación de las fases. Puesto que los dos líquidos (aceite y agua) no son miscibles, el destilado se separó en dos capas: una superior muy delgada de aceites esencial y la inferior de agua. Se dejó reposar durante 3 horas hasta que las fases estuvieran bien formadas y se drenó el agua.
- vii. *Envasado y almacenamiento:* Cuando solo se obtuvo aceite en la ampolla de decantación, se vertió en un frasco ámbar (para evitar la degradación debido al contacto con la luz solar), se etiquetó y finalmente se almacenó a temperatura de refrigeración.

### **2.1.3 Caracterización del aceite esencial de orégano.**

Al aceite esencial de orégano se le realizó pruebas de densidad según la Norma Mexicana NMX-F-075-SCFI-2012, índice de refracción de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-F-074-SCFI-2011 utilizando el refractómetro marca ABBE, infrarrojo utilizando el Espectrofotómetro Infrarrojo IRAinfinity-1 Marca SHIMADZU utilizando la metodología proporcionada en el manual adjunto al equipo.

#### **I) Densidad.**

La densidad del aceite esencial de orégano se determinó mediante la masa a volúmenes iguales de agua y aceite que se utilizó para calcular la relación entre ambos valores, a una temperatura de 20°C.

## **II) Índice de refracción.**

El índice de refracción del aceite esencial de orégano se determinó utilizando el refractómetro marca ABBE a una temperatura de 20°C\*

\* Se realizó corrección de temperatura como se muestra en el Anexo G.

## **III) Infrarrojo.**

El análisis se realizó utilizando el método de Espectrofotometría Infrarroja con el fin, de comparar los espectros obtenidos de la muestra con el reportado en la bibliografía. El equipo que se utilizó es el Espectrofotómetro Infrarrojo IRAinfinity-1 Marca SHIMADZU.

### **2.2 Extracción y caracterización del almidón de plátano verde.**

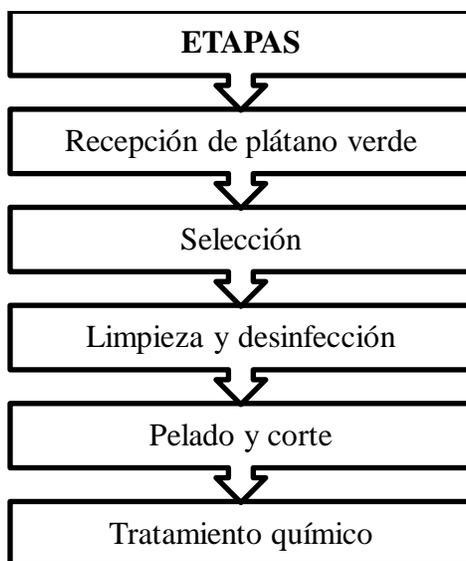
A continuación se presenta el proceso que se empleó para la extracción del almidón de plátano verde, desde la obtención del fruto, operaciones preliminares, extracción del almidón y los distintos análisis fisicoquímicos para su caracterización.

#### **2.2.1 Diseño de la toma de muestra y operaciones preliminares.**

Los frutos de plátano (*Musa paradisiaca*) en su estado verde o inmaduro, fueron adquiridos en el mercado de Colón del departamento de Santa Ana. En total se compraron 97 unidades de plátano verde.

Una vez adquirido los frutos fueron transportados al Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, donde se realizó las operaciones preliminares (Selección, limpieza y desinfección, pelado y corte) para la posterior extracción del almidón.

La Figura 2.2 muestra las operaciones preliminares que se aplicaron al plátano verde.



**Figura 2.2.** Operaciones preliminares aplicadas al plátano verde

A continuación se detalla la descripción de cada etapa de las operaciones preliminares aplicadas al plátano verde.

**Descripción de las etapas de las operaciones preliminares aplicadas al plátano verde.**

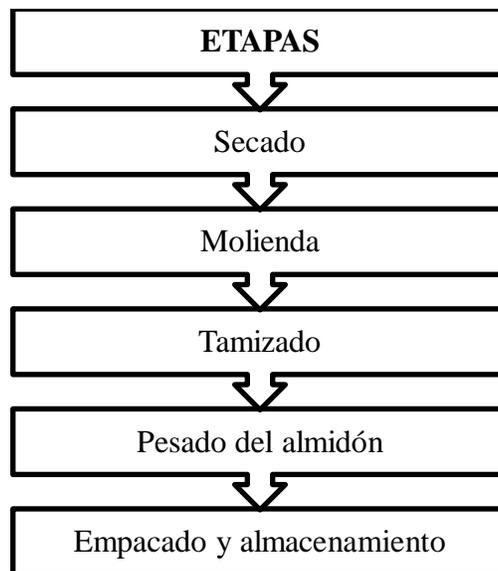
- i. *Recepción de plátano verde:* Para llevar a cabo la extracción del almidón se utilizaron 98 unidades de plátano verde procedente del mercado de Colón, del departamento de Santa Ana.
- ii. *Selección:* Se seleccionaron los plátanos que estuvieran exentos de magulladuras, daños causados por plagas, cualquier olor, podredumbre, que tengan consistencia firme.
- iii. *Limpieza y desinfección:* Esta etapa se realizó de la siguiente manera:
  - a. Limpieza: Los frutos se lavaron con agua potable y jabón para retirar la suciedad superficial como tierra.
  - b. Desinfección: Los frutos ya limpios se prosiguieron a la desinfección, la cual consistió en sumergir los plátanos en una solución preparada con hipoclorito de sodio a 200 ppm durante 2 minutos (FDA, 2014).
- iv. *Pelado y corte:* Esta etapa se realizó de la siguiente forma:
  - a. Pelado: Se separó las cáscaras de las pulpas.

- b. Corte: Las pulpas se cortaron y se extrajo las semillas. Las pulpas sin semillas se cortaron de forma delgada para su fácil secado y se pesaron.
- c. Se tomó una muestra para conocer los sólidos solubles totales (°Brix) del plátano verde (Ver Anexo A).
- v. *Tratamiento químico*: Las rebanadas se sumergieron en una solución antioxidante de ácido cítrico al 0.05 % P/V con agua destilada, durante 5 minutos. (Flores-Gorosquera, García-Suárez, Flores-Huicochea, Núñez-Santiago, González-Soto, y Bello-Pérez, 2004)

### 2.2.2 Proceso de extracción del almidón de plátano verde.

La extracción del almidón de plátano verde, se realizó por el método seco adoptando la metodología propuesta por Mazzeo M, y otros (2008), con algunas modificaciones que se realizó durante el proceso.

La metodología utilizada para la obtención del almidón de plátano verde a nivel de laboratorio se muestra en la Figura 2.3.



**Figura 2.3.** Proceso de extracción del almidón de plátano verde

A continuación se detalla la descripción de cada etapa del proceso de extracción del almidón de plátano verde.

### **Descripción de las etapas del proceso para la extracción del almidón de plátano verde.**

- i. *Secado*: Las rebanadas del plátano se colocaron en bandejas del deshidratador de tal manera que no quedaran unas piezas sobre otras para obtener un secado homogéneo, a una temperatura 45 °C por un tiempo de 5 horas.
- ii. *Molienda*: El fruto seco se sometió a trituración en un molino de disco para obtener harina.
- iii. *Tamizado*: Para llevar a cabo esta operación, se utilizó tamices de mallas 25 U.S., 45 U.S., 60 U.S., 100 U.S., 140 U.S., 200 U.S.  
Se hizo pasar la harina en los distintos tamices desde el 25 U.S., hasta el 200 U.S.
- iv. *Pesado del almidón*: Para obtener una mayor calidad del almidón se tomó en cuenta lo que pasa del tamiz malla 200 U.S., este se pesó.
- v. *Empacado y almacenamiento*: Esta etapa se realizó de la siguiente manera:
  - a. Empacado: Las muestras de almidón obtenidas se empacaron en bolsas de polietileno, se identificaron con el peso obtenido.
  - b. Almacenamiento: Las bolsas se almacenaron en un lugar seco y limpio.

### **2.2.3 Caracterización del almidón de plátano verde.**

Extraído el almidón del plátano verde se prosiguió a su caracterización mediante diferentes análisis fisicoquímicos, los cuales son pureza, determinación de pH, acidez titulable, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.

#### **I) Pureza del almidón**

Para la determinación de la pureza del almidón se siguió la metodología empleada por Tapia, y otros (2012), la cual define el porcentaje de pureza como se muestra en la Ecuación 1.

$$\% \text{ Pureza} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ proteína} + \% \text{ extracto etéreo} + \% \text{ cenizas}) \quad (1)$$

Para conocer los porcentajes de humedad, proteína, extracto etéreo y cenizas, se llevó a cabo el análisis proximal del almidón en el Laboratorio de Análisis Bromatológico Nutricional Humano de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador.

## **II) Determinación de pH, acidez titulable, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.**

Para la determinación de pH, acidez titulable, índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento se utilizó la metodología propuesta por Aristizábal y Sánchez (2007) (Ver Anexo B) con algunas modificaciones que se realizó durante el proceso.

### **A. Determinación de pH.**

El objetivo de esta prueba era determinar la acidez o alcalinidad del almidón, para ello se realizó la medición utilizando un pH-metro.

### **B. Determinación de acidez titulable.**

El objetivo de esta prueba era determinar la cantidad de ácido sulfúrico presente en el almidón, utilizando hidróxido de sodio como titulante y fenolftaleína como indicador.

### **C. Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad y poder de hinchamiento.**

El objetivo de esta prueba era determinar la capacidad de absorción progresiva e irreversible de agua que presentó el granulo del almidón a medida que se le aplicó un incremento de temperatura.

## **2.3 Diseño experimental para la formulación de las biopelículas.**

Para el diseño experimental de las formulaciones de las biopelículas, se estableció lo siguiente:

- I) Los componentes que constituye cada biopelícula:
  - a. Almidón de plátano verde, glicerina y sorbato de potasio
  - b. Almidón de plátano verde, glicerina y aceite esencial de orégano.
- II) Se realizó una prueba piloto, a partir de tres formulaciones que estuvieron compuesta por el almidón de plátano verde y glicerina, variando la concentración de cada uno de

ellos en cada solución. Esta prueba piloto se realizó con el fin de determinar la concentración de almidón - glicerina que presenta las mejores características como biopelícula y recubrimiento en fresas.

Como biopelícula se evaluó características como transparencia, textura y facilidad de desmoldar y como recubrimiento se evaluó: Capacidad de adhesión al fruto, apariencia (uniformidad, color y brillo del fruto), pérdida de peso. La formulación elegida es la que se utilizó con la adición de sorbato de potasio y aceite esencial de orégano en el desarrollo de la investigación.

- III) Formulación para concentración de antimicrobianos: Sorbato de potasio y aceite esencial de orégano.

### **2.3.1 Determinación de la concentración de almidón de plátano verde y glicerina en las biopelículas.**

Para establecer las diferentes concentraciones de almidón de plátano verde y glicerina de cada solución se realizó una investigación bibliográfica con respecto al rango de concentraciones utilizadas de plastificante y almidón en películas comestibles, la cual arroja la siguiente información:

- a. Preparación de películas empleando glicerol y almidón, en una relación de 2:5 (glicerol: almidón en base seca) (Torres, y otros 2011, citado en Oropeza González, Montes Hernández, y Padrón Pereira, 2016).
- b. Las concentraciones de plastificante (glicerol o glicerina) utilizadas en películas comestibles elaboradas a partir de almidón se encuentran entre los valores 5 y 50 g/L. (Versino, Lopez, Garcia, y Zaritzky, 2016)

A partir de la información anterior, se estableció que la concentración mínima de plastificante a utilizar es de 30 g/L y la concentración máxima de 50 g/L, variando entre ellos 10 g/L, realizando la conversión de las concentraciones estipuladas a % P/V y estableciendo que se prepararon 100 mL de solución para cada formulación, se tienen 3, 4 y 5 % P/V de plastificante. Con estos porcentajes y la relación de 2:5 (glicerina: almidón en base seca), se determinó la concentración de almidón de plátano verde.

La Tabla 2.1 muestra las tres formulaciones con relación a la concentración de almidón y glicerina para la elaboración de la biopelícula.

**Tabla 2.1.**

*Relación almidón-glicerina en las formulaciones piloto*

<b>Formulación piloto (FP)</b>	<b>Almidón (% P/V)</b>	<b>Glicerina (% P/V)</b>
FP0*	0	0
FP1	7.5	3
FP2	10	4
FP3	12.5	5

\*Muestra control (fresa sin recubrimiento)

### **2.3.2 Determinación de la concentración de antimicrobianos: Sorbato de potasio y aceite esencial de orégano.**

Para determinar la concentración de los dos antimicrobianos a utilizar en las biopelículas, también se investigó bibliográficamente los intervalos de las concentraciones que se utilizan comúnmente, dicha información se presentan a continuación:

- a. Para el sorbato de potasio, se encontraron valores para inhibir el crecimiento microbiano entre 0.05 y 0.10 % P/V en recubrimiento comestible. (Garcia, Sarantópoulos, Mendes Pereira Rodrigues, y Hubinger, 2010). Para esta investigación la concentración de sorbato de potasio que se utilizó fue de 0.1 % P/V, ya que el fin de ser utilizado es para comparar la efectividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano frente a este.
- b. Para el aceite esencial de orégano, como se mostro en el Capítulo I, la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) para hongos se encuentra entre 0.65 a 1.27 mg/mL, valores reportados por Arcilla-Lozano y otros (2004). Debido a que estos valores reportados se han obtenido de la experimentación solo utilizando aceite esencial de orégano, en esta investigación se planteó en utilizar este rango de concentración y ver como influye la actividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano en presencia de otros componentes como el almidón de plátano verde y glicerina, siendo utilizado en el recubrimiento de fresas.

La Tabla 2.2 presenta las concentraciones de los dos antimicrobianos que se utilizaron.

**Tabla 2.2.**

*Concentración de antimicrobianos utilizada en la elaboración de las biopelículas*

<b>Formulación (F)</b>	<b>Sorbato de potasio (%P/V)</b>	<b>Aceite esencial de orégano (%P/V)</b>
F0*	0	0
F1	0	0.065
F2	0	0.096
F3	0	0.127
F4	0.1	0

\*Muestra control (fresa sin recubrimiento)

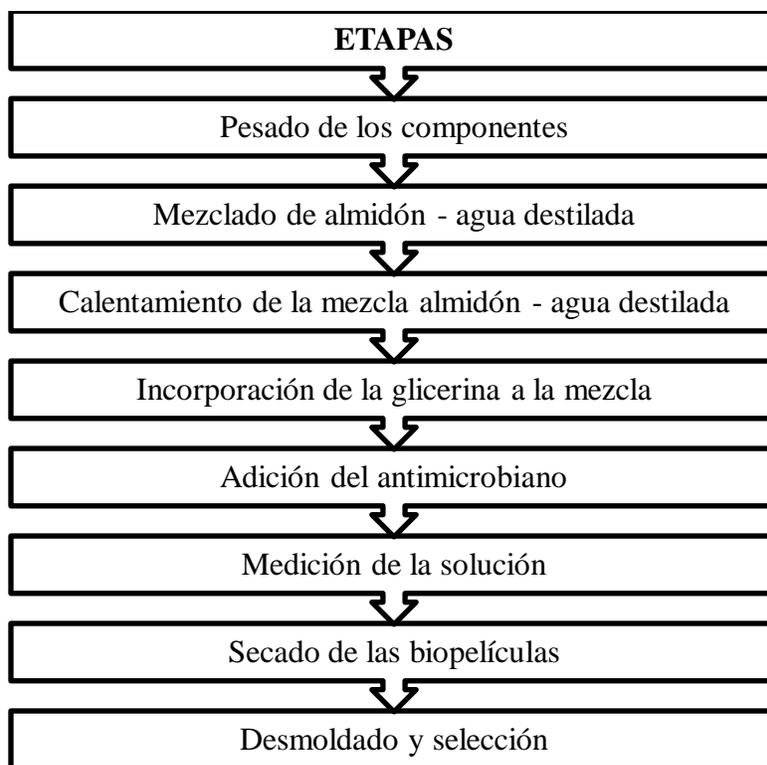
## **2.4 Elaboración y caracterización de las biopelículas.**

A continuación se presenta la metodología que se utilizó para elaborar las biopelículas y su respectiva caracterización.

### **2.4.1 Proceso de elaboración de las biopelículas.**

Ya determinadas el número de formulaciones y las concentraciones de cada compuesto de las biopelículas, se prosiguió a elaborarlas siguiendo la metodología propuesta por Saavedra H. y Algecira E. (2010) con algunas modificaciones realizadas durante el proceso.

La Figura 2.4 muestra la metodología que se utilizó de manera general para la elaboración de las biopelículas con la adición de los dos antimicrobianos.



**Figura 2.4.** Proceso de elaboración de las biopelículas

**I) Proceso de elaboración de las biopelículas con adición sorbato de potasio.**

- i. *Pesado de los componentes:* Se pesaron en la balanza analítica todos los componentes según la formulación: Almidón, glicerina, sorbato de potasio.
- ii. *Mezclado de almidón-agua destilada:* Se mezcló el almidón con agua destilada (50 mL de la cantidad necesaria para integrar 100 mL de solución), con agitación constante a temperatura ambiente, con el fin de humedecer los gránulos por un tiempo de 10 minutos.
- iii. *Calentamiento de la solución almidón-agua destilada:* La solución almidón-agua destilada se llevó a calentamiento hasta su gelatinización (se registraron las temperaturas de gelatinización del almidón), mientras se mantuvo en agitación constante.
- iv. *Incorporación de la glicerina a la mezcla:* En la fracción restante de agua destilada (50 mL), se adicionó la cantidad de glicerina que posteriormente se incorporó

gota a gota al gel del almidón ya formado. Estos componentes se dejaron en agitación constante durante 5 minutos.

- v. *Adición del antimicrobiano:* Completados los 5 minutos de agitación la solución formada se dejó en reposo hasta alcanzar una temperatura de 50°C para adicionar el sorbato de potasio. Ya que esa temperatura es soluble el sorbato de potasio (Rowe, Sheskey, y Quinn, 2009).

Finalmente se mantuvo el sistema en agitación constante por 5 minutos.

- vi. *Medición de la solución:* Se tomaron alícuotas de 3 mL de la solución, se dispersaron sobre moldes de 3.5 cm de diámetro.
- vii. *Secado de las biopelículas:* Los moldes se llevaron a secado, a una temperatura de 45°C durante 5 horas.
- viii. *Desmoldado y selección:* Una vez secas las biopelículas se colocaron en un desecador para equilibrar su temperatura y humedad relativa. Luego se seleccionaron aquellas que no presentaran textura grumosa, burbujas y se desmoldaron para realizar sus análisis respectivos.

## **II) Proceso de elaboración de las biopelículas con adición de aceite esencial de orégano.**

- i. *Pesado de los componentes:* Se pesaron todos los componentes según la formulación: Almidón, glicerina, aceite esencial de orégano.
- ii. *Mezclado de almidón-agua destilada:* El total de agua a utilizar se dividió en tres fracciones, en la primera fracción de agua destilada que fueron 50 mL, esta se mezcló con el almidón, con agitación constante a temperatura ambiente, con el fin de humedecer los gránulos por un tiempo de 10 minutos.
- iii. *Calentamiento de la solución almidón-agua destilada:* La solución almidón-agua destilada se llevó a calentamiento hasta su gelatinización (se registraron las temperaturas de gelatinización del almidón), mientras se mantuvo en agitación constante.

- iv. *Incorporación de glicerina a la mezcla:* En la segunda fracción de agua que equivale a 25 mL, se adicionó la cantidad de glicerina que posteriormente se incorporó gota a gota al gel del almidón ya formado. Estos componentes se dejaron en agitación constante durante 5 minutos.
- v. *Adición del antimicrobiano:* Completados los 5 minutos de agitación se adicionó la parte restante de agua (25 mL) en la que previamente se había incorporado el aceite esencial de orégano. Finalmente se dejó el sistema en agitación constante por 10 minutos.
- vi. *Medición de la solución:* Se tomaron alícuotas de 3 mL de la solución se dispersaron sobre los moldes de 3.5 cm de diámetro.
- vii. *Secado de las biopelículas:* Los moldes se llevaron a secado, a una temperatura de 45°C durante 5 horas.
- viii. *Desmoldado y selección:* Una vez secas las biopelículas se colocaron en un desecador para equilibrar su temperatura y humedad relativa. Luego se seleccionaron aquellas que no presentaran textura grumosa, burbujas y se desmoldaron para realizar sus análisis respectivos.

#### **2.4.2 Caracterización de las biopelículas.**

La caracterización de las biopelículas se llevó a cabo por los siguientes análisis: Permeabilidad al vapor de agua, solubilidad en agua, biodegradabilidad, estos análisis se realizaron a través del tiempo.

##### **D) Permeabilidad al vapor de agua.**

Para evaluar la permeabilidad al vapor de agua se realizó aplicando la técnica de desecante de la norma ASTM E 96 / E 96M-05, la cual consistió en registrar los cambios de peso del desecante debido a la transferencia de humedad como resultado del vapor de agua que pasa a través de la biopelícula.

El registro de los pesos se detuvo cuando el peso del tubo de ensayo excedió el 10% del peso inicial del desecante. La metodología empleada se presenta en el Anexo C.

## **II) Solubilidad en agua.**

El objetivo de esta prueba era determinar si las biopelículas elaboradas presentan una barrera protectora contra la transferencia de humedad a través del tiempo.

La solubilidad en agua de las biopelículas se determinó utilizando la metodología propuesta por Palma Rodríguez, y otros (2017), con algunas modificaciones que se realizaron durante el proceso. La metodología empleada se presenta en el Anexo C.

## **III) Biodegradabilidad.**

El estudio de biodegradabilidad se realizó para poder constatar su contribución a un menor impacto medioambiental que posean las biopelículas. Para realizar este análisis se empleó la metodología propuesta por Arrieta, Peltzer, Garrigos Selva, y Jimenez Migallon, (2011) con algunas modificaciones que se realizaron durante el proceso, dicha metodología se presenta en el Anexo C.

El tiempo de observación fue hasta que existió una desintegración física de las biopelículas.

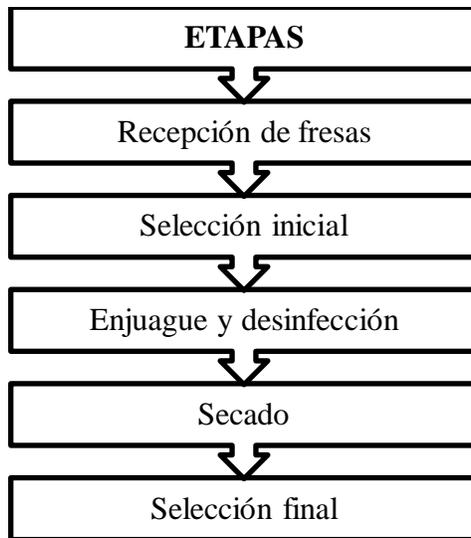
## **2.5 Acondicionamiento de materia prima: Fresas.**

A continuación se presenta las operaciones preliminares (selección inicial, limpieza y desinfección, secado y selección final) que fueron aplicadas en fresas.

### **2.5.1 Operaciones preliminares.**

Las fresas fueron adquiridas en el mercado, las cuales fueron trasladadas al Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, en donde se les aplicó las operaciones preliminares.

La Figura 2.5 presenta las operaciones preliminares aplicadas a las fresas.



**Figura 2.5.** Operaciones preliminares aplicadas a las fresas

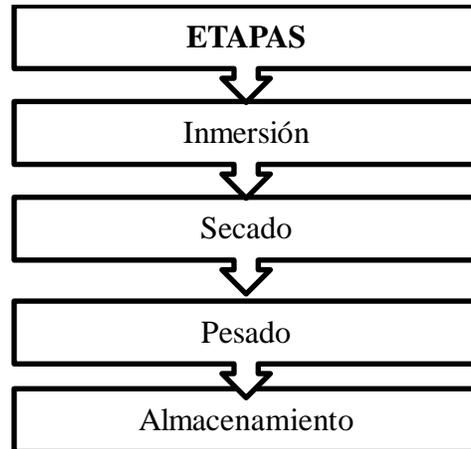
A continuación se detalla la descripción de cada etapa de las operaciones preliminares aplicadas a las fresas.

**Descripción de las etapas de las operaciones preliminares aplicadas a las fresas.**

- i. *Recepción de las fresas:* Las fresas fueron adquiridas en el mercado y se trasladaron al Laboratorio de Alimentos.
- ii. *Selección inicial:* Se realizó una selección de las fresas: Estar sanas, exentas de olores extraños, mohos, mordeduras de insectos y otros defectos, tener un buen color, estar intactas y no estar materialmente desintegradas.
- iii. *Enjuague y desinfección:* Esta etapa se realizó de la siguiente manera:
  - a. Enjuague: Los fresas se lavaron con agua potable dos veces o más.
  - b. Desinfección: Las fresas se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (60 ppm) con agua potable por un tiempo de 5 minutos (FDA, 2014).
- iv. *Secado:* Se dejaron escurrir las fresas en coladores para quitar el exceso de agua, luego se prosiguió a secarlas completamente con papel toalla.
- v. *Selección final:* Esta selección final consistió en elegir aquellas fresas que fueran lo más homogéneas entre ellas (tamaño, color, consistencia) para ser recubiertas con las diferentes formulaciones y las que se utilizaron como control (fresas sin recubrimiento).

## 2.6 Procedimiento para recubrir las fresas con las biopelículas.

La metodología empleada para el recubrimiento de las fresas con las formulaciones de las biopelículas se presenta en la Figura 2.6.



**Figura 2.6.** Procedimiento para recubrir fresas con las formulaciones de las biopelículas

A continuación se detalla la descripción de cada etapa del proceso para recubrir las fresas con las formulaciones de las biopelículas.

### **Descripción del proceso para recubrir las fresas con las formulaciones de las biopelículas.**

- i. *Inmersión:* Las fresas se sumergieron por medio de una pinza esterilizada en la solución de la formulación a aplicar, por un tiempo de 1 minuto, luego se retiraron las fresas de la solución y se dejaron escurrir siempre con ayuda de la pinza para retirar el exceso de la solución.
- ii. *Secado:* Las fresas recubiertas se colocaron en las bandejas del deshidratador y se introdujeron a una temperatura de 45°C por un tiempo de 35 minutos.
- iii. *Pesado:* Finalizado el secado se dejaron enfriar a temperatura ambiente, luego se registraron los pesos por medio de una balanza semi-analítica las fresas de cada formulación y las fresas control (fresas sin recubrimiento), estos pesos fueron registrados como los pesos iniciales.
- iv. *Almacenamiento:* Las fresas recubiertas se colocaron en empaques de plástico con tapa debidamente rotuladas con la formulación que se ha aplicado, se llevan a refrigeración a

una temperatura aproximadamente de 3°C, de igual forma se prosiguió al almacenamiento de las fresas control.

## **2.7 Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y con recubrimiento.**

A continuación se detalla el tiempo de estudio y los diferentes análisis que fueron aplicados a las fresas con el recubrimiento y fresas sin recubrimiento.

### **I) Tiempo de estudio.**

El tiempo de estudio fue de 18 días, este fue establecido en base a que uno de los objetivos específicos de dicha investigación es comparar la efectividad antimicrobiana del aceite esencial de orégano con respecto al sorbato de potasio, es por ello que se utilizó la información que se presentó en el Capítulo I sobre la Formulación y caracterización de una Biopelícula comestible elaborada a partir de Almidón de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) y Yuca (*Manihot esculenta*), Arévalo Alvarenga y otros, (2017) reportaron en dicho trabajo que la vida útil de las fresas fue de 17 días a temperatura de refrigeración utilizando sorbato de potasio al 0.1 %P/V, por lo que se estableció que el tiempo de estudio en la presente investigación es de 17 días más uno, resultando 18 días.

### **II) Parámetros de calidad.**

Durante los 18 días de estudio, se realizó los siguientes análisis fisicoquímicos en fresas con recubrimiento y sin recubrimiento.

#### **A. Sólidos solubles totales (°Brix).**

##### **a) Objetivo del análisis.**

El objetivo de este análisis era determinar los sólidos solubles totales (°Brix) a las fresas recubiertas con las formulaciones de las biopelículas y fresas sin recubrir, con el fin de determinar si la aplicación del recubrimiento tendría un efecto positivo que sería una baja velocidad de respiración del fruto, esto indicaría un bajo porcentaje de utilización de azúcares, ya que estos últimos en presencia de oxígeno se convierten en CO<sub>2</sub> y agua aumentando el deterioro en el fruto.

b) Metodología a seguir.

Para la determinación de sólidos solubles totales (°Brix) se utilizó la metodología que presenta la Norma Mexicana NMX-FF-015-1982 con algunas modificaciones que se realizaron durante el proceso. Dicha metodología se presenta en el Anexo D.

c) Tiempo de observación.

El análisis se realizó los días 3, 7, 10, 14 y 18 para las fresas con recubrimiento y fresas control.

## **B. Pérdida de peso (humedad).**

a) Objetivo del análisis.

El objetivo de este análisis era determinar si las formulaciones de las biopelículas aplicadas como recubrimiento de las fresas reducen la pérdida de peso (humedad) con respecto a las fresas sin recubrir.

b) Metodología a seguir.

La metodología que se utilizó es la propuesta por Saavedra H y Algecira E, (2010) con algunas modificaciones que se realizaron durante el proceso. La metodología se presenta en el Anexo D.

c) Tiempo de observación.

El registro de pesos se realizó diariamente para las fresas con recubrimiento y fresas control.

## **C. Determinación de pH.**

a) Objetivo del análisis.

La determinación del pH se llevó a cabo en las fresas con recubrimiento y sin recubrimiento, para poder comparar entre ellas, si la aplicación de las formulaciones de la biopelículas retardaría el aumento de pH, por consiguiente retardaría el período de deterioro de las fresas con recubrimiento con respecto a las fresas sin recubrimiento.

b) Metodología a seguir.

La metodología que se utilizó es la propuesta por Saavedra H y Algecira E, (2010) con algunas modificaciones que se realizaron durante el proceso. La metodología se presenta en el Anexo D.

c) Tiempo de observación.

El análisis se realizó los días 3, 7, 10, 14 y 18 para las fresas con recubrimiento y fresas control.

**D. Determinación de acidez titulable.**

a) Objetivo del análisis.

El objetivo de este análisis era determinar si el recubrimiento aplicado a las fresas, retarda la disminución de los ácidos debido a la respiración del fruto o retardan la conversión de ácidos a azúcares, influyendo en el sabor de las fresas con recubrimiento con respecto a las fresas sin recubrimiento.

b) Metodología a seguir.

La determinación de acidez titulable se realizó siguiendo la metodología presentada en la Norma Técnica Colombiana NTC 4623 con algunas modificaciones que se realizaron en el proceso, dicha metodología se presenta en el Anexo D.

c) Tiempo de observación.

El análisis se realizó los días 3, 7, 10, 14 y 18 para las fresas con recubrimiento y fresas control.

**2.8 Vida de anaquel de las fresas.**

La vida de anaquel de las fresas se determinó a través del análisis microbiológico y análisis sensorial. A continuación se detalla la metodología para ambos análisis.

### **2.8.1 Análisis microbiológico.**

Para el análisis microbiológico que se llevó a cabo en la presente investigación se especifican los siguientes puntos:

#### **A. Análisis microbiológico a realizar.**

Recuento total hongos y levaduras (La metodología se presenta en el Anexo E).

#### **B. Lugar donde se realizará el análisis microbiológico.**

Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

#### **C. Tiempo de análisis.**

Inicialmente se había planteado realizar el análisis microbiológico para las fresas con recubrimiento con las diferentes formulaciones los días 3, 7, 10, 14 y 18, sin embargo como se muestra en el capítulo III, las fresas recubiertas con la formulación F1 se realizó hasta el día 7, la explicación sobre esto se explica en el capítulo IV.. Por lo tanto los días en que se realizaron los análisis microbiológicos para las fresas con recubrimiento son:

- i. Fresas con recubrimiento con formulación F1: 3,7 días.
- ii. Fresas con recubrimiento con las formulaciones F2, F3 y F4: 3, 7, 10, 14 y 18 días.

Con respecto a las fresas control, también se le había asignado los mismos días de análisis planteados para las fresas con recubrimiento, es decir, 3, 7, 10, 14 y 18, sin embargo este análisis iba a llegar a su finalización cuando las fresas presentaran deterioro microbiológico visible, debido a que la vida de anaquel de fresas es de 5 a 7 días como se mencionó en el capítulo I, por ende se esperaba que las fresas sin recubrimiento duraran menos que los 18 días de estudio (véase capítulo III y capítulo IV). Por consiguiente, el análisis microbiológico para las fresas control se realizó los días 3 y 7.

- i. Fresas control (sin recubrimiento): 3 y 7 días.

#### **D. Muestras a analizar.**

Las muestras que se les realizó el análisis microbiológico son las siguientes:

- a. Fresas control F0 (fresas sin recubrimiento).
- b. Fresas con recubrimiento con las diferentes formulaciones F1, F2 y F3 que está compuesta por: almidón de plátano verde, glicerina, y aceite esencial de orégano (concentraciones diferentes en cada formulación).
- c. Fresas con recubrimiento con la formulación F4 que está compuesta por: Almidón de plátano verde, glicerina y sorbato de potasio.

#### **2.8.2 Análisis sensorial.**

El análisis sensorial permite determinar la aceptación o rechazo de un producto que se decide introducir al mercado o cambiar algún aspecto del mismo, esta aceptación o rechazo está relacionada con la percepción subjetiva del consumidor, es decir con aspectos ligados a la preferencia de color, sabor, textura, consistencia, presentación, etc. (Espinosa Manfugás, 2007).

Debido a que existen diferentes tipos de pruebas sensoriales, es necesario determinar cuál es el objetivo de realizar el análisis sensorial en esta investigación, ya que dependiendo de este objetivo así será el tipo de análisis a realizar.

En la presente investigación se efectuaron dos análisis sensoriales:

- I. El primero que tiene por objetivo determinar el grado de aceptabilidad de las fresas recubiertas con las biopelículas elaboradas a base de almidón de plátano verde, glicerina y aceite esencial de orégano y establecer la formulación preferida por los panelistas.
- II. Y el segundo, en el que una vez establecida la formulación preferida de aceite esencial de orégano se requiere determinar cuál recubrimiento prefieren los panelistas: aquel que contiene aceite esencial de orégano o el que incorpora sorbato de potasio al mismo tiempo que se establece el grado de aceptabilidad de los mismos.

Definidos los objetivos y consultando lo establecido por Liria Domínguez, (2007) con respecto a las diferentes pruebas sensoriales, se estableció que el tipo de prueba sensorial aplicable es la

afectiva, específicamente realizando una prueba de preferencia (preferencia pareada) y prueba de aceptabilidad.

**Prueba de preferencia (preferencia pareada):** La cual consiste en que el panelista debe elegir una de las opciones presentadas:

- a. Para el primer análisis sensorial: fresas recubiertas con las diferentes formulaciones de aceite esencial de orégano.
- b. Para el segundo análisis sensorial: fresa con el recubrimiento que contiene sorbato de potasio o fresa con el recubrimiento que contiene aceite esencial de orégano.

**Prueba de aceptabilidad:** Esta consiste en que el panelista utilizando una escala numérica, evalúa las características de: textura, color, sabor y olor; de la fresa con recubrimiento que contiene sorbato de potasio o fresa con recubrimiento que contiene aceite esencial de orégano.

A continuación se detallan puntos importantes en la realización del análisis sensorial

### **I. Diseño del instrumento de recolección de la información.**

El instrumento a utilizar para recolectar la información sobre el análisis sensorial se presenta en el Anexo E, en el cual se detallan los atributos evaluados para cada muestra: textura, color, sabor y olor.

### **II. Tiempos de muestreo**

Para la primer prueba sensorial solo es necesario un tiempo de muestreo en el cual se determina la formulación de aceite esencial preferida.

En la segunda prueba sensorial de acuerdo con Hough y Fiszman, (2005) siempre se debe seleccionar un mínimo de seis tiempos de muestreo; ya que si se ensayan menos tiempos, la confianza en la determinación de la vida útil disminuye. Se evalúan los días 3,7, 10,14, 18 para ambas muestras.

### **III. Selección del criterio de falla.**

Hough y Fiszman, (2005) indica que se puede establecer el punto final sensorial como una disminución específica de la aceptabilidad, para esta investigación en el segundo análisis sensorial

se emplea como criterio de falla el punto en el que el 10% de la población en un tiempo de muestreo otorgue una puntuación menor o igual a 2 en una escala de 7 puntos (1="Me disgusta extremadamente", 7="Me gusta extremadamente) al atributo "sabor" en la muestra con aceite esencial de orégano.

#### **IV. Tamaño de la muestra.**

- i. Para el primer análisis sensorial se evalúan cuatro criterios de aceptabilidad: olor, color, textura y sabor en 25 panelistas para un solo tiempo de muestreo.

Cálculo de la cantidad de muestra: 2 fresas por panelista para 1 tiempo de muestreo.

$$2 \text{ fresas} * 25 \text{ panelistas} = \mathbf{50 \text{ fresas en total.}}$$

- ii. El segundo análisis sensorial se lleva a cabo evaluando 4 criterios de aceptabilidad en diez panelistas, se realizan 6 tiempos de muestreo por lo que se requiere un total de 60 evaluadores.

Cálculo de la cantidad de muestra: 2 fresas por panelista para 6 tiempos de muestreo.

$$2 \text{ fresas} * 10 \text{ panelistas} = 20 \text{ fresas}; 20 \text{ fresas} * 6 \text{ tiempos de muestreo} = \mathbf{120 \text{ fresas en total.}}$$

#### **V. Selección del diseño experimental**

Hough y Fiszman, (2005) establece que existen 2 tipos de diseño experimental aplicables a los estudios de vida útil: el básico y el escalonado. Se efectuó el diseño básico el cual consiste en almacenar un lote de muestra en las condiciones seleccionadas y posteriormente realizar los muestreos en los tiempos prefijados.

#### **VI. Identificación de las fresas con recubrimiento**

La identificación de las muestras para el primer análisis sensorial se presenta en la Tabla 2.3 y para el segundo análisis sensorial se presenta en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.3.***Identificación de muestras durante el primer análisis sensorial*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tratamiento</b>
251	Fresa recubierta con biopelícula a base de almidón de plátano verde, glicerina y aceite esencial de orégano con la formulación F2.
198	Fresa recubierta con biopelícula que contiene almidón de plátano verde, glicerina y aceite esencial de orégano con la formulación F3.

**Tabla 2.4.***Identificación de muestras durante el segundo análisis sensorial*

<b>Código de muestra</b>	<b>Tratamiento</b>
989	Fresa recubierta con biopelícula a base de almidón de plátano verde, glicerina y sorbato de potasio.
512	Fresa recubierta con biopelícula que contiene almidón de plátano verde, glicerina y aceite esencial de orégano F2 (ganadora en la prueba de preferencia del análisis sensorial 1)

En el capítulo IV se explica por qué se realizaron dos análisis sensoriales.

### **VII. Selección de panelistas**

Los panelistas fueron reclutados por ser consumidores de fresas, dentro de las instalaciones de la Universidad de El Salvador.

### **VIII. Lugar de realización de la prueba**

El análisis sensorial fue realizado en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, simulando un cubículo para cada panelista, cada cubículo contaba con el instrumento de recolección de información, un lapicero, las muestras identificadas, servilleta y un vaso con agua para limpiar el paladar luego de cada prueba.

# **CAPÍTULO III: DESARROLLO METODOLÓGICO**

---

### 3. DESARROLLO METODOLÓGICO

En este capítulo se presentan los datos obtenidos al realizar los diferentes procesos de obtención de materias primas utilizadas para la elaboración de películas, así como su respectiva caracterización, además se presenta la caracterización de las biopelículas y recubrimientos.

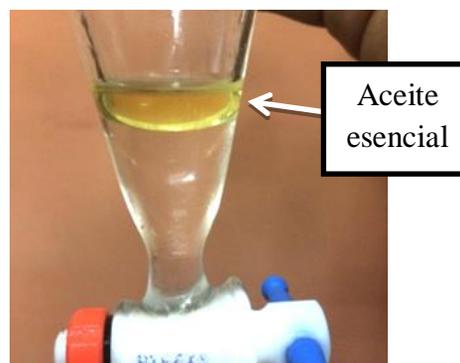
#### 3.1 Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante el proceso de extracción del aceite esencial de orégano y los resultados de los análisis utilizados para su caracterización.

##### 3.1.1 Extracción.

Al realizar el proceso de extracción del aceite esencial utilizando el método de hidrodestilación (véase Anexo G), se obtuvo el producto mostrado en la Figura 3.1, el aceite obtenido presenta color amarillento y olor característico al orégano.

En la Tabla 3.1 se muestran los datos obtenidos durante el proceso de extracción del aceite.



*Figura 3.1.* Aceite esencial de orégano

**Tabla 3.1.**

*Rendimiento obtenido en la extracción del aceite esencial de orégano*

<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>
Total de orégano utilizado	1000 g
Total de agua destilada utilizada	15,000 mL
Orégano utilizado por destilación	50 g
Agua destilada utilizada por destilación	750 mL
Aceite esencial obtenido	11.3242 g
Rendimiento	1.1324 %

### 3.1.2 Caracterización.

Los datos obtenidos para la caracterización del aceite esencial se muestran a continuación:

#### I. Densidad.

En la Tabla 3.2 se presentan los datos de densidad y densidad relativa del aceite esencial de orégano a 20°C (véase Anexo G para ejemplo de cálculo).

**Tabla 3.2.**

*Densidad del aceite esencial de orégano a 20°C*

Muestra	Densidad relativa	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	0.9074	907.40
2	0.9148	914.8
3	0.9171	917.1
Promedio	0.9131	913.10

#### II. Índice de refracción.

En la Tabla 3.3 se presentan los datos del índice de refracción del aceite esencial de orégano a 20°C (véase Anexo G para ejemplo de cálculo).

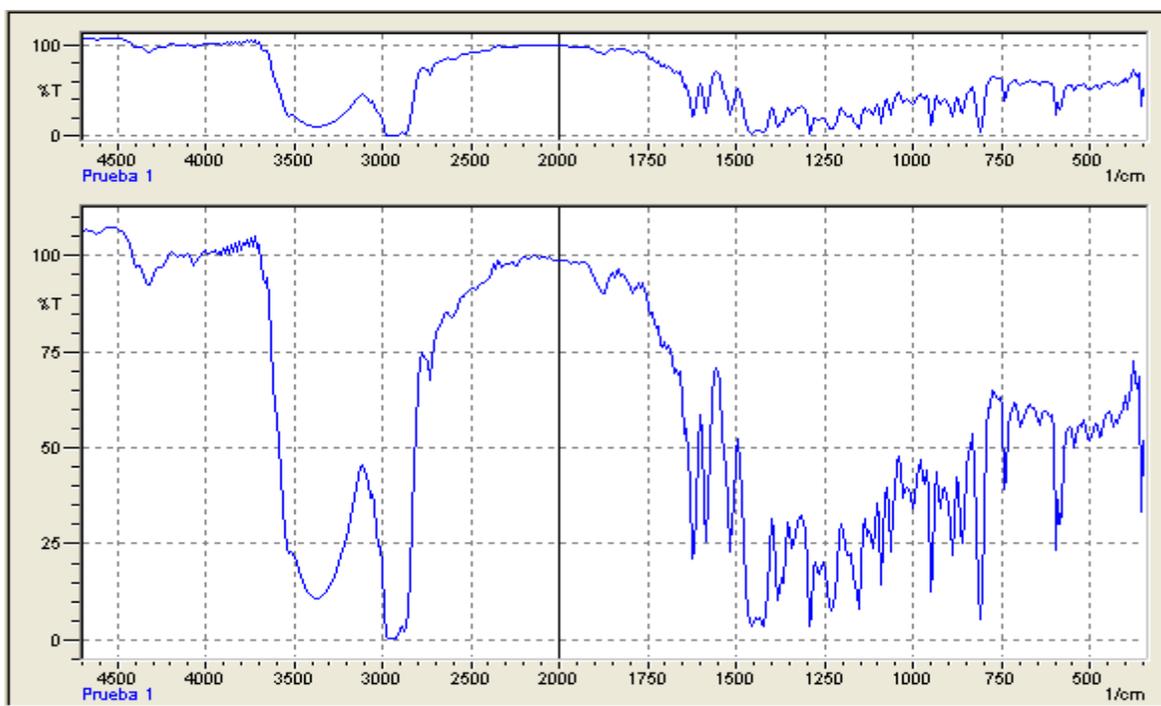
**Tabla 3.3.**

*Índice de refracción para el aceite esencial de orégano a 20°C*

Muestra	Índice de refracción	Índice de refracción corregido
1	1.495	
2	1.495	
3	1.499	1.4991
Promedio	1.4963	

#### III. Infrarrojo.

Al realizar el análisis de Espectrofotometría Infrarroja a la muestra de aceite esencial de orégano se obtuvo la gráfica de % transmitancia (%T) versus 1/cm que se presenta en la Figura 3.2.



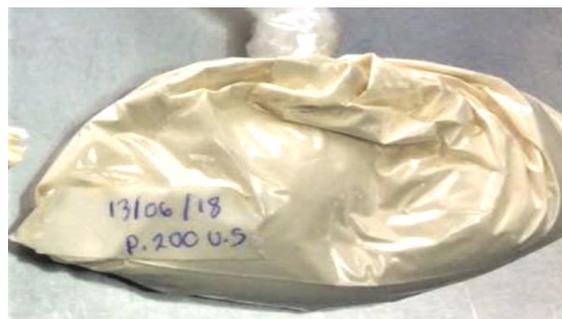
**Figura 3.2.** Gráfica %T versus 1/cm del aceite esencial de orégano

### 3.2 Extracción y caracterización de almidón de plátano verde.

A continuación, se presenta los datos obtenidos durante la extracción del almidón de plátano verde y la caracterización realizada a éste.

#### 3.2.1 Extracción.

Al realizar el proceso de extracción del almidón de plátano verde por el método seco (véase Anexo H), se obtiene el producto mostrado en la Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Almidón de plátano verde

En la Tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos en el proceso de extracción del almidón de plátano verde.

**Tabla 3.4.***Rendimiento obtenido en la extracción del almidón de plátano verde*

<b>Parámetro</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Sólidos Solubles Totales (°BRIX)</b>
Plátano verde entero	24,634.94	
Pulpa	12,115.79	1
Cáscara + semillas + punta + tronco	12,522.15	
Almidón seco	541.313	
Rendimiento del almidón con respecto a la pulpa a secar (%)	4.4678	

### **3.2.2 Caracterización.**

Los datos obtenidos para la caracterización del almidón de plátano verde realizando diferentes análisis se presentan a continuación.

#### **I. Pureza.**

Para la determinación de la pureza (véase Anexo H para ejemplo de cálculo) se utilizaron los datos obtenidos del análisis bromatológico realizado en el Laboratorio de Análisis Bromatológico Nutricional Humano de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador.

La Tabla 3.5 muestra el porcentaje para cada componente y la pureza del almidón de plátano verde.

**Tabla 3.5.***Composición proximal y pureza del almidón de plátano verde*

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	7.15
Proteína	3.9
Ceniza	6.54
Extracto etéreo	3.23
Almidón puro	79.18

## II. Determinación de pH.

La Tabla 3.6 presenta los valores de pH obtenidos al utilizar el potenciómetro y utilizando una muestra de almidón de plátano verde.

**Tabla 3.6.**

*Valores de pH del almidón de plátano verde*

Muestra	pH
1	5.9
2	5.9
3	5.9
Promedio	5.9

## III. Determinación de acidez titulable.

La Tabla 3.7 presenta los valores de acidez titulable obtenidos (véase Anexo H para ejemplo de cálculo).

**Tabla 3.7.**

*Porcentaje de Acidez titulable en el almidón de plátano verde*

Muestra	Acidez titulable %
1	0.0490
2	0.0466
3	0.0466
Promedio	0.0474

## IV. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.

En la Tabla 3.8 se presentan los valores obtenidos al realizar mediciones del índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento para el almidón (véase Anexo H para ejemplo de cálculo).

**Tabla 3.8.**

*Índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento para el almidón de plátano verde*

<b>Muestra</b>	<b>Índice de absorción de agua (IAA) (g gel/g muestra)</b>	<b>Índice de solubilidad (ISA %)</b>	<b>Poder de hinchamiento (PH)</b>
1	1.8714	0.2530	1.8762
2	1.9033	0.7229	1.9171
3	1.8961	1.3373	1.9218
Promedio	1.8903	0.7711	1.9050

### **3.3 Formulación de las biopelículas de almidón de plátano verde.**

Como se indicó en el capítulo II, se realizó una prueba piloto con tres formulaciones (véase Tabla 2.1), para determinar la concentración de almidón – glicerina que presente las mejores características como biopelícula y recubrimiento para ser utilizado en las fresas.

Como biopelícula se evaluaron características como la transparencia, textura, facilidad de desmoldar.

Como recubrimiento, se evaluaron las siguientes características capacidad de adhesión al fruto, apariencia (uniformidad, color y brillo del fruto), pérdida de peso.

Al elaborar las biopelículas utilizando las concentraciones mostradas en la Tabla 2.1, se obtuvieron biopelículas tales como las mostradas en la Figura 3.4, las biopelículas presentan un color amarillo, textura grumosa y fisuras en algunas partes.



**Figura 3.4.** Biopelículas secas con relación 2:5 (glicerina: almidón en base seca)

Al evaluar visualmente las biopelículas ya secas, todas las formulaciones presentaron características similares (fisuras, textura, color), no idóneas para ser catalogadas como biopelículas.

En respuesta a estos resultados, se decidió elaborar nuevamente las biopelículas, pero cambiando la concentración del almidón, trabajando una relación de 2:2.5 (glicerina: almidón en base seca).

En la Tabla 3.9 se muestran las formulaciones con las concentraciones de almidón ya modificadas y con las que se desarrollaron toda la experimentación.

**Tabla 3.9.**

*Concentraciones de almidón y glicerina a utilizar en la elaboración de las biopelículas.*

<b>Formulación piloto (FP)</b>	<b>Almidón (%P/V)</b>	<b>Glicerina (%P/V)</b>
FP0*	0	0
FP1	3.75	3
FP2	5	4
FP3	6.25	5

\*: Muestra control (fresa sin recubrimiento)

En la Figura 3.5 se presentan las biopelículas elaboradas utilizando la formulación FP1, establecida en la Tabla 3.9.



**Figura 3.5.** Biopelículas secas con relación 2:2.5 (glicerina: almidón en base seca)

Como se observa en la Figura 3.5, las biopelículas elaboradas con la relación de 2:2.5 (glicerina: almidón en base seca), presentan visualmente un color claro, textura lisa y sin fisuras con respecto a las biopelículas elaboradas con relación de 2:5 (glicerina: almidón en base seca), por lo que se decidió utilizar dichas formulaciones para la realización de la prueba piloto.

### 3.3.1 Resultados de la prueba piloto para elaboración de biopelículas.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos como biopelícula y recubrimiento

#### A. Biopelícula.

Las características que se evaluaron a las biopelículas elaboradas son:

- i. Transparencia: Está relacionada con el color que presenta las biopelículas.
- ii. Textura: Si las biopelículas presentan burbujas, fisuras.
- iii. Facilidad de desmoldar del recipiente en donde se elaboraron, manteniéndose las biopelículas completas.

En la Tabla 3.10 se presentan los resultados de la caracterización de las biopelículas.

**Tabla 3.10.**

*Caracterización de las biopelículas en la prueba piloto*

Característica	Resultado
Transparencia	El color que presentaron las biopelículas fue un amarillo pálido característico del almidón, sin embargo, al aumentar las concentraciones (% P/V) de almidón y glicerina para cada formulación, el color se tornaba más intenso.
Textura	La biopelícula que no presentó burbujas fue la elaborada con la formulación FP1, es importante mencionar que la formulación FP2 presentó burbujas más visibles que la formulación FP3.
Facilidad para desmoldar	Todas las biopelículas elaboradas con las diferentes formulaciones fueron fáciles de desmoldar del recipiente que las contenía, sin afectar su forma.

En conclusión podemos afirmar que la formulación piloto FP1 es la que se posee las mejores características para ser utilizado en la elaboración de biopelículas.

#### B. Recubrimiento.

Las fresas a recubrir fueron seleccionadas de tal manera que fueran lo más homogéneas posibles entre ellas, cada formulación fue realizada por triplicado. Las fresas con y sin recubrimiento fue-

ron almacenadas a temperatura de refrigeración de 3°C, se realizó un proceso de observación y medición de características durante 7 días (contados a partir del día posterior a la aplicación del recubrimiento), las características evaluadas fueron las siguientes:

- i. Capacidad de adhesión al fruto: Con esta característica se verificó si durante el tiempo de observación, el recubrimiento se desprendía o no del fruto.
- ii. Uniformidad del recubrimiento en el fruto: Se evaluó si el recubrimiento no es perceptible visualmente por el ojo humano.
- iii. Color del fruto: Si el recubrimiento retardaría la decoloración de las fresas.
- iv. Brillo del fruto: Si el recubrimiento retardaría la pérdida de brillo.
- v. Pérdida de peso: Permite evaluar si el recubrimiento reduciría la pérdida de peso con respecto a las fresas sin recubrir.

Los resultados de la caracterización como recubrimiento en la prueba piloto se presentan en el Anexo I. Se asignó un valor para cada característica, éstos se presentan en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11.**

*Evaluación de las características del recubrimiento aplicado en fresas durante la prueba piloto*

<b>Característica</b>	<b>Evaluación*</b>	<b>Valor</b>	<b>Significado</b>
Capacidad de adhesión	P	1	No desprendimiento del recubrimiento
al fruto	N	0.5	Desprendimiento del recubrimiento
Uniformidad del	P	1	Recubrimiento no visible
recubrimiento en el fruto	N	0.5	Recubrimiento visible
Color del fruto	P	0.5	Decoloración ausente
	N	0.5	Decoloración presente
Brillo del fruto	P	1	Brillo presente
	N	0.5	Brillo ausente

La Tabla 3.12 muestra los puntajes promedio de las 4 características evaluadas en las fresas recubiertas, estos son correspondientes a cada formulación durante los 7 días de estudio.

**Tabla 3.12.***Puntajes obtenidos en la evaluación del recubrimiento durante la prueba piloto*

<b>Día de observación</b>	<b>FP1</b>	<b>FP2</b>	<b>FP3</b>
1	4	3.8333	3.3333
2	3.6667	3.5	3.1667
3	3.6667	3	3
6	3.6667	3.1667	2.8333
7	3.5	1.0556	2.5
Promedio	3.7000	3.0111	2.9667

**Conclusión:** Como se observa en la Tabla 3.12, la formulación que presentó mayor puntaje en relación a las características evaluadas durante los 7 días de estudio es la formulación piloto 1.

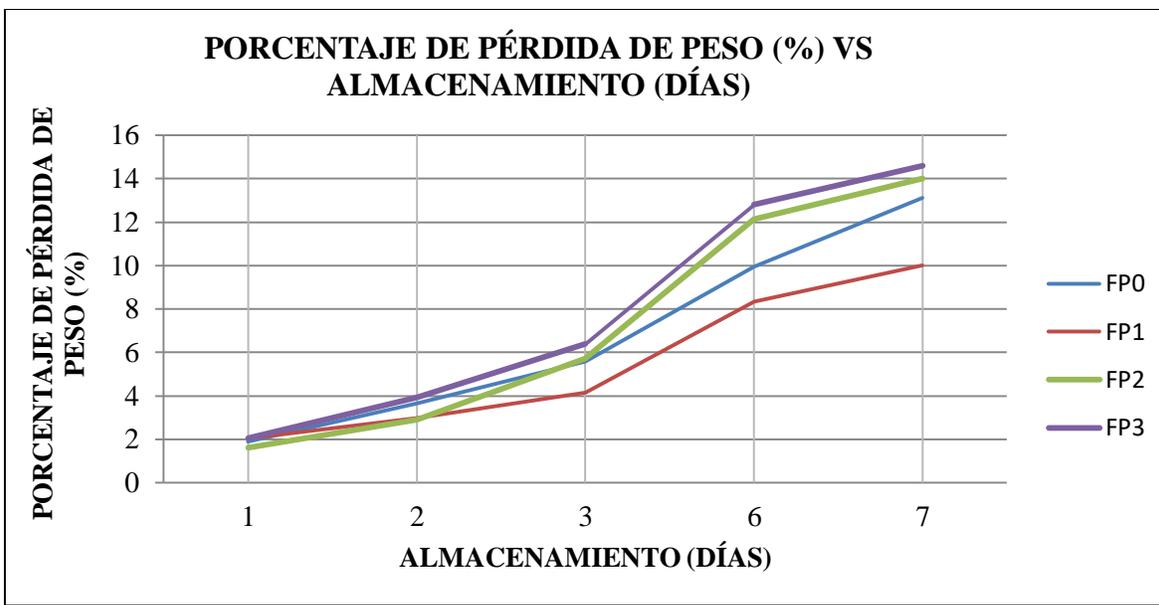
En relación a la pérdida de peso de las fresas con y sin recubrimiento, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13.***Porcentaje de pérdida de peso para fresas con recubrimiento y sin recubrimiento en la prueba piloto*

<b>Formulación</b>	<b>Porcentaje de pérdida de peso/ días de observación</b>				
	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>
FP0*	1.9074	3.6414	5.5728	9.9587	13.1049
FP1	2.0305	2.9724	4.1512	8.3533	10.0241
FP2	1.6043	2.8967	5.7164	12.1450	14.0011
FP3	2.0446	3.9202	6.3818	12.8011	14.5938

\*: Muestra control (fresa sin recubrimiento)

A partir de estos datos se generó la gráfica que se presenta en la Figura 3.6.



**Figura 3.6.** Porcentaje de pérdida de peso (%) vs almacenamiento (días) para fresas en prueba piloto

**Conclusión:** La gráfica anterior presenta los porcentajes de pérdida de peso de las fresas recubiertas con las diferentes formulaciones y las fresas sin recubrir durante los 7 días de estudio, las fresas que presentaron un menor porcentaje en la pérdida peso con respecto a las fresas sin recubrir es la formulación piloto 1.

**Conclusión para prueba piloto:** Como se observó en la realización de la prueba piloto, la formulación que arrojó mejores resultados para ser utilizada en la elaboración de biopelículas y como recubrimiento en fresas es la formulación piloto 1; es decir, la formulación que está compuesta por 3.75 %P/V de almidón y 3 % P/V de glicerina. Por lo tanto, esta formulación es la que se utilizó en los diferentes análisis que se llevaron a cabo en la caracterización de biopelícula y como recubrimiento en fresas.

### 3.4 Caracterización de las biopelículas.

A continuación se detallan los datos obtenidos en los diferentes análisis realizados para la caracterización de las biopelículas. En el Anexo J se presentan los diferentes datos de cada análisis y un ejemplo de cálculo.

### 3.4.1 Permeabilidad al vapor de agua.

La Tabla 3.14 presenta los valores obtenidos de permeabilidad al vapor de agua para cada formulación.

**Tabla 3.14.**

*Permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las formulaciones F1, F2, F3 y F4*

Formulación (F)	Pendiente (g/h)	Área expues- ta A (m <sup>2</sup> )	1/A (1/m <sup>2</sup> )	WVT (g/h.m <sup>2</sup> )	Permeanza p (g/h.m <sup>2</sup> .Pa)	Espesor película (mm)	WVP (g/h.m.Pa)	WVP pro- medio (g/h.m.Pa)
F1-1	0.0009	9.50334E-05	10522.61626	9.470354633	0.004557613	0.17	7.74794E-07	
F1-2	0.0011	9.50334E-05	10522.61626	11.57487789	0.005570416	0.17	9.46971E-07	7.74794E-07
F1-3	0.0007	9.50334E-05	10522.61626	7.365831381	0.00354481	0.17	6.02618E-07	
F2-1	0.0013	9.50334E-05	10522.61626	13.67940114	0.006583218	0.18	1.18498E-06	
F2-2	0.0011	9.50334E-05	10522.61626	11.57487789	0.005570416	0.18	1.00267E-06	1.03306E-06
F2-3	0.001	9.50334E-05	10522.61626	10.52261626	0.005064014	0.18	9.11523E-07	
F3-1	0.0012	9.50334E-05	10522.61626	12.62713951	0.006076817	0.18	1.09383E-06	
F3-2	0.0011	9.50334E-05	10522.61626	11.57487789	0.005570416	0.18	1.00267E-06	9.72291E-07
F3-3	0.0009	9.50334E-05	10522.61626	9.470354633	0.004557613	0.18	8.2037E-07	
F4-1	0.0008	9.50334E-05	10522.61626	8.418093007	0.004051211	0.17	6.88706E-07	
F4-2	0.0008	9.50334E-05	10522.61626	8.418093007	0.004051211	0.17	6.88706E-07	6.88706E-07
F4-3	0.0008	9.50334E-05	10522.61626	8.418093007	0.004051211	0.17	6.88706E-07	

### 3.4.2 Solubilidad en agua.

La Tabla 3.15 muestra el porcentaje de solubilidad en agua para cada formulación en estudio.

**Tabla 3.15.**

*Porcentaje de solubilidad en agua de las formulaciones F1, F2, F3 y F4*

<b>Formulación (F)</b>	<b>Peso inicial biopelícula (g)</b>	<b>Peso inicial papel filtro (g)</b>	<b>(Peso biopelícula final + peso papel filtro final) (g)</b>	<b>Peso final biopelícula (g)</b>	<b>Solubilidad (%)</b>	<b>Promedio de solubilidad (%)</b>
F1-1	0.1992	1.0513	1.1402	0.0889	55.3715	
F1-2	0.1944	1.0269	1.1157	0.0888	54.3210	54.8949
F1-3	0.1933	1.1057	1.1927	0.087	54.9922	
F2-1	0.1824	1.0509	1.1326	0.0817	55.2083	
F2-2	0.1794	1.0466	1.1297	0.0831	53.6789	50.2706
F2-3	0.1746	1.0116	1.1130	0.1014	41.9244	
F3-1	0.1744	1.1010	1.1883	0.0873	49.9427	
F3-2	0.1753	0.9852	1.0829	0.0977	44.2670	48.2019
F3-3	0.1768	1.0430	1.1307	0.0877	50.3959	
F4-1	0.1926	1.0512	1.1397	0.0885	54.0498	
F4-2	0.1997	1.0330	1.1176	0.0846	57.6365	55.9748
F4-3	0.2084	1.0304	1.1216	0.0912	56.2380	

### 3.4.3 Biodegradabilidad.

Los datos (pérdida de peso) de las diferentes formulaciones se presentan en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16.**

*Biodegradabilidad de las formulaciones F1, F2, F3 y F4*

Formulación (F)	Biodegradabilidad (Pérdida de peso (g)/almacenamiento (días))					
	Peso inicial (Día 0)	Día 7	Día 14	Día 21	Día 24	Día 27*
F1-1	0.2154	0.1493	0.1138	0.0965	0.0663	No encontrado
F1-2	0.2247	0.1097	0.1575	0.1175	0.1128	No encontrado
F1-3	0.2120	0.1796	0.1491	0.0734	0.0596	No encontrado
F2-1	0.1794	0.1615	0.1348	0.1122	0.0698	No encontrado
F2-2	0.1973	0.1341	0.1103	0.0705	0.0444	No encontrado
F2-3	0.1838	0.1370	0.1116	0.1082	0.0702	No encontrado
F3-1	0.2042	0.1679	0.1317	0.1083	0.0701	No encontrado
F3-2	0.2061	0.1715	0.1440	0.1036	0.0661	No encontrado
F3-3	0.1933	0.1641	0.1359	0.1199	0.0901	No encontrado
F4-1	0.1857	0.1591	0.1215	0.1163	0.0508	No encontrado
F4-2	0.1937	0.1687	0.1300	0.0848	0.0078	No encontrado
F4-3	0.1953	0.1779	0.1375	0.1219	0.0250	No encontrado

\*No encontrado: No había material suficiente para ser pesado

### 3.5 Acondicionamiento de materia prima: fresas.

Las fresas fueron adquiridas en el mercado San Miguelito, situado en San Salvador y llevadas al Laboratorio de Tecnología Alimentos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, donde se realizaron las operaciones preliminares (selección inicial, limpieza y desinfección). Las fresas desinfectadas se seleccionaron a partir de la apariencia entre cada una de ellas, tener un buen color y que este fuera uniforme en todo el fruto, estar intactas y no estar materialmente desintegradas. Las frutas seleccionadas se distribuyeron en grupos entre 15 y 25 unidades para cada formulación, las fresas seleccionadas para cada formulación fueron las más homogéneas entre ellas en apariencia, color y tamaño. Cada grupo de fresas se recubrió con las formulaciones establecidas, se secaron en el deshidratador, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron en balanza semi-analítica, finalmente se colocaron en sus respectivas cajas plásticas rotuladas con la formulación correspondiente, las fresas control (sin recubrimiento) se registraron sus pesos y se depositaron en cajas plásticas rotuladas con la formulación F0.

### 3.6 Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento.

A continuación, se presentan los datos sobre los diferentes análisis que fueron realizados. En el Anexo K se muestran los datos obtenidos para cada prueba.

#### 3.6.1 Sólidos Solubles Totales (°Brix).

La Tabla 3.17 presenta el promedio de sólidos solubles totales expresados en °Brix de fresas sin recubrimiento y con recubrimiento.

**Tabla 3.17.**

*Sólidos Solubles Totales (°BRIX) presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Promedios de °BRIX/almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	8.30	8.53	9.00	10.00	13.67
F1	10.00	9.77	8.30	10.20	12.07

Continúa...

**Tabla 3.17.**

*Sólidos solubles Totales (°Brix) presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4) (continuación)*

<b>Promedios de °BRIX/almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F2	9.00	11.93	11.00	10.00	9.20
F3	9.10	8.23	7.00	8.20	9.30
F4	8.10	9.07	7.00	10.00	11.30

### **3.6.2 Pérdida de peso (humedad).**

El porcentaje de pérdida de peso (%) de las fresas recubiertas con las diferentes formulaciones y fresas sin recubrimiento se presenta en la Tabla 3.18.

**Tabla 3.18.**

*Porcentaje de pérdida de peso (%) presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Porcentaje de pérdida de peso (%)/almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	5.33	7.52	15.81	20.15	21.54
F1	5.15	8.13	13.95	18.29	25.89
F2	3.61	4.81	10.29	14.82	18.00
F3	3.13	4.22	7.66	9.10	12.50
F4	4.75	7.16	10.37	13.58	19.10

### **3.6.3 Determinación de pH.**

El pH de las fresas recubiertas con las diferentes formulaciones y fresas sin recubrimiento se presenta en la Tabla 3.19.

**Tabla 3.19.**

Valores de pH presentados en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)

<b>Promedios de pH/almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	3.37	3.57	3.50	3.70	3.90
F1	3.60	3.80	3.40	3.80	3.70
F2	3.50	3.50	3.60	3.70	3.60
F3	3.37	3.60	3.50	3.50	3.70
F4	3.40	3.60	3.53	3.60	3.60

### 3.6.4 Determinación de acidez titulable.

La acidez titulable expresada en gramos de ácido cítrico/L de muestra presentada para las fresas recubiertas con las diferentes formulaciones y fresas sin recubrimiento se muestra en la Tabla 3.20.

**Tabla 3.20.**

Acidez titulable presentada en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)

<b>Acidez (gramos de ácido cítrico / L de muestra) / almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	0.42	0.51	0.46	0.64	0.32
F1	0.58	0.39	0.42	0.68	0.32
F2	0.50	0.41	0.32	0.60	0.31
F3	0.53	0.37	0.33	0.61	0.19
F4	0.65	0.38	0.61	0.65	0.39

### 3.7 Vida de anaquel de las fresas.

La vida de anaquel de las fresas se determinó a través del análisis microbiológico y del análisis sensorial. A continuación, se detallan los resultados para ambos análisis.

### 3.7.1 Análisis microbiológico.

El recuento de hongos y levaduras realizado en fresas sin recubrimiento (F0), en fresas recubiertas con las diferentes formulaciones que contiene aceite esencial de orégano (F1, F2 y F3) y fresas con recubrimiento con la formulación que contiene sorbato de potasio (F4) se presentan a continuación:

La Tabla 3.21 presenta el recuento de hongos (UFC / g de fresa\*días de observación) para las diferentes formulaciones.

**Tabla 3.21.**

*Recuento de hongos (UFC/g de fresas\*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Recuento de hongos (UFC/g de fresa) / almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	110	180			
F1	70	380			
F2	80	180	280	400	500
F3	40	100	140	300	400
F4	40	200	150	140	200

La Tabla 3.22 presenta el recuento de levaduras (UFC/g de fresa\*días de observación) para las diferentes formulaciones.

**Tabla 3.22.**

*Recuento de levaduras (UFC/g de fresa\*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Recuento de levaduras (UFC/g de fresa) / almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	400	1420			
F1	410	1020			
F2	300	400	600	1000	1300

Continúa...

**Tabla 3.22.**

*Recuento de levaduras (UFC/g de fresa\*días de observación) presentado en fresas con recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4) (Continuación)*

<b>Recuento de levaduras (UFC/g de fresa) / almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F3	300	400	700	900	1200
F4	300	500	700	840	1000

La Tabla 3.23 presenta el recuento total de hongos y levaduras (UFC / g de fresa\*días de observación) para las diferentes formulaciones.

**Tabla 3.23.**

*Recuento total de hongos y levaduras (UFC/g de fresa\*días de observación) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Recuento total de hongos y levaduras (UFC/g de fresa) / almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	510	1600			
F1	480	1400			
F2	380	580	880	1400	1800
F3	340	500	840	1200	1600
F4	340	700	850	980	1200

### **3.7.2 Análisis sensorial.**

Para el análisis sensorial se organizó un panel de jueces no entrenados reclutados dentro de las instalaciones de la Universidad de El Salvador, en ésta prueba se le entregó a cada panelista una ficha de evaluación (Ver Anexo F) la cual se dividió en dos partes: en la primera, se les solicitó que después de la degustación de cada muestra evaluaran 4 características sensoriales (sabor, color, olor y textura) utilizando una escala hedónica de 7 puntos.

En la segunda parte, los panelistas debían responder a la pregunta: ¿Cuál de las dos muestras codificadas prefiere?, ellos debían seleccionar una, incluso si ambas muestras les parecían idénti-

cas. Las dos muestras se presentaron en recipientes idénticos, codificados con números aleatorios de 3 dígitos. Los resultados de cada análisis sensorial por panelista se muestran en el Anexo L. A continuación se muestra la cantidad de panelistas que eligieron los diferentes atributos evaluados en cada análisis sensorial.

#### D) Primer análisis sensorial.

Este consistió en determinar el grado de aceptabilidad y de preferencia de las fresas recubiertas con las formulaciones que contenían como agente antimicrobiano aceite esencial de orégano en diferentes concentraciones, estas formulaciones fueron F2 y F3.

La Tabla 3.24 muestra los datos obtenidos para los diferentes atributos evaluados en las fresas con recubrimiento de la formulación F2.

**Tabla 3.24.**

*Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F2 en el análisis sensorial 1*

Puntaje	Grado de aceptación	Cantidad de panelistas			
		Sabor	Color	Olor	Textura
1	Me disgusta extremadamente	1	0	0	0
2	Me disgusta mucho	1	0	0	0
3	Me disgusta ligeramente	3	1	2	1
4	Ni me gusta ni me disgusta	4	3	10	5
5	Me gusta un poco	5	6	4	2
6	Me gusta mucho	6	13	5	13
7	Me gusta extremadamente	5	2	4	4
	TOTAL	25	25	25	25

En la Tabla 3.25 se muestran los resultados obtenidos para los diferentes atributos evaluados en las fresas con recubrimiento de la formulación F3.

**Tabla 3.25.**

*Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F3 en el análisis sensorial 1*

Puntaje	Grado de aceptación	Cantidad de panelistas			
		Sabor	Color	Olor	Textura
1	Me disgusta extremadamente	1	0	0	0
2	Me disgusta mucho	1	0	0	0
3	Me disgusta ligeramente	3	1	2	1
4	Ni me gusta ni me disgusta	4	3	10	5
5	Me gusta un poco	5	6	4	2
6	Me gusta mucho	6	13	5	13
7	Me gusta extremadamente	5	2	4	4
	TOTAL	25	25	25	25

La Tabla 3.26 se presenta la cantidad de panelistas que seleccionaron una formulación determinada (F2 o F3) en la prueba de preferencia.

**Tabla 3.26.**

*Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 1*

Cantidad de panelista	
F2	F3
9	16

## II) Segundo análisis sensorial.

Establecida la formulación elegida por la mayoría de los panelistas en el primer análisis sensorial, se realizó un segundo análisis sensorial en el cual los panelistas evaluaron diferentes atributos a las fresas recubiertas con la formulación ganadora que en este caso fue F3 versus las fresas recubiertas con la formulación F4.

La Tabla 3.27 detalla los datos obtenidos para los diferentes atributos evaluados en las fresas recubiertas con la formulación F3.

**Tabla 3.27.**

*Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F3 en el análisis sensorial 2*

Puntaje	Grado de aceptación	Cantidad de panelistas			
		Sabor	Color	Olor	Textura
1	Me disgusta extremadamente	0	0	0	0
2	Me disgusta mucho	3	0	1	0
3	Me disgusta ligeramente	4	0	2	1
4	Ni me gusta ni me disgusta	0	2	3	3
5	Me gusta un poco	2	0	0	0
6	Me gusta mucho	0	5	3	3
7	Me gusta extremadamente	1	3	1	3
	TOTAL	10	10	10	10

Las Tabla 3.28 muestra los datos obtenidos para los diferentes atributos evaluados a las fresas recubiertas utilizando la formulación F4.

**Tabla 3.28.**

*Frecuencia de votación de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para la formulación F4 en el análisis sensorial 2*

Puntaje	Grado de aceptación	Cantidad de panelistas			
		Sabor	Color	Olor	Textura
1	Me disgusta extremadamente	0	0	0	0
2	Me disgusta mucho	0	0	0	0
3	Me disgusta ligeramente	0	0	0	1
4	Ni me gusta ni me disgusta	1	3	2	3
5	Me gusta un poco	3	3	3	1
6	Me gusta mucho	4	4	3	3
7	Me gusta extremadamente	2	0	2	2
	TOTAL	10	10	10	10

La Tabla 3.29 se presenta la cantidad de panelistas que seleccionaron una formulación (F3 o F4) en la prueba de preferencia.

**Tabla 3.29.**

*Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 2*

<b>Cantidad de panelista</b>	
<b>F3</b>	<b>F4</b>
2	8

# **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---

## 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta el análisis y discusión de los resultados correspondientes a las diferentes pruebas realizadas para la caracterización de materia prima (aceite esencial de orégano y almidón de plátano verde), biopelículas, parámetros de calidad de fresas con recubrimiento y vida de anaquel (análisis microbiológico y análisis sensorial).

### 4.1. Caracterización de aceite esencial de orégano.

#### 4.1.1. Densidad.

Según Bandoni (2012), la densidad es un parámetro para detectar adulteraciones en aceites esenciales, ya que la mayoría de aceites esenciales incluyendo el aceite esencial de orégano presentan una menor densidad que el agua (excepto aceite esencial de canela, clavo y ajo), **la densidad obtenida a temperatura de 20°C fue de 913.10 kg/m<sup>3</sup>**, como se observa, el aceite obtenido es menos denso que el agua. Respecto al valor resultante, este se encuentra cerca del valor reportado por diferentes autores que se presentan en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.**

*Densidad de algunos aceites esenciales de orégano*

Autor	Especie	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Tellez Monzón y Nolazco Cama, (2017)	<i>Origanum vulgare spp.</i>	913.2
Albado Plaus, Saez Flores y Grabiél Ataucusi, (2001)	<i>Origanum vulgare</i>	923.24

Los aceites esenciales que tienen densidades mayores a 1000 kg/m<sup>3</sup>, contienen fenoles o sus derivados y ésteres; mientras que los de densidad más baja son ricos en hidrocarburos monoterpénicos y sesquiterpénicos. Bandoni, (2012).

#### 4.1.2. Índice de refracción.

El índice de refracción del aceite esencial de orégano obtenido a temperatura de 20°C fue de 1.4991, este valor se encuentra cerca del rango establecido por el Food Chemical Codex, (1996), para aceites esenciales de orégano que es entre 1.502 y 1.508. Al comparar el valor obtenido con respecto a los valores encontrados en la literatura (véase Tabla 4.2) este se encuentra cerca de dichos valores.

**Tabla 4.2.**

*Índice de refracción de aceites esenciales de orégano*

Autor	Especie	Índice de refracción
Tellez Monzón y Nolazco Cama, (2017)	<i>Origanum vulgare</i> spp.	1.475
Albado Plaus, Saez Flores y Grabiell Ataucusi, (2001)	<i>Origanum vulgare</i>	1.4774

De acuerdo a Domínguez (1979), con el índice de refracción y la densidad se pueden deducir los componentes de los aceites esenciales, si el índice de refracción es mayor a 1.47 y la densidad superior a 900 Kg/m<sup>3</sup>, indica la presencia de compuestos oxigenados aromáticos, los cuales son los mayores contribuyentes en el olor y el sabor característico de los aceites esenciales, en este caso el índice de refracción es de 1.4991 y la densidad 913.10 Kg/m<sup>3</sup>, ambos valores son superiores a los límites establecidos, lo que indica la presencia de estos compuestos en el aceite esencial de orégano que se obtuvo.

#### 4.1.3. Infrarrojo (IR).

La Figura 4.1 muestra el espectro de IR obtenido para el aceite esencial de orégano, en el que se identifican grupos funcionales característicos del mismo, la banda ancha en el intervalo de frecuencia de 3200-3600 cm<sup>-1</sup> debida al grupo hidroxilo (O-H) (círculo rojo) indica la presencia de fenoles, asimismo las bandas en el intervalo de 1500 -1600 cm<sup>-1</sup> (circulo negro) denota la presencia de anillos aromáticos C=C. (Skoog y Leary, 1994).

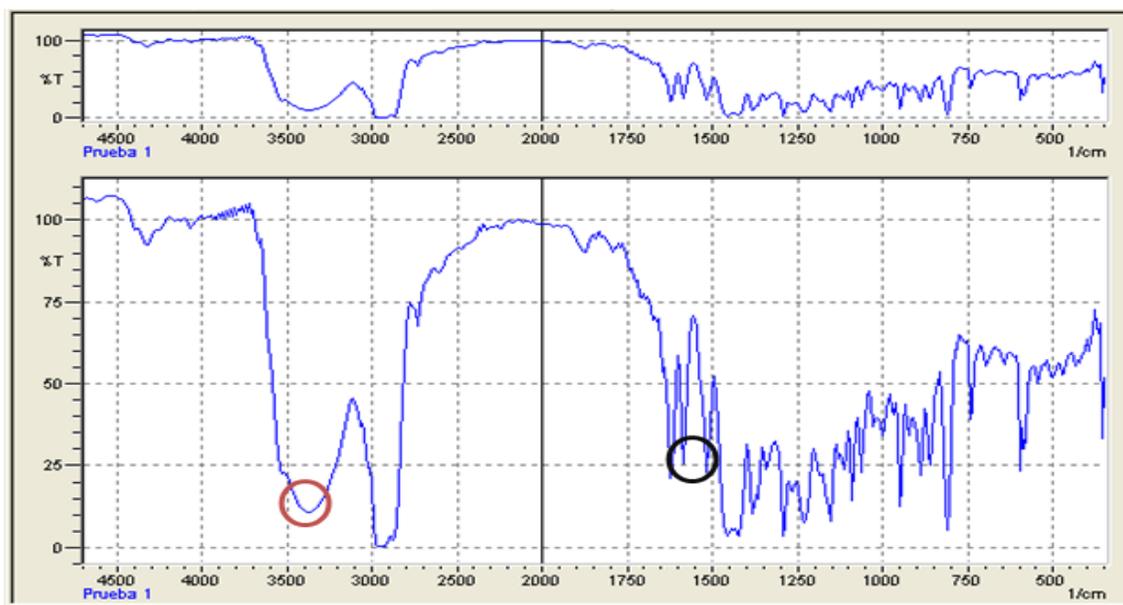


Figura 4.1. Grupos funcionales presentes en el aceite esencial de orégano

## 4.2. Caracterización del almidón de plátano verde.

### 4.2.1. Pureza del almidón.

El porcentaje de pureza del almidón de plátano verde obtenido es de 79.18 %, encontrándose por debajo de los valores encontrados en la literatura que se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3.

Porcentaje de pureza de algunos almidones de plátano

Autor	Especie	% de pureza
Lucas, Dumar Quintero y Cárdenas Valencia, (2013)	Plátano guineo AAA ( <i>Musa sapientum L.</i> )	84.96
Contreras Pérez, Gutiérrez, González Cortés, y Jiménez Vera, (2018)	Plátano cuadrado ( <i>Musa balbisiana Colla</i> )	88.81

Cabe recalcar que el método empleado para la extracción de los almidones que se presentan en la tabla anterior es el método húmedo, método que difiere con el empleado en esta investigación,

por lo que se atribuye que el porcentaje de pureza obtenido es menor debido al método de extracción utilizado.

Un parámetro importante en la pureza de los almidones es la humedad contenida, ya que es un parámetro muy importante durante la etapa de almacenamiento de dichos productos, **la humedad del almidón de plátano verde obtenida es de 7.15%**, dicho valor se encuentra dentro del rango estipulado en la Norma Mexicana NMX-F-382-1986 para almidón o fécula de maíz, cuyo contenido máximo de humedad permitido es de 13%, dicho valor también se encuentra en el intervalo de humedad aceptado para productos secos con una vida de anaquel deseable y es menor al valor permitido (<20%) para almidones convencionales (Contreras Pérez y otros, 2018).

#### **4.2.2. Determinación de pH.**

**El pH del almidón de plátano verde fue de 5.9**, dicho valor se encuentra dentro del rango estipulado en la Norma Mexicana NMX-F-382-1986 para almidón o fécula de maíz cuyo rango es de 4.5 y 6.5, además es cercano al valor reportado por Aristizábal y Sánchez, (2007) para almidón nativo de yuca que presenta pH entre 6 y 6.5 y menor al valor de 6.43 reportado por Guadrón Delgado, (2013) en almidón de guineo majoncho verde (*Musa sp.* Variedad Cuadrado).

El pH es uno de los factores que está involucrado en la retrogradación del almidón tal como se mencionó en el capítulo I, la retrogradación es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, esta cristalización endurece el gel y ocurre el fenómeno de sinéresis, este fenómeno es favorecido por bajos pH, aunque a valores de  $\text{pH} < 3$  la cantidad de material precipitado disminuye (Aristizábal y Sánchez, 2007). El pH de almidón de plátano verde obtenido favorecerá la sinéresis, sin embargo, la adición del plastificante en el recubrimiento contrarrestará dicho fenómeno.

A demás el pH influye en la velocidad e intensidad del hinchamiento de los gránulos de almidón, ya que a valores de pH menores a 5 o mayores a 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción, debido al valor obtenido de pH del almidón en la presente investigación se requiere una mayor temperatura de gelatinización.

#### 4.2.3. Acidez titulable.

**El porcentaje de acidez titulable presentado por el almidón de plátano verde fue de 0.0474% de ácido sulfúrico**, valores cercanos se encontraron en almidón de quinua el cual fue de 0.03% de ácido sulfúrico (Arzapalo Quinto, Huamán Córdor, Quispe Solano, y Espinoza Silva, 2015).

Según Arzapalo Quinto otros, (2015) el ISI (International Starch Institute) la acidez titulable debe de estar entre 0.02 y 0.05% de ácido sulfúrico, el valor obtenido en esta investigación se encuentra dentro de este rango.

#### 4.2.4. Índice de absorción de agua, poder de hinchamiento e índice de solubilidad.

##### D) Índice de absorción de agua y poder de hinchamiento.

El índice de absorción de agua y poder de hinchamiento son mutuamente dependientes uno de otro, además de depender de un aumento de temperatura, ya que el poder de hinchamiento es un aumento en masa del almidón a consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilos de los polímeros de amilosa y amilopectina, como se mencionó en el capítulo I, el gránulo al estar en presencia de un aumento de temperatura retiene más agua y presenta un hinchamiento y por ende un aumento de volumen, al administrar más calor, el gránulo queda incapacitado en retener más líquido originando así un rompimiento dando como producto una dispersión acuosa (almidón gelatinizado).

**El índice de absorción de agua (IAA) y poder de hinchamiento (PH) del almidón de plátano verde a la temperatura de 60°C fue de 1.8903 y 1.9050 respectivamente**, ambos resultados son inferiores a los encontrados en la literatura para el almidón de guineo majoncho verde (*Musa sp.* Variedad Cuadrado) a la misma temperatura presentando índice de absorción de agua de 2.5022 y poder de hinchamiento de 2.5635 (Guadrón Delgado, 2013).

Al observar la relación índice de absorción de agua - poder de hinchamiento se percibe que los valores son cercanos por lo que se confirma lo planteado anteriormente que el índice de absorción de agua y poder de hinchamiento son mutuamente dependientes uno de otro.

Hernández-Medina, Torruco-Uco, Chel-Guerrero y Betancur-Ancona, (2008) indican que los almidones con altas temperaturas de gelatinización son resistentes al hinchamiento a condiciones de temperaturas inferiores a 70°C presentando valores de poder de hinchamiento bajos, esto se comprueba con el rango de temperatura de gelatinización presentado por el almidón de plátano verde (véase Tabla 4.4), cuyo rango se encuentra entre 77.4 a 79.2°C.

**Tabla 4.4.**

*Temperaturas de gelatinización del almidón de plátano verde*

<b>Temperaturas de gelatinización Tg (°C)/formulación (F)</b>			
<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>
79.22	77.4	76.8	79.2

## **II) Índice de solubilidad.**

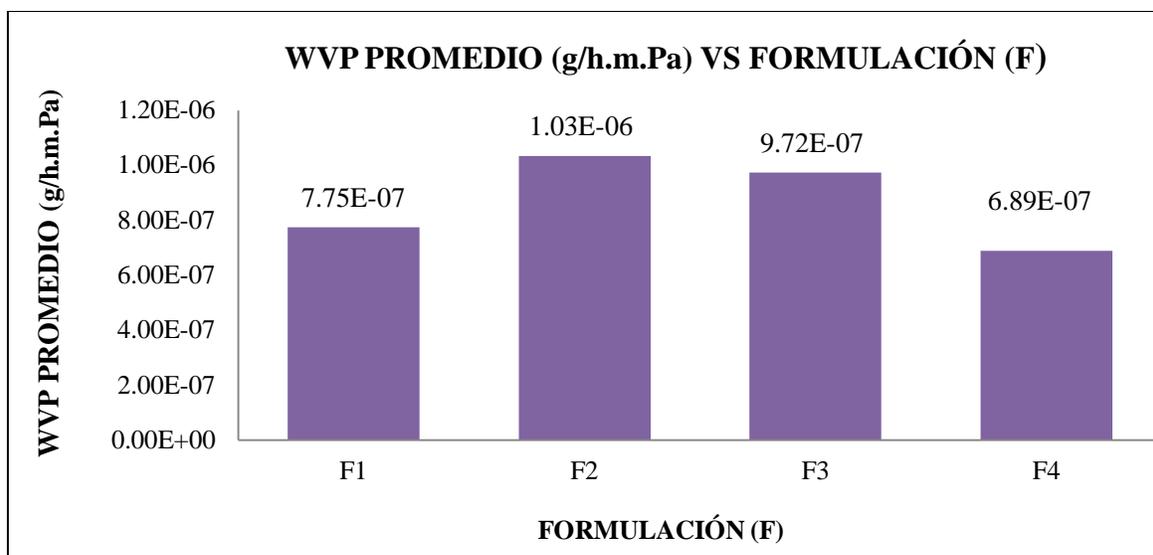
Como expone Meaño Correa, Ciarfella Pérez, y Dorta Villegas, (2014) el índice de solubilidad del almidón es la capacidad que tiene de reaccionar con agua y disolverse en ella, químicamente se refiere a la cantidad de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando el mismo comienza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua debido a un aumento de la temperatura, es decir, al existir una mayor absorción de agua habrá un mayor porcentaje de solubilidad en agua.

**El porcentaje de solubilidad del almidón de plátano verde obtenido fue de 0.7711% a la temperatura de 60°C**, valores cercanos reportaron Meaño Correa y otros (2014), en almidón de ñame congo, cuyos porcentajes de solubilidad a las temperaturas de 55° y 65°C fueron 0.48% y 1.25% respectivamente, es decir, la solubilidad del almidón aumenta en función del aumento de temperatura.

### **4.3. Caracterización de las biopelículas.**

#### **4.3.1. Permeabilidad al vapor de agua.**

La Figura 4.2 muestra los valores graficados de los promedios de permeabilidad al vapor de agua (WVP) de cada formulación presentados en la Tabla 3.14.



**Figura 4.2.** Gráfica de permeabilidad al vapor de agua (WVP) vs formulación (F)

Como se observa en la figura anterior en términos generales la permeabilidad se vio afectada por los agentes antimicrobianos agregados a las formulaciones, siendo la menos permeable al vapor de agua la formulación F4 que contiene sorbato de potasio y las más permeables al vapor de agua las adicionadas con aceite esencial de orégano (F1, F2 y F3), con respecto a estas últimas formulaciones la menos permeable es F1, seguida de F3 y por último F2.

Valores similares se encontraron en la literatura sobre la permeabilidad al vapor de agua de biopelículas elaboradas con almidón de diferentes especies botánicas, ésta se presenta en la Tabla 4.5.

**Tabla 4.5.**

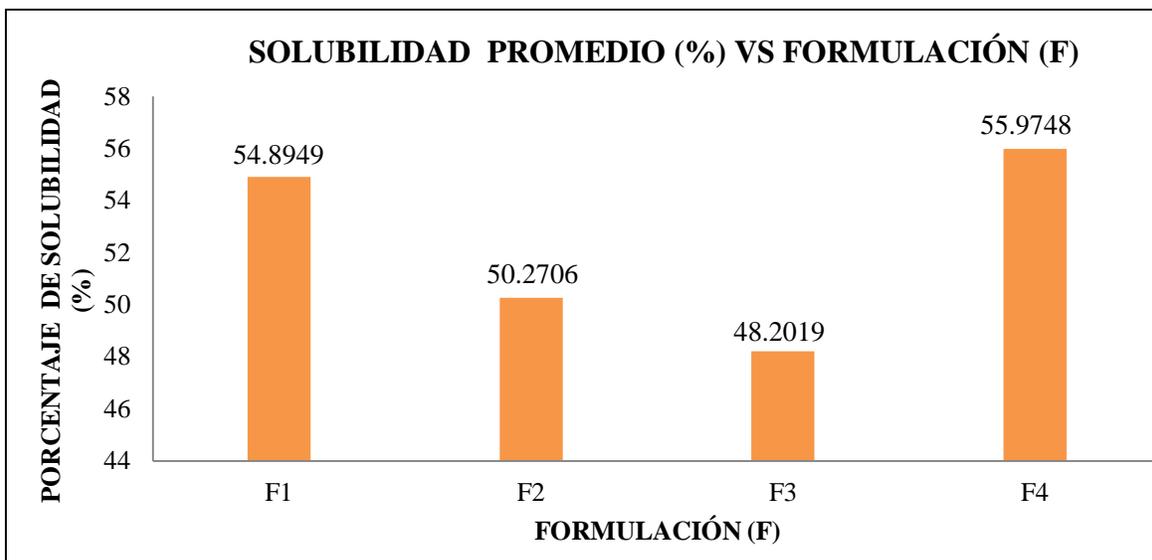
*Permeabilidad al vapor de agua presentada por biopelículas de diferentes tipos de almidón*

Composición	WVP (g/h.m.Pa)
Almidón de plátano	1.302E-07
Almidón de ñame	1.188E-08
Almidón oxidado de plátano	4.662E-08
Almidón de maíz	1.314E-07

**Fuente:** (Joaqui D y Villada C, 2013)

### 4.3.2. Solubilidad en agua.

La Figura 4.3 muestra los valores graficados del promedio de solubilidad de las formulaciones presentadas en la Tabla 3.15.



*Figura 4.3.* Grafica de solubilidad (%) versus formulaciones (F)

Como se observa en la figura anterior las formulaciones que presentan menor porcentaje de solubilidad en agua son las formulaciones constituidas por aceite esencial de orégano (F1, F2 y F3) a comparación de la formulación F4 constituida por sorbato de potasio cuyo porcentaje de solubilidad en agua es de 55.9748%.

Entre las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano la solubilidad en agua disminuye a medida que la concentración de aceite esencial de orégano aumenta:

- i. Formulación menos soluble: F3 = 48.2019 % de solubilidad en agua.
- ii. Formulación soluble: F2 = 50.2706 % de solubilidad en agua.
- iii. Formulación más soluble: F1 = 54.8949 % de solubilidad en agua.

La diferencia de solubilidad entre formulaciones se atribuye al agente antimicrobiano presente en ellas debido a que las concentraciones de almidón y glicerina se mantuvieron constantes en cada

formulación, las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano fueron menos solubles que la formulación que contiene sorbato de potasio, debido a la insolubilidad del aceite en agua.

Estos resultados concuerdan con estudios realizados por Zamudio - Flores y otros, (2011) con películas de almidón oxidado de plátano y aceite esencial de canela, ya que las películas tuvieron una solubilidad menor al aumentar la concentración de aceite como se observa la Tabla 4.6.

**Tabla 4.6.**

*Porcentaje de solubilidad de películas de almidón de plátano adicionadas con aceite esencial de canela o sorbato de potasio.*

<b>Película</b>	<b>Solubilidad (%)</b>
Película de almidón de plátano (PAP)	35.17 ± 0.80
PAP + aceite de canela al 1%	32.46 ± 0.21
PAP + aceite de canela al 1.5%	26.55 ± 0.43
PAP + sorbato de potasio al 0.4%	62.10 ± 0.35
PAP + sorbato de potasio al 0.6%	68.84 ± 0.19

Estos autores concluyen que, en el caso de la presencia de sorbato, este produjo una estructura menos organizada que resultó en mayores valores de solubilidad.

#### **4.3.3. Biodegradabilidad.**

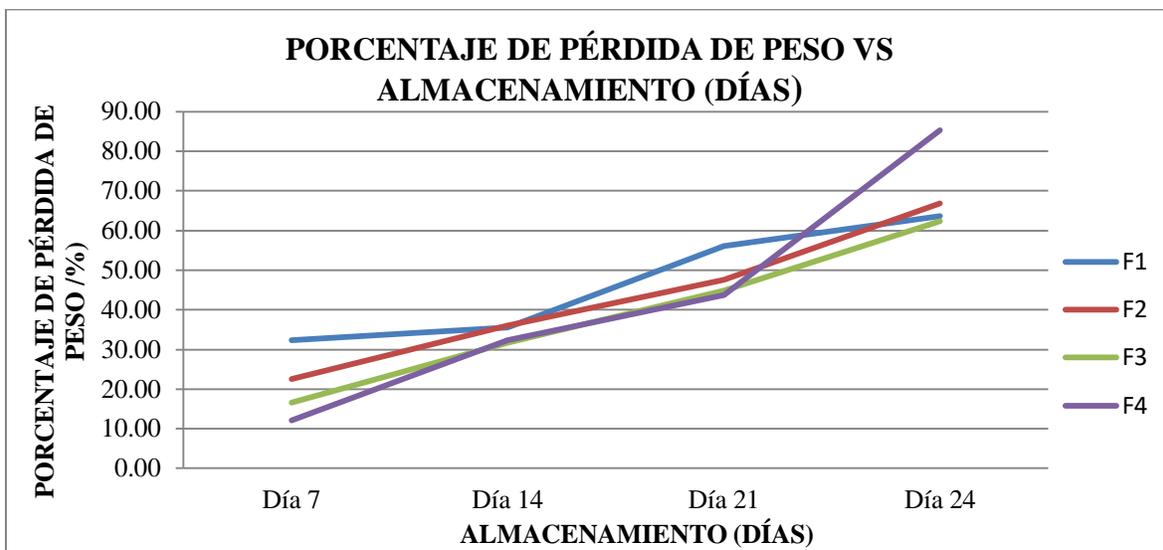
Como se estableció en el capítulo 2 la prueba de biodegradabilidad se llevó a cabo hasta que se observó una desintegración física completa de las biopelículas que fue el día 27 (véase Tabla 3.16), es decir ese día no se encontró material (biopelícula) en los contenedores que pudiesen ser pesados, por lo que las biopelículas elaboradas con las diferentes formulaciones son completamente biodegradables y su tiempo de desintegración física es de 27 días.

Para establecer qué biopelícula fue la primera en degradarse entre el día 24 y día 27, se presentan en la Tabla 3.16, las pérdidas de peso en gramos de cada una de dichas películas, las cuales se convierten a porcentajes de pérdidas de peso y se presentan en la Tabla 4.7 y Figura 4.4. A partir de ellas se determinó qué formulación fue la primera en degradarse debido al aumento de porcentaje de pérdida de peso en los días de observación.

**Tabla 4.7.**

*Porcentajes de pérdida de peso de biopelículad. Prueba de biodegradabilidad*

<b>Porcentaje de pérdida de peso (%)/almacenamiento (días)</b>				
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 21</b>	<b>Día 24</b>
F1	32.38	35.58	56.10	63.64
F2	22.49	36.08	47.62	66.80
F3	16.56	31.78	44.89	62.33
F4	12.05	32.35	43.73	85.27



**Figura 4.4.** Porcentaje de pérdida de peso vs almacenamiento (días). Prueba de biodegradabilidad

De acuerdo a la figura anterior se establece lo siguiente:

- i. Entre las biopelículas elaboradas con las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano (F1, F2 y F3) con respecto a la biopelícula elaborada con la formulación que contiene sorbato de potasio (F4), esta última presenta un mayor porcentaje de pérdida de peso (85.27%) en el día 24 por lo que fue la primera en degradarse.
- ii. Referente a las biopelículas elaboradas con las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano, la biopelícula en degradarse primero es la correspondiente a la formulación F2 con un porcentaje de pérdida de peso de 66.80%, seguida de la elaborada con la formulación F1 presentando el 63.64% de pérdida de peso y finalmente la biopelícula

que tardo más tiempo en degradarse es la elaborada con la formulación F3 obteniéndose un 62.33% de pérdida de peso.

#### **4.4. Evaluación de parámetros de calidad de las fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento.**

Para la evaluación de los diferentes parámetros de calidad (sólidos solubles totales °Brix, pérdida de humedad, pH y acidez titulable) en fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento se aplicaron dos análisis estadísticos: técnica de varianza de dos factores y análisis exploratorio mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP).

##### **A. Análisis estadístico: Técnica de varianza de dos factores.**

La técnica de varianza de dos factores utilizada para el análisis estadístico permitió evaluar por separado cada prueba de calidad realizada a las fresas recubiertas y sin recubrimiento, con el fin de determinar si existía una diferencia significativa al emplear un recubrimiento o no, y además comparar un recubrimiento con respecto a otro.

Previo al análisis de los datos se comprobó el cumplimiento de los supuestos teóricos del análisis de varianza, la normalidad se contrastó mediante la prueba de Shapiro-Wilks haciendo uso del programa InfoStat/E, los valores obtenidos se presentan en el Anexo M.

Los resultados de esta prueba demostraron que para un nivel de significancia del 5% los datos de las pruebas pH, acidez titulable, °Brix y pérdida de peso, provienen de una distribución normal, sin embargo ya que éstas últimas 2 presentaron coeficientes de variación superiores a 10, se realizó la transformación angular (arcoseno) de los datos, para ello se obtuvo el inverso del seno de la raíz de la proporción (arcoseno  $p$ ), siendo  $p$  el valor proporcional de los datos originales (los porcentajes divididos entre 100). Una vez transformados los datos se efectuó al análisis de los mismos con la técnica del análisis de varianza de dos factores.

El análisis de la varianza permite contrastar la hipótesis nula de que las medias de dos o más distribuciones de probabilidad normales con la misma varianza son iguales, es decir, que las diferencias observadas se deben a la variación natural en el muestreo, frente a la hipótesis alternativa, de que por lo menos una de las medias difiere de las demás.

A continuación se presenta el análisis de varianza de dos factores para cada parámetro de calidad evaluado en las fresas sin recubrimiento y fresas recubiertas con las diferentes formulaciones.

#### 4.4.1. Sólidos Solubles Totales (°Brix).

La Tabla 4.8 presenta el arcoseno p del promedio de sólidos solubles totales °Brix para las diferentes formulaciones en los 18 días de observación (véase Tabla 3.17).

**Tabla 4.8.**

*Valores promedio de sólidos solubles totales (°Brix) después de la transformación angular*

<b>Arcoseno p °BRIX/almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	0.29	0.30	0.30	0.32	0.38
F1	0.32	0.32	0.29	0.32	0.35
F2	0.30	0.35	0.34	0.32	0.30
F3	0.30	0.29	0.27	0.29	0.30
F4	0.29	0.30	0.27	0.32	0.34

La Tabla 4.9 presenta los resultados del análisis de varianza de dos factores aplicados a los promedios de sólidos solubles totales (°Brix) después de la transformación angular.

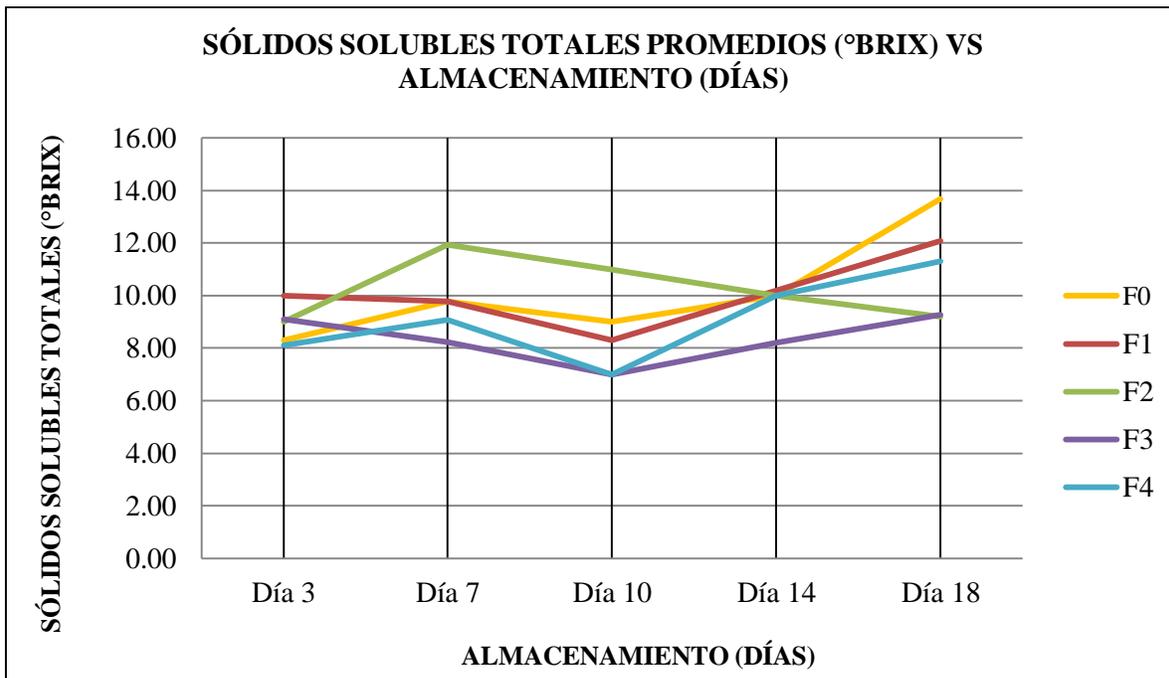
**Tabla 4.9.**

*Análisis de varianza de dos factores. Prueba sólidos solubles totales °Brix*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Formulaciones	0.003704	4	0.000926	1.8669	0.16553581	3.0069
Almacenamiento (días)	0.004744	4	0.001186	2.3911	0.09400806	3.0069
Error	0.007936	16	0.000496			
Total	0.016384	24				

El análisis de varianza de dos factores para la prueba de sólidos solubles totales (°Brix) muestra que el valor crítico para F (3.00) es mayor que el valor calculado de 1.86, se acepta la hipótesis nula, la cual establece que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los valores medios del cambio de °Brix con respecto al tipo de recubrimiento empleado.

La Figura 4.5 registra el promedio de sólidos solubles totales (°Brix) (véase Tabla 3.17) presentados en las fresas no recubiertas y fresas recubiertas con las diferentes formulaciones en los 18 días de observación.



**Figura 4.5.** Sólidos solubles totales promedios (°Brix) vs almacenamiento (días)

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa en utilizar una formulación con respecto a otra, sin embargo en la figura anterior se visualiza que las formulaciones aplicadas en las fresas permitieron mantener valores más estables durante el tiempo de observación en relación a las fresas no recubiertas, ya que presentaron un menor incremento en el contenido de sólidos solubles totales, las fresas sin recubrir produjeron una pérdida de humedad mayor que las fresas recubiertas debido a que los azúcares en presencia de oxígeno se convierten en CO<sub>2</sub> y agua tal y como se mencionó en el capítulo II.

#### 4.4.2. Pérdida de peso.

La Tabla 4.10 presenta el arcoseno p del promedio de pérdida de peso para las diferentes formulaciones en los días de observación (véase Tabla 3.18).

**Tabla 4.10.**

*Valores promedio de pérdida de peso después de la transformación angular*

<b>Arcoseno p pérdida de peso /almacenamiento (días)</b>					
<b>Formulación (F)</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	0.23	0.28	0.41	0.47	0.48
F1	0.23	0.29	0.38	0.44	0.53
F2	0.19	0.22	0.33	0.4	0.44
F3	0.18	0.21	0.28	0.31	0.36
F4	0.22	0.27	0.33	0.38	0.45

La Tabla 4.11 muestra el análisis de varianza de dos factores aplicado a los promedios de pérdida de peso obtenidos después de la transformación angular.

**Tabla 4.11.**

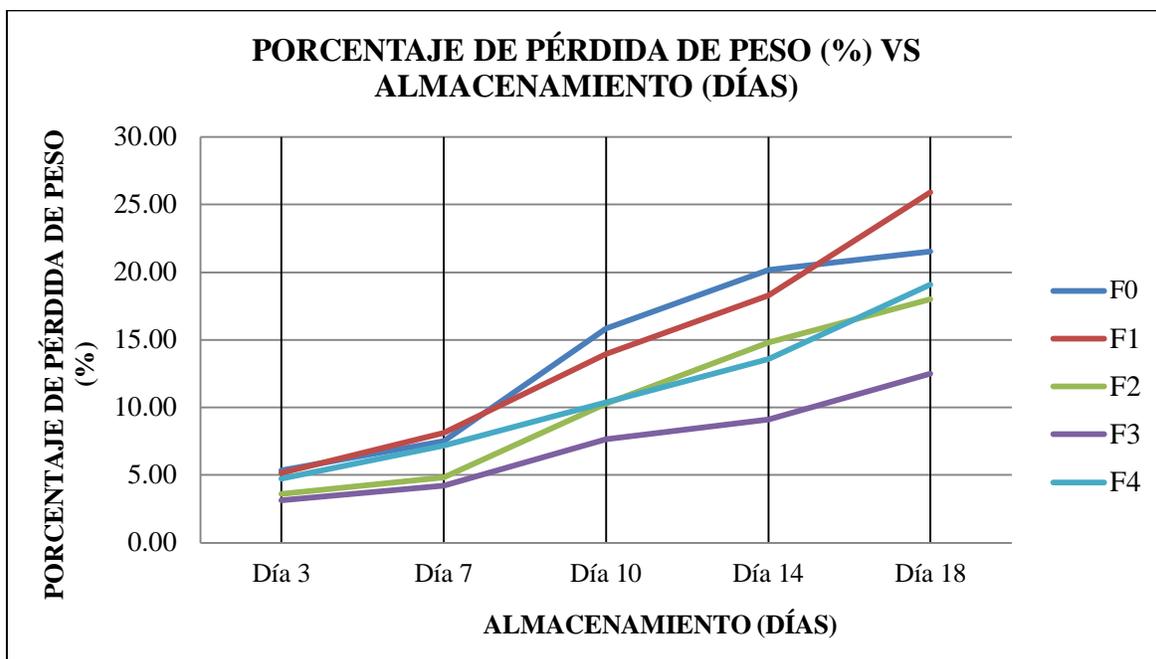
*Análisis de varianza de dos factores. Prueba pérdida de peso*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Formulaciones	0.039416	4	0.009854	18.1139	8.6549E-06	3.0069
Almacenamiento (días)	0.200936	4	0.050234	92.3419	7.6537E-11	3.0069
Error	0.008704	16	0.000544			
Total	0.249056	24				

El análisis de varianza de dos factores para la prueba de pérdida de peso muestra que el valor calculado para F es de 18.1139, que es mayor que el valor crítico 3.0069 por tanto se acepta la hipótesis alternativa, es decir que con un nivel de significancia del 0.05 se puede asegurar que por lo menos una formulación ha producido resultados cuya pérdida media de peso difiere de

forma estadísticamente significativa con respecto a las otras formulaciones durante los 18 días de observación.

La Figura 4.6 registra el promedio del porcentaje de pérdida de peso de los frutos de fresas recubiertas y sin recubrir (véase Tabla 3.18) durante los 18 días de observación a temperaturas de refrigeración.



*Figura 4.6.* Porcentaje de pérdida de peso promedios (%) vs almacenamiento (días)

De acuerdo a la figura anterior los recubrimientos aplicados si modificaron de manera significativa los valores de los porcentajes de pérdida de peso en las fresas con recubrimiento con respecto a las fresas sin recubrir y entre las fresas recubiertas por las diferentes formulaciones, lo cual corrobora el análisis de varianza donde se registraron diferencias estadísticamente significativas entre formulaciones.

De manera general se evidencia la pérdida de peso continua durante el almacenamiento, esto es debido a la pérdida de agua a causa de la transpiración irreversible que ocurre en el fruto como se mencionó en el capítulo I, esta pérdida de agua provoca debilitamiento del tejido provocando marchitez y arrugamiento en el fruto afectando la calidad comercial.

Las fresas sin recubrir perdieron hasta 21.54% de su peso inicial, sin embargo, se produjo una disminución en la pérdida de peso en las fresas recubiertas con las diferentes formulaciones, siendo más evidente en las formulaciones que contiene aceite esencial de orégano, ya que al incorporar una mayor concentración de este antimicrobiano las fresas presentaron una disminución en la pérdida de peso, siendo la formulación F3 la que mejor desempeño tuvo ante este fenómeno, presentando el valor más bajo de pérdida de 12.50% de peso frente a las demás formulaciones que contienen aceite esencial de orégano e inclusive la que contiene sorbato de potasio (F4). Esto se explica debido a que el aceite por su naturaleza hidrofóbica actúa como una barrera física para la pérdida de humedad.

#### 4.4.3. Determinación de pH.

La Tabla 4.12 presenta el análisis de varianza de dos factores aplicados a los promedios de pH obtenidos en los diferentes días de observación para las formulaciones (véase Tabla 3.19).

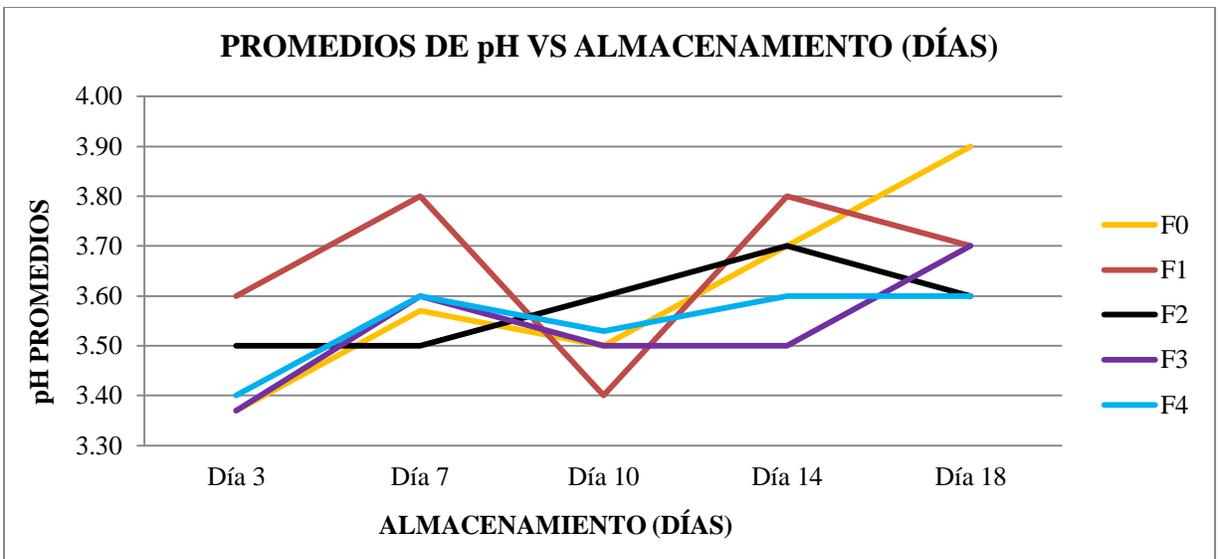
**Tabla 4.12.**

*Análisis de varianza de dos factores. Prueba pH*

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor crítico para F</b>
Formulaciones	0.051496	4	0.012874	1.201605	0.34828022	3.0069
Almacenamiento (días)	0.223496	4	0.055874	5.215045	0.00696662	3.0069
Error	0.171424	16	0.010714			
Total	0.446416	24				

El análisis de varianza de dos factores para la prueba de pH muestra que el valor calculado para  $F = 1.2016$  es menor que el valor crítico de 3.0069, de manera que se acepta la hipótesis nula, indicando así que la diferencia entre las medias de los valores registrados de la variación de pH no es significativa en lo que respecta al tipo de formulación utilizada.

La Figura 4.7 registra el promedio de pH de los frutos de fresas recubiertas y sin recubrir (véase Tabla 3.19) en los 18 días de almacenamiento a temperatura de refrigeración.



**Figura 4.7.** Promedios de pH vs almacenamiento (días)

En lo que respecta a la variable de pH, Nunes Damaceno, (2007) reporta valores de pH entre 3.4 y 3.75 en fresas, en esta investigación los valores de pH se encuentran dentro de este rango.

El pH varía con la cantidad de compuestos ácidos y básicos existentes en el medio. Consecuentemente cuanto mayor sea la cantidad de sustancias ácidas presentes en un alimento menor será el pH, esto es observable en la figura anterior y la Figura 4.9 en donde los primeros días de almacenamiento (3 a 7) las acidez disminuye y el pH aumenta.

#### 4.4.4. Determinación de acidez titulable.

La Tabla 4.13 presenta el análisis de varianza de dos factores aplicado a los promedios de acidez titulable obtenidos en los diferentes días de observación para las formulaciones (véase Tabla 3.20).

**Tabla 4.13.**

*Análisis de varianza de dos factores. Prueba acidez titulable*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Formulaciones	0.000264	4	6.6E-05	1.434782	0.26795515	3.0069

Continúa...

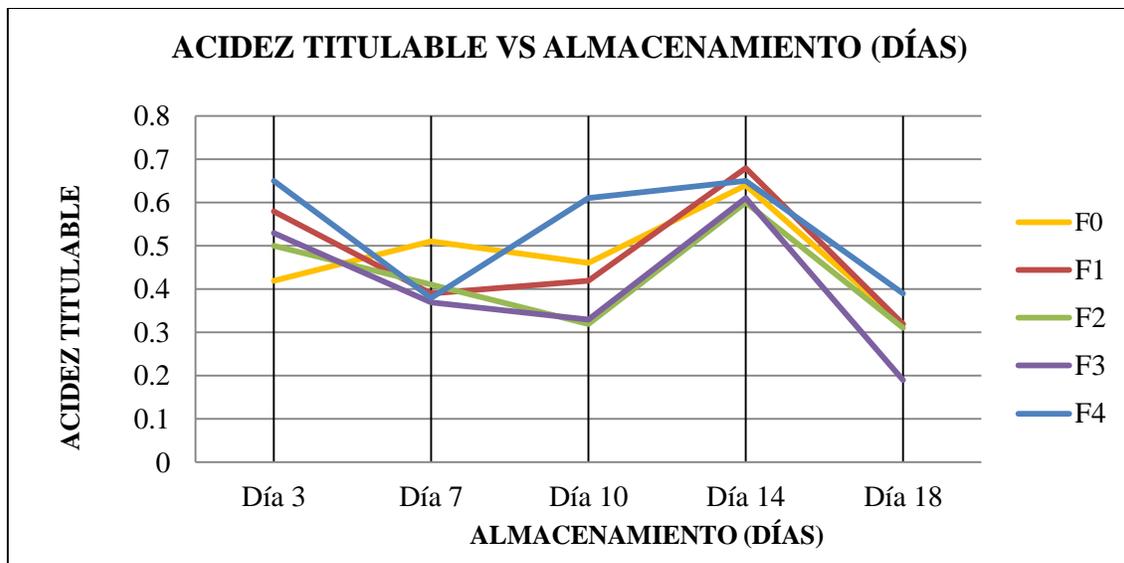
**Tabla 4.13.**

*Análisis de varianza de dos factores. Prueba acidez titulable (Continuación)*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Almacenamiento (días)	0.001704	4	0.000426	9.260869	0.00045142	3.006917
Error	0.000736	16	0.000046			
Total	0.002704	24				

El análisis de varianza demuestra que para un nivel de significancia del 5% todas las formulaciones producen la misma variabilidad en el cambio de acidez durante los 18 días de observación, dado que el valor calculado para F (1.43) es menor que el valor crítico (3.00).

La Figura 4.8 registra el promedio de acidez titulable de los frutos de fresas recubiertas y sin recubrir (véase Tabla 3.20) durante



**Figura 4.8.** Acidez titulable promedio vs almacenamiento (días)

De acuerdo a la figura anterior la acidez en las fresas recubiertas, presentó una disminución los primeros días, luego un aumento hasta llegar al día 14 de almacenamiento, a partir del cual es

notable una tendencia de disminución similar entre formulaciones, inclusive ésta tendencia se mantuvo para las fresas sin recubrimiento, estos cambios se deben a la variación en el contenido de los ácidos orgánicos (ácido cítrico) durante el almacenamiento.

No se observó un efecto significativo debido al tratamiento aplicado ya que todos los frutos presentaron el mismo comportamiento, se infiere entonces, que las fresas con recubrimiento presentan el mismo sabor característico entre ellas dado que son los ácidos orgánicos junto con los azúcares los que contribuyen al sabor de las frutas, de manera que las variaciones de antimicrobiano no influyeron de manera significativa en la acidez de las fresas a lo largo del tiempo de almacenamiento en refrigeración.

## **B. Análisis exploratorio**

Para poder extraer conclusiones acerca de los resultados obtenidos en la evaluación de las biopepéculas como recubrimiento, también es necesario llevar a cabo un análisis cualitativo y exploratorio de los datos, con el fin de resumir y visualizar la información de manera que se facilite la identificación de tendencias o patrones, y determinar si existen relaciones entre las variables analizadas.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) se utiliza para analizar las interrelaciones de un gran número de variables y explicarlas en términos de sus dimensiones comunes, reduciendo la información contenida en el número de variables originales, a un conjunto menor de variables con poca pérdida de información; el propósito del ACP es detectar relaciones poco evidentes a partir de la varianza de los datos, asumiendo que los componentes principales representan significativamente la totalidad de casos encontrados en los datos (Hair, 2000).

El análisis exploratorio se efectuó haciendo uso del programa InfoStat/E, con el objetivo de determinar qué formulaciones funcionaban mejor como recubrimiento en fresas almacenadas en refrigeración, proporcionándoles la calidad necesaria para consumo.

La Tabla 4.14 y Tabla 4.15 así como la Figura 4.9 muestran los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales mediante el programa InfoStat/E.

La Tabla 4.14 detalla en la primera columna los autovalores ordenados en forma decreciente, la suma de estos autovalores es igual a 4 (el número de variables); la segunda columna describe

para cada autovalor la proporción de varianza explicada; y la tercera columna describe la proporción acumulada.

**Tabla 4.14.**

*Análisis de componentes principales. Autovalores*

<b>Lambda</b>	<b>Valor</b>	<b>Proporción</b>	<b>Proporción Acumulada</b>
1	2.71	0.68	0.68
2	0.99	0.25	0.92
3	0.25	0.06	0.99
4	0.05	0.01	1.00

La Tabla 4.15 recoge de manera decreciente la contribución de cada variable en la construcción de cada componente principal

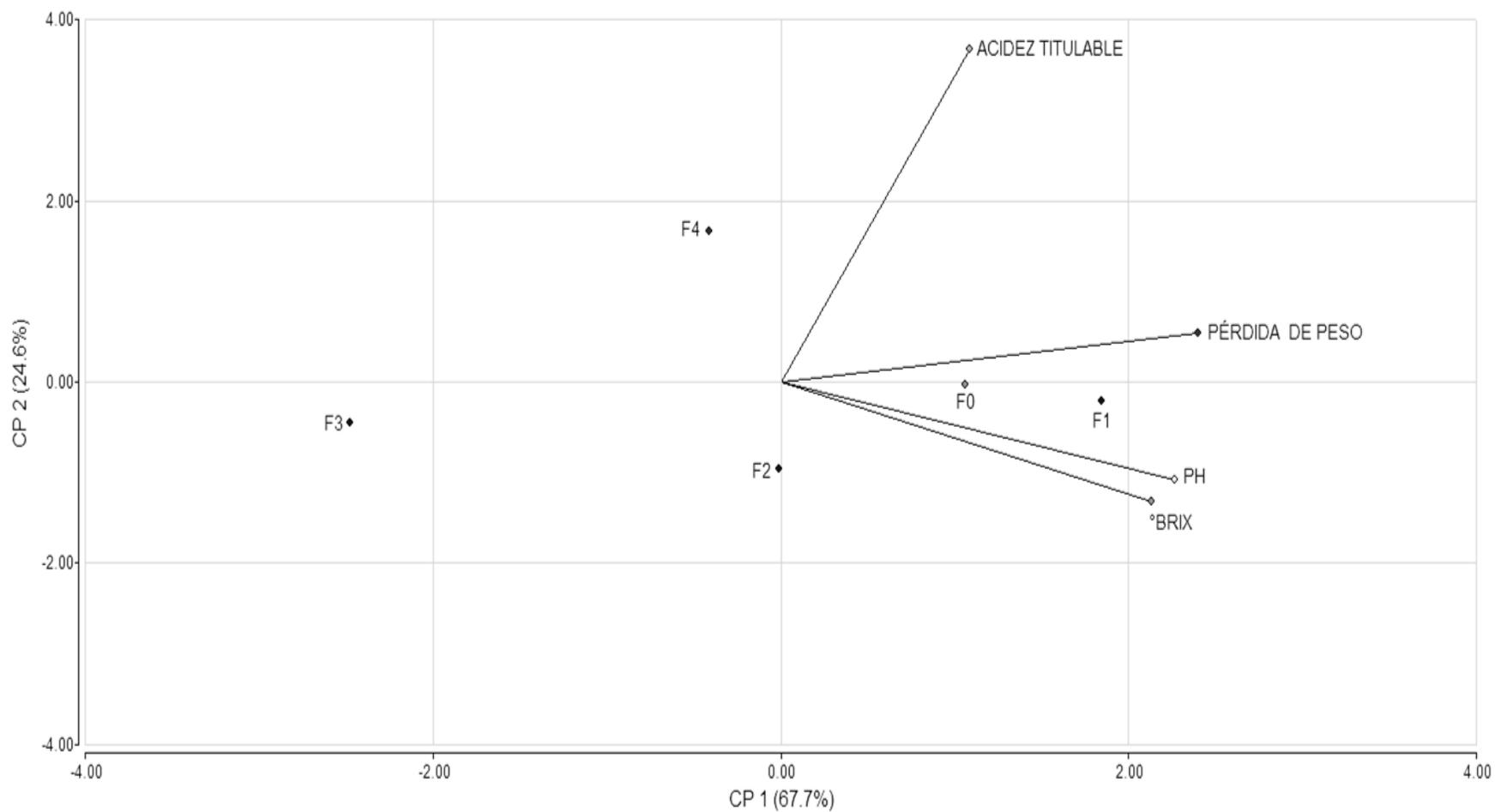
**Tabla 4.15.**

*Análisis de componentes principales. Autovectores*

<b>Variabes</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
PÉRDIDA DE PESO	0.59	0.13
PH	0.56	-0.26
°BRIX	0.52	-0.32
ACIDEZ TITULABLE	0.27	0.90

Correlación cofenética= 0.996

La Figura 4.9 aglomera en un diagrama bidimensional (biplot) la posición de las variables respecto a las componentes.



**Figura 4.9.** Biplot de las componentes principales

De acuerdo al diagrama biplot obtenido en el análisis de componentes principales que se muestra en la Figura 4.5, las dos primeras componentes principales (Lambda 1 y 2 de la Tabla 4.8) en conjunto explicaron el 92% de la variabilidad en las pruebas de calidad evaluadas durante los 18 días de almacenamiento. La componente 1 representó el 67.7% de la variabilidad total y la variable que más contribuye a ésta componente es la pérdida de peso con un 59%, mientras que la componente 2 representa el 24.6% de la variabilidad total y la mayor contribución a ésta proviene de la Acidez titulable con 90%. Del gráfico también se concluye que:

- i. Las formulaciones con las mayores pérdidas de peso, los valores más altos de pH y °BRIX se colocaron en el lado derecho de la biespacial (F1 y F0), ésta cercanía en las formulaciones 0 y 1 indicaría que tanto las fresas sin recubrimiento como aquellas recubiertas con la formulación que posee la menor concentración de aceite esencial de orégano tienen una respuesta similar en la evaluación de los parámetros de calidad, es decir, que la concentración más baja de aceite esencial adicionada, no contribuye de manera significativa a la preservación de las fresas empacadas.
- ii. De manera similar, aquella formulación que presenta las mejores características como recubrimiento reportando menores pérdidas de peso, valores bajos de pH y °BRIX así como menor Acidez titulable es la formulación 3 que es la que contiene la mayor concentración de aceite esencial de orégano, seguida de F4 que corresponde a la formulación que contiene sorbato de potasio como antimicrobiano, y por último F2 cuya formulación posee una concentración menor que de aceite esencial.
- iii. Los parámetros de calidad pH y °BRIX poseen una correlación positiva alta, dado que el ángulo entre ambos vectores es menor a 90°, lo que significaría que varían de forma proporcional.
- iv. Existe una correlación inversa entre los parámetros pH y acidez titulable, ya que el ángulo formado entre sus vectores es mayor a 180°, de manera que a medida que la acidez aumenta, el pH disminuye y viceversa.

## 4.5. Vida de anaquel de las fresas.

### 4.5.1. Análisis microbiológico.

Como se indica en el apartado 3.7.1, el análisis microbiológico (recuento total de hongos y levaduras) se realizó a fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento con diferentes formulaciones, siendo F1, F2 y F3 las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano y F4 formulación que contiene sorbato de potasio, los análisis se llevaron a cabo durante los 18 días establecidos como tiempo de estudio, específicamente los días 3, 7, 10, 14 y 18, arrojando los datos que se presentan en la Tabla 3.21 (recuento de hongos), Tabla 3.22 (recuento de levaduras) y Tabla 3.23 (recuento total de hongos y levaduras).

Como se observa en las tablas antes mencionadas para las formulaciones F0 y F1 el análisis microbiológico no se realizó completamente para el tiempo de estudio establecido, debido a que el fruto presentó deterioro microbiológico (hongo) en la superficie, durante los días de análisis.

El deterioro microbiológico (hongo) presentado en fresas sin recubrimiento (F0) se evidenció el día 8 y en fresas con recubrimiento con la formulación F1 fue evidente en el día 10, las fresas para ambas formulaciones presentaron en su superficie un recubrimiento veloso formado capas de color blancuzco. Debido a este deterioro presentado ya no se realizaron análisis microbiológico en los días restantes, ya que la vida de anaquel de las fresas había llegado a su final antes de concluir el tiempo de estudio.

La Figura 4.10 muestra el deterioro microbiológico (hongo) presentado en las fresas sin recubrimiento (F0) y fresas recubiertas con la formulación F1.



*Figura 4.10.* Deterioro microbiológico (hongo) en fresas

Para las fresas recubiertas con las restantes formulaciones (F2, F3 y F4) no presentaron deterioro microbiano que fuera visible durante el tiempo de estudio, por lo que el análisis se realizó en los días establecidos. Sin embargo, las fresas recubiertas con estas formulaciones se dejaron en observación hasta el día 21 (sin realizar análisis microbiológico para este día) no presentando deterioro microbiológico (hongo) visible.

Para determinar si los valores (UFC/g de fresa\*días de observación) arrojados para cada formulación incluyendo F0 y F1 se encuentran dentro de los límites microbiológicos para la inocuidad del producto (fresas), se compara los datos obtenidos con los reportados por Martin Belloso y Soliva Fortuny, (2011), que se muestran en la Tabla 4.16.

**Tabla 4.16.**

*Límites microbiológicos para el deterioro causado por microorganismos (UFC/g) en frutas y hortalizas*

<b>Parámetro</b>	<b>Consumase preferentemente antes de</b>
Levaduras	10 <sup>5</sup>
Hongos	10 <sup>3</sup>

**Fuentes:** (Martin Belloso y Soliva Fortuny, 2011)

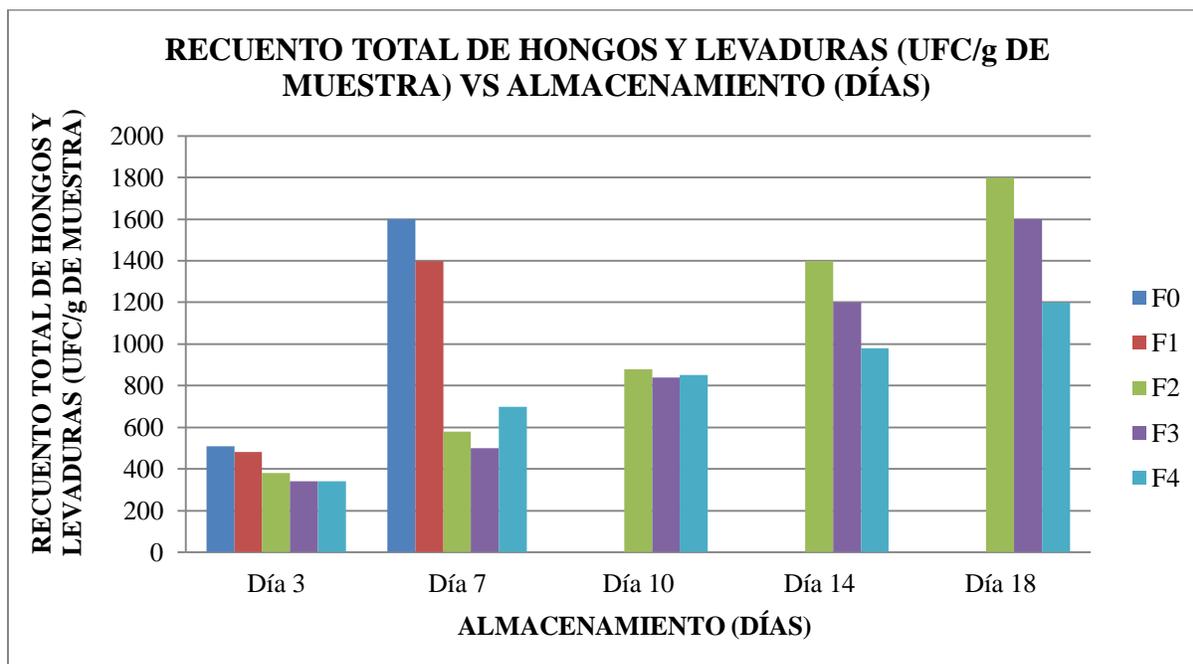
Según la tabla anterior el valor reportado en la columna “consumase preferentemente antes de” indica que por debajo de ese valor la fruta (fresa) no presenta un deterioro lo que se traduce que el alimento no representa un riesgo para la salud, los límites para levaduras y hongos son los siguientes:

- a) Hongos: 10<sup>3</sup> UFC/g = 1,000 UFC/g.
- b) Levaduras: 10<sup>5</sup> UFC/g = 100,000 UFC/g.

Al comparar estos valores con los presentados en la Tabla 3.21 correspondiente al recuento de hongos y Tabla 3.22 correspondiente al recuento de levaduras, se observa que para ambos microorganismos las UFC/g de cada formulación en los días de análisis se encuentran por debajo del límite para ser consumidas. Por lo que se concluye lo siguiente:

- i. La vida de anaquel para fresas sin recubrimiento fue de 7 días, correspondiente a datos obtenidos por el análisis microbiológico y el deterioro visible (hongo) que presento el día 8.

- ii. La vida de anaquel para las fresas con recubrimiento F1 es de 7 días según los resultados obtenidos del análisis microbiológico y de 9 días según el deterioro microbiológico (hongo) visible.
- iii. La vida de anaquel de las fresas con recubrimiento F2, F3 y F4 según los resultados obtenidos por el análisis microbiológico es de 18 días.
- iv. Al comparar la efectividad antimicrobiana presentada por el análisis microbiológico para las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano, se obtuvo que la formulación más efectiva fue F3, seguida de F2 y por último F1.
- v. Al comparar la efectividad antimicrobiana entre la formulación más efectiva que contiene aceite esencial de orégano (F3) con respecto a la formulación que contiene sorbato de potasio (F4), ésta última presenta una mayor efectividad antimicrobiana en el crecimiento de hongos y levaduras en fresas empacadas y almacenadas a temperaturas de refrigeración (véase Figura 4.11).



**Figura 4.11.** Recuento total de hongos y levaduras para fresas en refrigeración

El resumen de la vida de anaquel a través del recuento de hongos y levaduras se presenta en la Tabla 4.17.

**Tabla 4.17.***Vida de anaquel de fresas sin recubrimiento (F0) y fresas con recubrimiento (F1, F2, F3 y F4)*

<b>Formulación (F)</b>	<b>Antimicrobiano</b>	<b>Antimicrobiano (% P/V)</b>	<b>Vida de anaquel (días)</b>
F0	Sin recubrimiento	0	7
F1	Aceite esencial de orégano	0.065	7
F2	Aceite esencial de orégano	0.096	18
F3	Aceite esencial de orégano	0.127	18
F4	Sorbato de potasio	0.10	18

La Tabla 4.18 muestra diferentes recubrimientos comestibles utilizados en fresas para alargar la vida de anaquel.

**Tabla 4.18.***Vida de anaquel de fresas utilizando diferentes recubrimientos comestibles*

<b>Autor</b>	<b>Composición de recubrimiento</b>	<b>Condiciones de almacenamiento</b>	<b>Vida de anaquel</b>
Ruíz Medina, Ávila, y Ruales, (2016)	Almidón de yuca, gelatina vegetal, glicerol, y aceite esencial de canela	Temperatura: 5 °C Humedad relativa: 85 %	7 días
Jima, (2015)	Glucosa, gelatina, tween, ácido cítrico, glicerol	Temperatura: 4 a 5 °C	16 días
Arévalo Alvarenga y otros (2017)	Almidón de sorgo y yuca, glicerol y sorbato de potasio.	Temperatura: 2.7 °C Humedad relativa: 29%	17 días

#### **4.5.2. Análisis sensorial.**

Como se mencionó en el capítulo II, se realizaron dos análisis sensoriales, debido a que se pretendía comparar la aceptabilidad de las fresas recubiertas con la formulación F4 adicionada con sorbato de potasio, que es el antimicrobiano utilizado en la mayoría de recubrimientos comestibles, frente a las fresas recubiertas con aquella formulación que contiene aceite esencial de orégano que permite extender la vida de anaquel (determinada por el análisis microbiológico).

Anteriormente se realizó el análisis de los resultados arrojados por el análisis microbiológico, observándose que la vida útil de las fresas para las formulaciones F2 y F3 es la misma, 18 días. Por lo que se prosiguió a realizar en primera instancia el análisis sensorial para determinar cuál formulación de las antes mencionadas, era la que se compararía con la formulación F4.

A partir de los datos obtenidos a través de los análisis sensoriales mostrados en el capítulo III, se prosiguió a obtener los porcentajes por cada atributo evaluado: sabor, color, olor y textura, según el grado de aceptación de los panelistas, además se calculó la media ponderada para cada formulación, la cual se utilizó para determinar qué formulación era la de mayor preferencia en cada análisis sensorial desarrollado.

### I) Primer análisis sensorial.

#### A. Prueba de aceptabilidad.

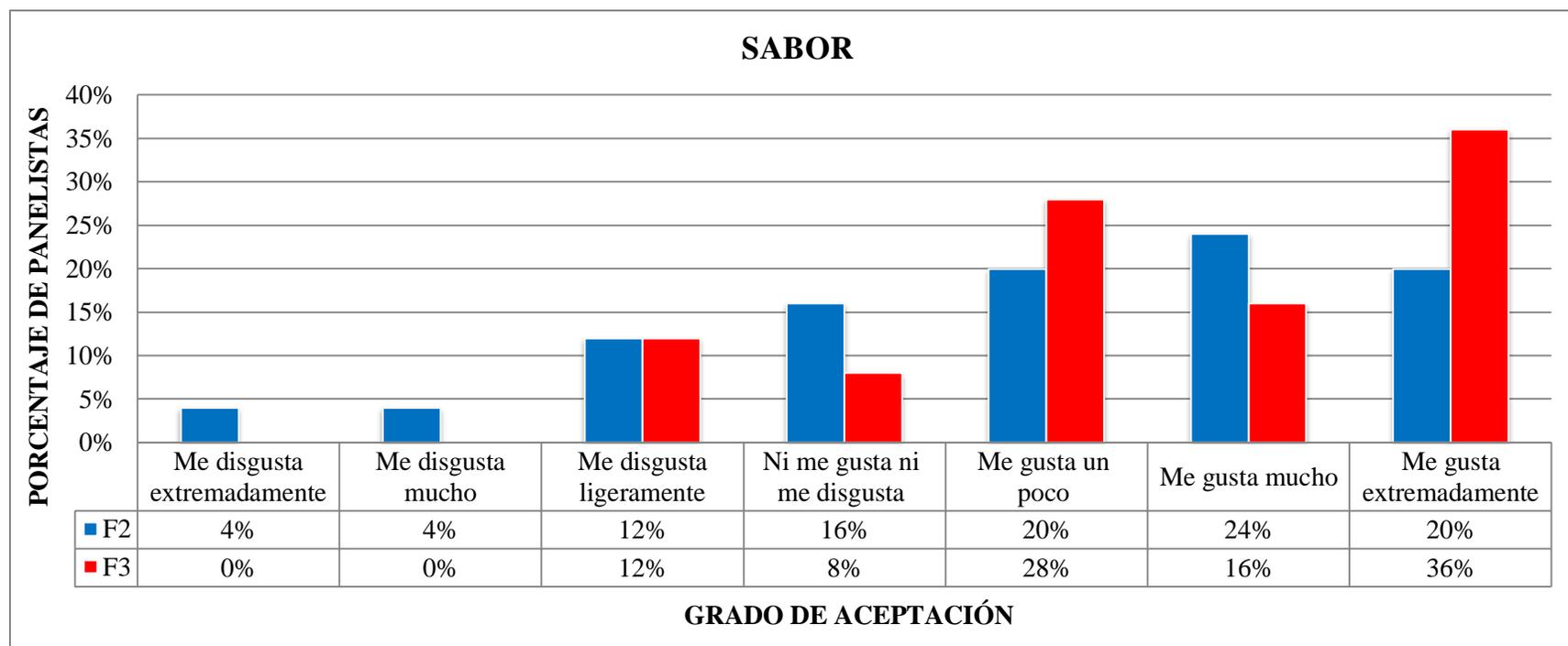
La Tabla 4.19 muestra los porcentajes obtenidos según el grado de aceptación evaluado por los panelistas para el atributo sabor de las formulaciones F2 y F3. Las demás tablas para los restantes atributos se presentan en el Anexo L.

**Tabla 4.19.**

*Resultados del análisis sensorial I para el atributo sabor*

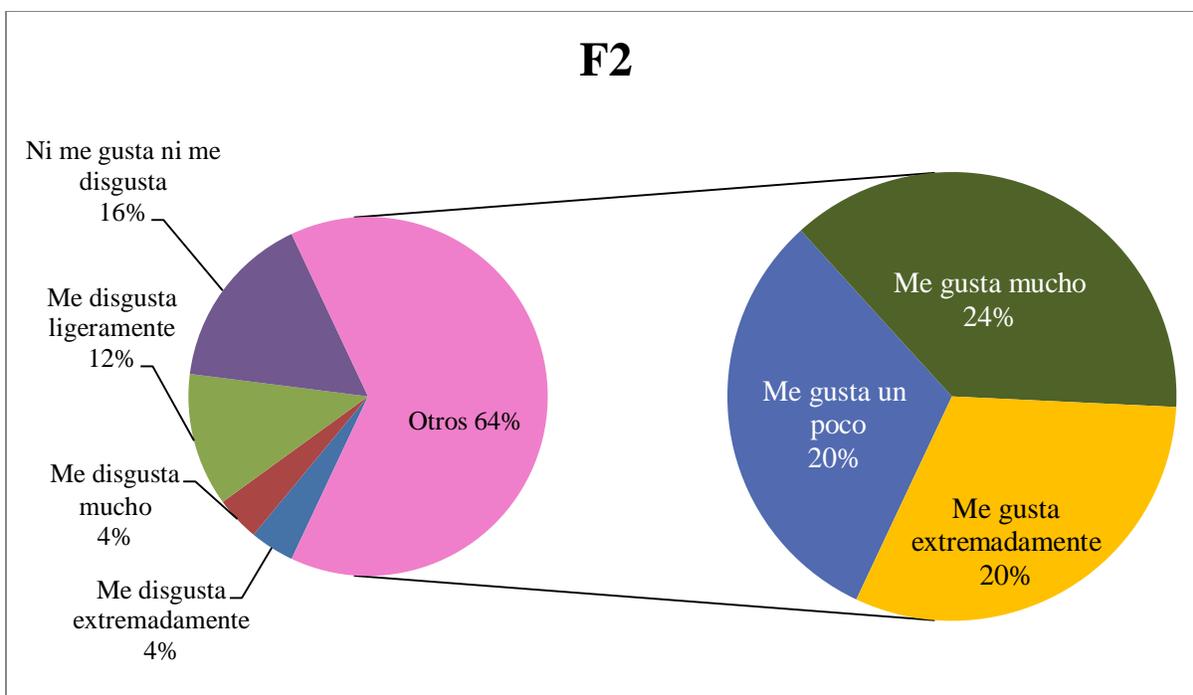
Puntaje	Grado de aceptación	F2			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	1	4%	0.04	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	1	4%	0.08	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	3	12%	0.36	3	12%	0.36
4	Ni me gusta ni me disgusta	4	16%	0.64	2	8%	0.32
5	Me gusta un poco	5	20%	1.00	7	28%	1.40
6	Me gusta mucho	6	24%	1.44	4	16%	0.96
7	Me gusta extremadamente	5	20%	1.40	9	36%	2.52
	TOTAL	25	100%	$\Sigma=4.96$	25	100%	$\Sigma=5.56$
	Media ponderada			$4.96 \approx 5.0$			$5.56 \approx 5.6$

A partir de la tabla anterior se graficaron los porcentajes del atributo evaluado (véase Figura 4.12 a 4.14), las demás figuras de los restantes atributos se presentan en el anexo L.

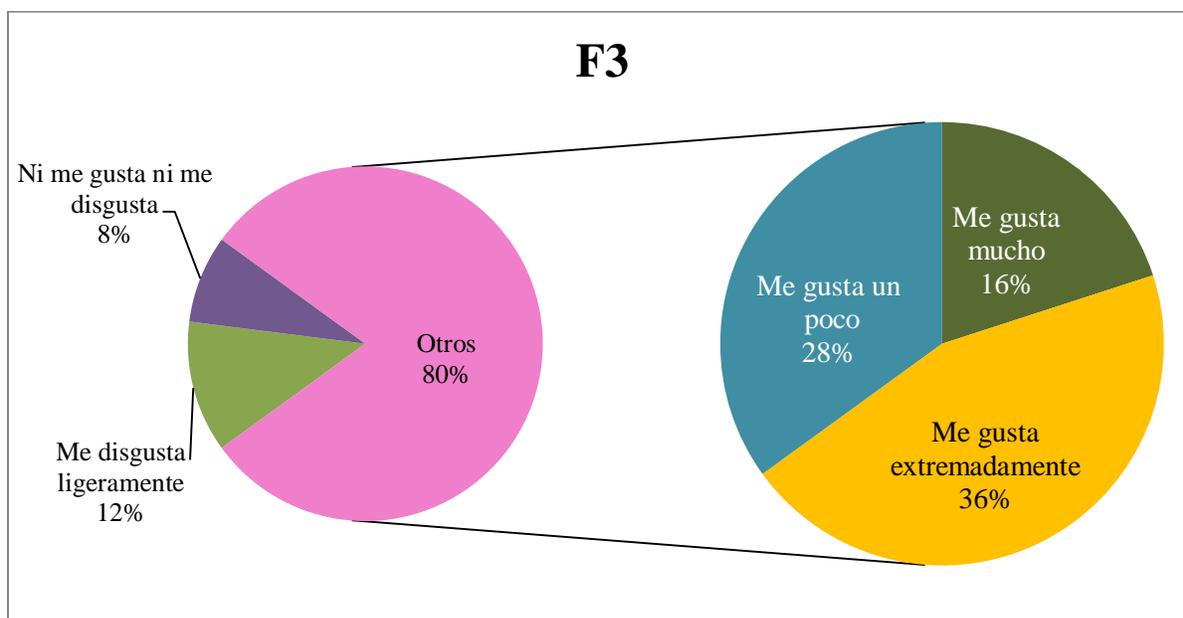


**Figura 4.12.** Frecuencia de respuestas para atributo sabor. Análisis sensorial 1

La figura anterior muestra los porcentajes obtenidos según el grado de aceptación por los panelistas al realizar el análisis sensorial de las fresas recubiertas con la formulación F2 y F3.



**Figura 4.13.** Frecuencia de respuesta para atributo sabor de F2. Análisis sensorial 1



**Figura 4.14.** Frecuencia de respuesta para atributo sabor de F3. Análisis sensorial 1

En las figuras 4.13 y 4.14 se describe la frecuencia de respuestas en la escala hedónica al evaluar las muestras de fresas con la formulación F2 y F3 respectivamente, puede observarse que la mayor parte de las respuestas se ubican en las clasificaciones "Me gusta un poco", "Me gusta mucho" o "Me gusta extremadamente" independientemente de la formulación, éstas clasificaciones se engloban en la categoría "Otros" del gráfico de pastel izquierdo y pueden constatarse con más detalle en el gráfico derecho.

**i. Media ponderada.**

Como se mencionó anteriormente, se utilizó la media ponderada obtenida en cada atributo evaluado para determinar cuál formulación es la más aceptada por la mayoría de los panelistas, la formulación mejor evaluada por los panelistas es aquella que obtuvo un mayor valor en la media ponderada con respecto a la otra formulación evaluada.

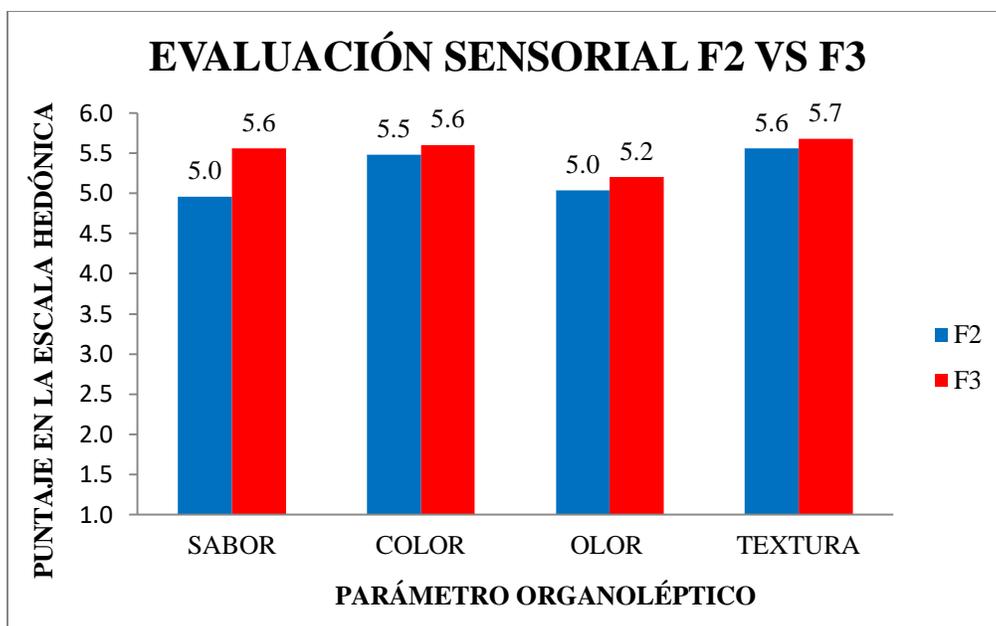
La Tabla 4.20 detalla las puntuaciones medias (ponderadas), asignadas por los panelistas a cada formulación en el análisis sensorial 1.

**Tabla 4.20.**

*Puntuaciones promedio de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para las formulaciones F2 y F3 en el análisis sensorial 1*

<b>Formulación</b>	<b>Sabor</b>	<b>Color</b>	<b>Olor</b>	<b>Textura</b>
F2	5.0	5.5	5.0	5.6
F3	5.6	5.6	5.2	5.7

La Figura 4.15 muestra los valores graficados presentados en la tabla anterior.



*Figura 4.15.* Medias ponderadas para el análisis sensorial 1

En concordancia con la figura anterior, según los panelistas, el color y la textura obtuvieron valores promedio similares, lo que indicaría que la concentración de aceite esencial empleada, no afecta la percepción de dichos parámetros. Los valores más bajos los obtuvo el atributo olor según los panelistas, quienes otorgaron una valoración promedio de 5.0 y 5.2 para las formulaciones 2 y 3 respectivamente. En cuanto al sabor puede observarse una diferencia en promedio de 0.6, a favor de la formulación 3.

De manera general, la muestra mejor evaluada fue F3, la cual contenía la concentración más alta de aceite esencial de orégano.

## ii) Análisis de varianza simple.

Con el objetivo de determinar si las diferencias observadas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras para cada atributo evaluado son significativas, se analizaron los resultados utilizando un análisis de varianza (ANOVA) simple, el cual se resume en la Tabla 4.21

**Tabla 4.21.***Análisis de varianza simple para el análisis sensorial 1*

<b>Parámetro</b>	<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor Critico para F</b>
Sabor	Entre grupos	0.18	1	0.18	0.1358	0.7140	4.0426
	Dentro de los grupos	63.6	48	1.325			
	Total	63.78	49				
Color	Entre grupos	2.13E-14	1	2.13E-14	2.30E-14	0.999	4.0426
	Dentro de los grupos	44.48	48	0.9266			
	Total	44.48	49				
Olor	Entre grupos	0.32	1	0.32	0.1945	0.6611	4.0426
	Dentro de los grupos	78.96	48	1.645			
	Total	79.28	49				
Textura	Entre grupos	0.18	1	0.18	0.1358	0.7140	4.0426
	Dentro de los grupos	63.6	48	1.325			
	Total	63.78	49				

El análisis de la varianza descompone la variabilidad de los datos observados en dos componentes: un componente entre grupos, que cuantifica las diferencias entre las calificación obtenida para las formulaciones que contiene aceite esencial de orégano y una componente dentro de los grupos, que cuantifica las diferencias de la calificación para cada muestra de acuerdo a los panelistas.

El valor de la probabilidad para todos los parámetros supera al nivel de significancia de 0.05 lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de las calificaciones obtenidas, para las muestras con el recubrimiento que contiene aceite esencial de orégano al 0.096% PV y 0.127% PV respectivamente, con un nivel del 95% de confianza.

**B) Prueba de preferencia (preferencia pareada).**

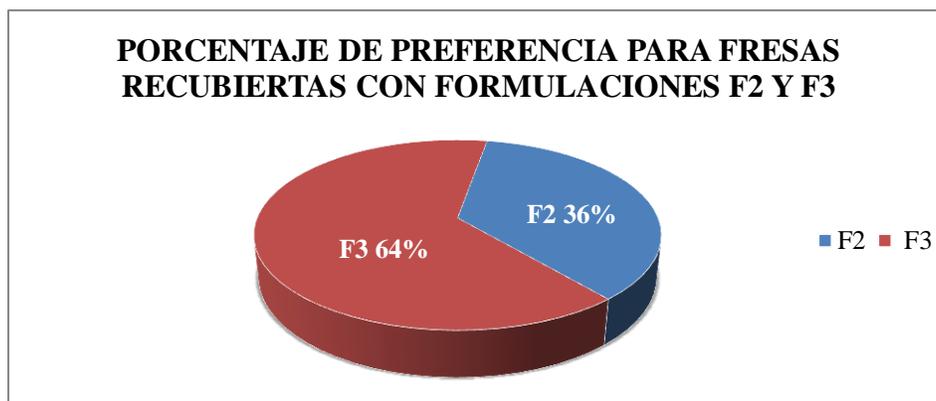
Los datos obtenidos con respecto a las preferencias de los panelistas para cada muestra se presentan en la Tabla 4.22.

**Tabla 4.22.**

*Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 1*

<b>Código de la muestra</b>	<b>Formulación (F)</b>	<b>Total de panelistas que prefieren la muestra</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
251	F2	9	36%
198	F3	16	64%

Como puede observarse en la Figura 4,16 el 64% de los panelistas indicaron que preferían la muestra con la formulación F3, es decir aquella que contenía la concentración más alta de aceite esencial de orégano.



**Figura 4.16.** Porcentaje de preferencia para las muestras de fresas en el análisis sensorial 1

**i. Prueba binomial de dos extremos.**

La prueba binomial de dos extremos permite determinar si el resultado del estudio es debido al azar o los panelistas realmente percibieron diferencias entre las muestras, basándose en el número de preferencias.

Siguiendo la metodología empleada por (B.M Watts, G.L. Ylimaki, L.E. Jeffery, L.G. Elías, 1995) para la prueba binomial de dos extremos, primero se suma el número de panelistas que prefieren cada muestra y luego se determina la significancia de los totales, empleando la Tabla L.9 del Anexo L. En esta tabla, “X” representa el número total de panelistas que prefieren una muestra y “n” representa el número total de panelistas que participan en la prueba.

En la Tabla 4.23 se muestran los valores de “X” y “n” para el primer análisis sensorial.

**Tabla 4.23.**

*Valores de “X” y “n” para el análisis sensorial I*

Código de la muestra	Formulación (F)	Valor de “X”	Valor de “n”
198	F3	16	25

Con los valores de “X” y “n” definidos, se utiliza la Tabla L.9 del Anexo L para determinar la probabilidad asociada a los valores de “X” y “n”, estos valores se presentan en la Tabla 4.24.

**Tabla 4.24.**

*Determinación de la probabilidad de X o más juicios concordantes en n pruebas correspondiente al primer análisis sensorial*

Código de la muestra	Formulación (F)	Valor de “X”	Valor de “n”	Valor de “p”
198	F3	16	25	0.230

Dado que es necesaria una probabilidad de 0,05 o menos, para que el resultado se pueda considerar significativo, la prueba binomial de dos extremos evidencia que:

De acuerdo a los resultados del primer análisis sensorial, la concentración de aceite esencial de orégano utilizada en el recubrimiento no afecta la preferencia de las fresas, ya que no existe una diferencia significativa entre el número de panelistas que prefirieron la muestra con la concentra-

ción más alta de aceite esencial de orégano (F3) y aquellos optaron por la formulación con menor concentración de aceite (F2).

## II) Segundo análisis sensorial.

### A. Prueba de aceptabilidad.

En concordancia con el capítulo II, con el fin de determinar la vida útil de las fresas recubiertas, en la segunda prueba sensorial, se estableció un total de 6 tiempos de muestreo, evaluando los días 3, 7, 10, 14, 18 y 21 para ambas muestras. Asimismo, fue fijado como criterio de falla el punto en el que el 10% de la población de un tiempo de muestreo otorgue una puntuación menor o igual a 2 en la escala hedónica de 7 puntos, al atributo “sabor” para la muestra que incorpora aceite esencial de orégano (formulación F3).

Los resultados de esta evaluación pueden verse en la Tabla 4.25 para el atributo sabor. Las demás tablas para los restantes atributos se presentan en el Anexo L.

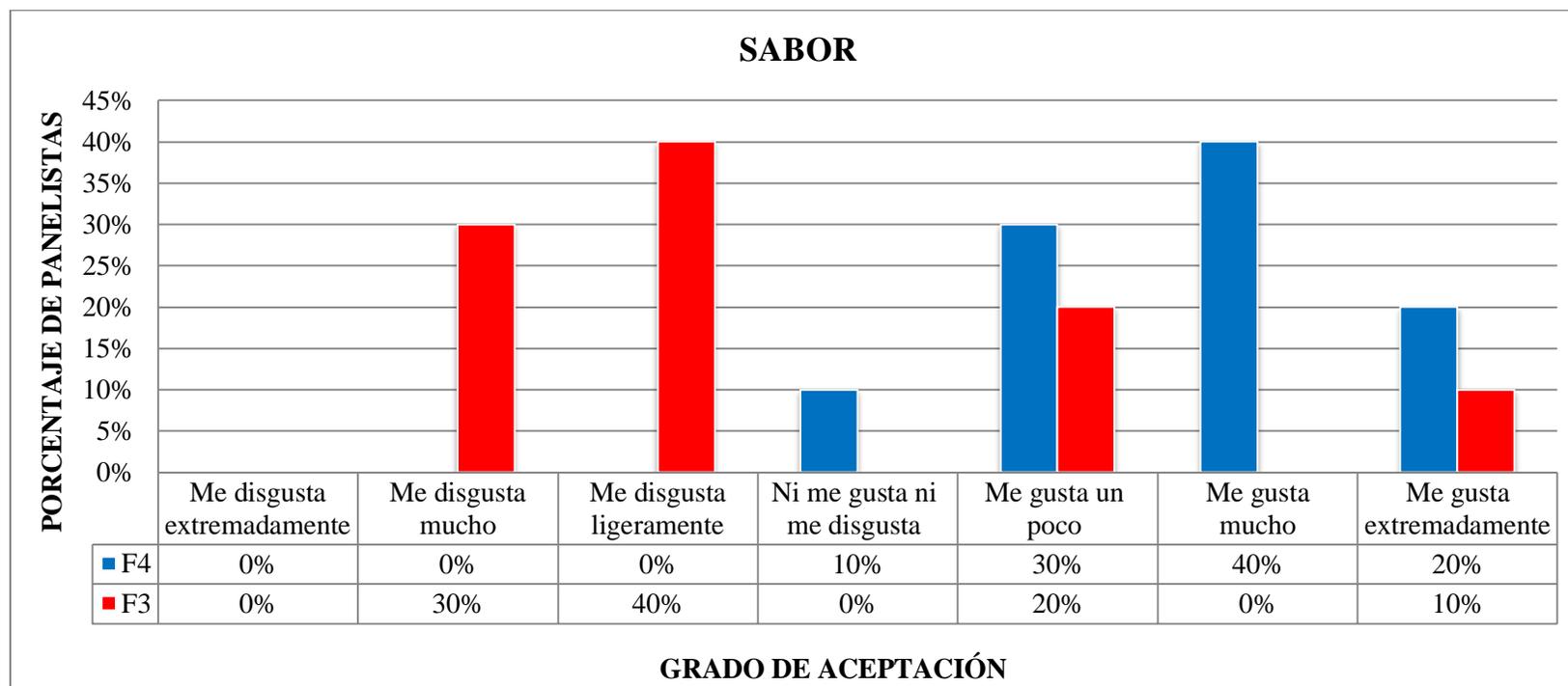
**Tabla 4.25.**

*Resultados del análisis sensorial 2 para el atributo sabor*

Puntaje	Grado de aceptación	F4			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	3	30%	0.60
3	Me disgusta ligeramente	0	0%	0.00	4	40%	1.20
4	Ni me gusta ni me disgusta	1	10%	0.40	0	0%	0.00
5	Me gusta un poco	3	30%	1.50	2	20%	1.00
6	Me gusta mucho	4	40%	2.40	0	0%	0.00
7	Me gusta extremadamente	2	20%	1.40	1	10%	0.70
	TOTAL	25	100%	$\Sigma= 5.70$	25	100%	$\Sigma= 3.50$
	Media ponderada:			5.7			3.5

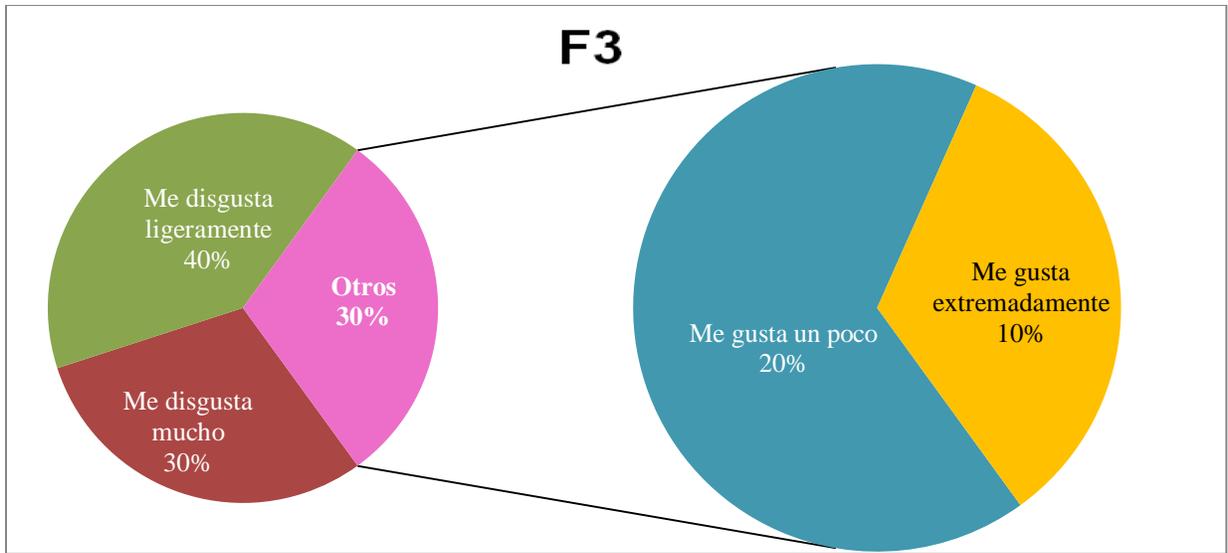
En la tabla anterior se constata que el 30% de los panelistas asignaron una puntuación igual a 2, estableciendo así el punto final del sensorial en el día 3 debido a la disminución específica de la aceptabilidad.

A partir de la tabla anterior se graficaron los porcentajes del atributo evaluado (véase Figura 4.17 a 4.19) para una mejor visualización de los datos obtenidos. Las demás figuras de los restantes atributos se presentan en el Anexo L.

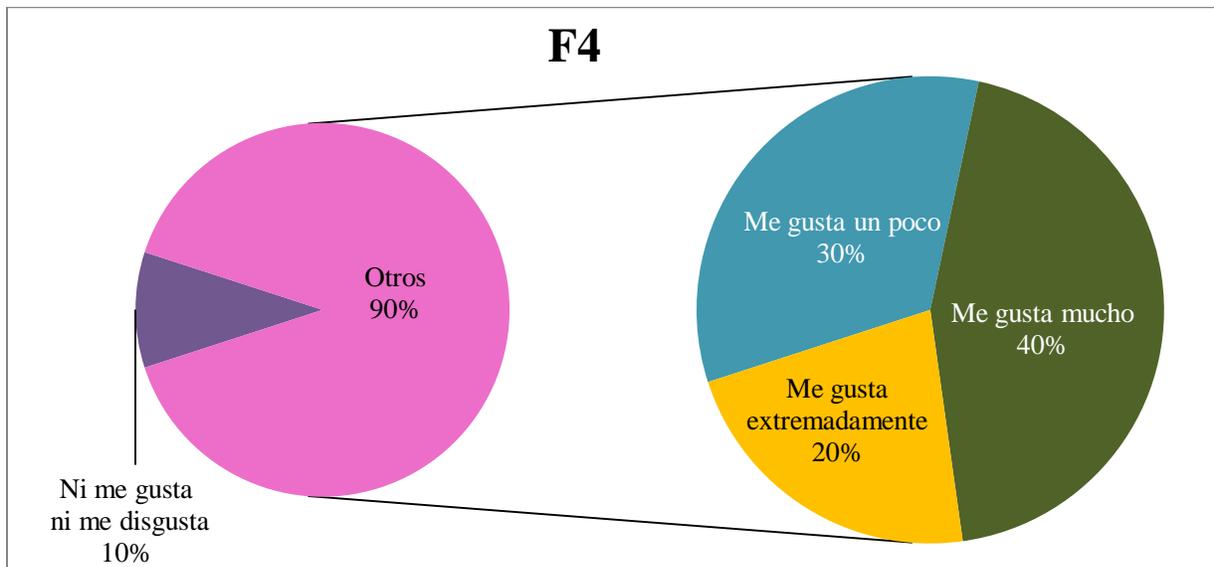


**Figura 4.17.** Frecuencia de respuesta para atributo sabor. Análisis sensorial 2

La figura anterior muestra los porcentajes obtenidos según el grado de aceptación por los panelistas al realizar el análisis sensorial de las fresas recubiertas con las formulaciones F3 y F4.



**Figura 4.18.** Frecuencia de respuesta para tributo sabor de F3. Análisis sensorial 2



**Figura 4.19.** Frecuencia de respuesta para atributo sabor de F4. Análisis sensorial 2

En las figuras 4.18 y 4.19 se detalla la frecuencia de respuestas en la escala hedónica al evaluar las muestras de fresas con la formulación 4 y 3 respectivamente, se observa que para el atributo sabor el porcentaje de panelistas que evaluaron positivamente la muestra con sorbato de potasio (otros = 90%) es mayor que el de la muestra conteniendo aceite esencial de orégano (otros = 30%).

**i. Media ponderada.**

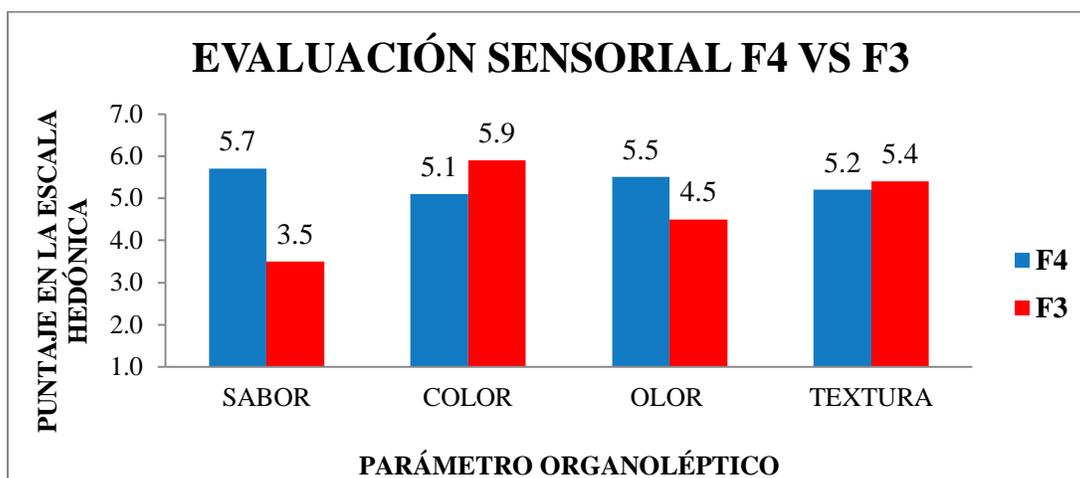
La Tabla 4.26 detalla las puntuaciones medias (ponderadas), asignadas por los panelistas a cada formulación en el análisis sensorial 2.

**Tabla 4.26.**

*Puntuaciones promedio de las características sensoriales de sabor, color, olor y textura para las formulaciones F4 y F3 en el análisis sensorial 2*

Formulación (F)	Sabor	Color	Olor	Textura
F4	5.7	5.1	5.5	5.2
F3	3.5	5.9	4.5	5.4

La Figura 4.20 muestra los valores graficados presentados en la tabla anterior.



**Figura 4.20.** Medias ponderadas para el análisis sensorial 2

El parámetro sensorial limitante de la vida útil fue el sabor, y de acuerdo a los panelistas se valoró con un promedio de 3.5, dentro del rango “Me disgusta ligeramente” y “Ni me gusta ni me disgusta”. Los valores más bajos los obtuvo la formulación F3 en los parámetros de sabor y olor, lo que evidencia que dichos parámetros se ven afectados en el fruto con la incorporación del aceite esencial de orégano en el recubrimiento. A nivel de textura, las dos muestras están muy cercanas, con promedios de 5.2 y 5.4 para F4 y F3 respectivamente, en cuanto al color, ambas muestras tienen promedios por encima de 5 que se ubican en la clasificación de “Me gusta un poco”.

**ii. Análisis de varianza simple.**

En la Tabla 4.27 se presenta el análisis de varianza (ANOVA) simple para el análisis sensorial 2.

**Tabla 4.27.**

*Análisis de varianza simple para análisis sensorial 2*

<b>Parámetro</b>	<b>Origen de las variaciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor Critico para F</b>
Sabor	Entre grupos	24.2	1	24.20	13.3619	0.0018	4.4138
	Dentro de los grupos	32.6	18	1.80			
	Total	56.8	19				
Color	Entre grupos	3.5	1	3.55	3.3684	0.0851	4.4939
	Dentro de los grupos	16.8	16	1.05			
	Total	20.4	17				
Olor	Entre grupos	5	1	5	2.5714	0.1262	4.4138
	Dentro de los grupos	35	18	1.94			
	Total	40	19				
Textura	Entre grupos	1.4	1	1.38	0.7194	0.4088	4.4939
	Dentro de los grupos	30.9	16	1.93			
	Total	32.3	17				

Puesto que el valor de la probabilidad, para el parámetro “sabor” es menor que 0.05 (para un nivel de significación del 5%), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificaciones obtenidas para las formulaciones F4 y F3.

En cuanto a los parámetros “color”, “olor” y “textura”, éstos presentan un valor de probabilidad superior a 0.05 por los que se concluye que para un nivel de confianza del 95%, no existe una diferencia significativa entre las medias de las calificaciones de acuerdo al tipo de formulación.

### B. Prueba de preferencia (preferencia pareada).

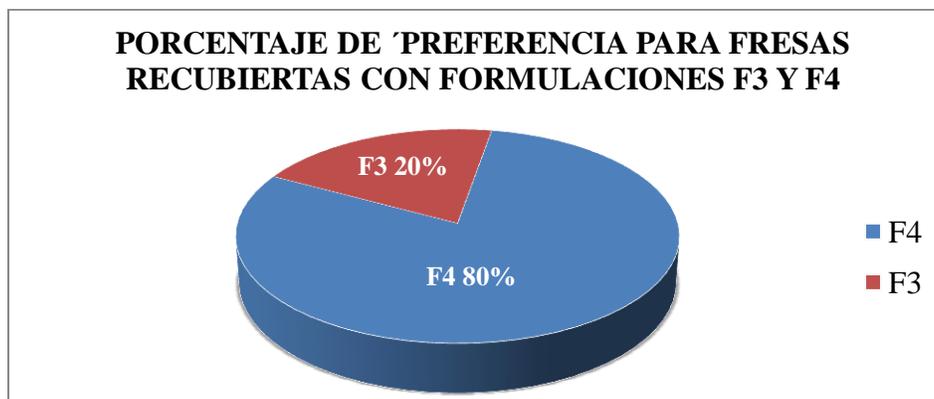
Los datos obtenidos con respecto a las preferencias de los panelistas para cada muestra se presentan en la Tabla 4.28.

**Tabla 4.28.**

*Resultados de la prueba de preferencia pareada en el análisis sensorial 2*

Código de la muestra	Formulación (F)	Total de panelistas que prefieren la muestra	Porcentaje (%)
989	F4	8	80%
512	F3	2	20%

En la Figura 4.21 puede observarse que el 80% de los panelistas indicó que preferían la muestra con la formulación que contenía sorbato de potasio como inhibidor microbiano (F4) y solo un 20% prefirió la muestra con el recubrimiento que incorporaba aceite esencial de orégano (F3).



**Figura 4.21.** Porcentaje de preferencia para las muestras de fresas en el análisis sensorial 2

**i. Prueba binomial de dos extremos.**

Se realiza el mismo procedimiento del análisis sensoria 1.

En la Tabla 4.29 se presentan los valores de “X” y “n” para el segundo análisis sensorial.

**Tabla 4.29.**

*Valores de “X” y “n” para análisis sensorial 2*

<b>Código de la muestra</b>	<b>Formulación (F)</b>	<b>Valor de “X”</b>	<b>Valor de “n”</b>
989	F4	8	10

La Tabla 4.30 se presenta la probabilidad asociada a “X” y “n”.

**Tabla 4.30.**

*Determinación de la probabilidad de X o más juicios concordantes en n pruebas correspondiente al análisis sensorial 2*

<b>Código de la muestra</b>	<b>Formulación (F)</b>	<b>Valor de “X”</b>	<b>Valor de “n”</b>	<b>Valor de “p”</b>
989	F4	8	10	0.109

Dado que es necesaria una probabilidad de 0.05 o menos, para que el resultado se pueda considerar significativo, la prueba binomial de dos extremos evidencia que:

- Con respecto a los resultados del segundo análisis sensorial, la muestra cuya formulación contenía sorbato de potasio no fue significativamente más preferida que la muestra que incorporaba aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano. Es decir que, el tipo de inhibidor microbiano adicionado en el recubrimiento no disminuye de forma considerable la probabilidad de que una persona prefiera esa fresa.

## CONCLUSIONES

1. A través de la aplicación del método de hidrodestilación, se obtuvo un producto con una densidad de  $913.10 \text{ kg/m}^3$ , índice de refracción de 1.4991, grupos funcionales como fenoles y anillos aromáticos, rendimiento de 1.1324%, color amarillo y olor característico a orégano, evidenciándose de esta manera que el producto obtenido posee propiedades características del aceite esencial de orégano.
2. Al realizar el proceso de extracción del almidón de plátano verde a través del método seco a nivel de laboratorio se obtuvo un polvo fino de color amarillo pálido, con un rendimiento del 4.4678 %, se prosiguió con la caracterización del mismo presentando una pureza de 79.18%, pH de 5.9, 0.0474% de acidez titulable con respecto al ácido sulfúrico, índice de absorción de agua de 1.8903, poder de hinchamiento de 1.9050 e índice de solubilidad en agua de 0.7711, siendo las propiedades antes mencionadas características del almidón de plátano verde.
3. Para determinar la proporción almidón - glicerina a utilizar con la adición de los diferentes antimicrobianos (aceite esencial de orégano y sorbato de potasio) se realizó una prueba piloto con tres formulaciones, ésta prueba a través de diferentes análisis que se realizaron durante siete días de observación concluyó que la formulación que presentaba mejores características como biopelícula y como recubrimiento en fresas, es la formulación FP1: almidón (3.75%P/V) y glicerina (3%P/V).
4. La prueba de permeabilidad al vapor de agua indica que la formulación que presenta las mejores características como regulador de la migración de humedad, es decir, aquella menos permeable, es la formulación F4, la cual contiene sorbato de potasio; en cuanto a las formulaciones adicionadas con aceite esencial de orégano, la que presentó el valor más bajo de permeabilidad es F1, seguida de F3 y F2; no obstante las 3 formulaciones antes mencionadas tuvieron una permeabilidad al vapor de agua superior a la formulación que incorpora sorbato de potasio, por lo que se concluye que la presencia de aceite esencial de orégano aumenta la permeabilidad del recubrimiento.

5. La solubilidad en agua de los recubrimientos que incorporan aceite esencial de orégano disminuye a medida que la concentración de éste aumenta, esto se atribuye al carácter hidrofóbico del aceite, de manera que la formulación menos soluble y la que más contribuye a la conservación del fruto bajo las condiciones de refrigeración, es F3, seguida de F2 y F1 con porcentajes de solubilidad de 48.20%, 50.27%, 54.89% respectivamente. La formulación más soluble es F4 con un 55.97%, corroborando lo concluido por otros autores: que en presencia de sorbato se produce una estructura menos organizada que resulta en valores mayores de solubilidad.
6. En esta investigación todas las biopelículas formuladas son completamente biodegradables y su tiempo de desintegración física oscila entre 24 y 27 días.
7. Del análisis exploratorio por medio de componentes principales utilizando el programa InfoStatE/ se infiere que tanto las fresas sin recubrimiento (F0), como aquellas recubiertas con la formulación que posee la menor concentración de aceite esencial de orégano (F1) tienen una respuesta similar en la evaluación de los parámetros de calidad: poseen las mayores pérdidas de peso, los valores más altos de pH y °BRIX, lo cual indica que la concentración mínima utilizada (0.65 mg/mL) no contribuye de manera significativa en la preservación de las fresas empacadas.
8. Referente a los sólidos solubles totales, aunque no se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las formulaciones, pudo observarse que, en las fresas recubiertas los °Brix presentaron un comportamiento más estable (incrementos menores) comparado con las fresas sin recubrir, éstas últimas evidenciaron una pérdida de humedad mayor debido a que los azúcares en presencia de oxígeno se convierten en CO<sub>2</sub> y agua.
9. Para todas las formulaciones, la pérdida fisiológica de peso de los frutos aumentó a través el tiempo de almacenamiento como consecuencia de la transpiración. El análisis de varianza de dos factores indicó que hay diferencias significativas en la pérdida de peso de-

bidas al tipo de recubrimiento empleado, siendo más evidente en las formulaciones que contiene aceite esencial de orégano, ya que al incorporar una mayor concentración de este antimicrobiano las fresas presentaron una disminución en la pérdida de peso, de tal forma que la formulación F3 presentó el valor más bajo de pérdida de peso (12.50%) frente a las demás formulaciones que contienen aceite esencial de orégano e inclusive frente a la que contiene sorbato de potasio (F4). Esto se explica debido a que el aceite por su naturaleza hidrofóbica actúa como una barrera física para la pérdida de humedad.

10. En cuanto al pH y acidez titulable se presentaron valores muy similares entre formulaciones, el análisis estadístico de los datos indicó que para un nivel de confianza del 95% no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de acidez titulable y de pH de acuerdo al tipo de formulación empleada, por lo anteriormente expuesto se concluye que la adición de aceite esencial de orégano en los recubrimientos no altera el comportamiento del pH y la acidez titulable en las fresas empacadas.
11. El análisis microbiológico de recuento de hongos, realizado el último día de estudio (día 18) a las fresas con recubrimiento con las diferentes formulaciones reportan un valor aceptable dentro del rango reportado por Martin Belloso y Soliva Fortuny, (2011). Es decir, F2 (500 UFC/g de fresa), F3 (400 UFC/g de fresa) y F4 (200 UFC/g de fresa), cumpliendo con los parámetros microbiológicos aceptables para que el alimento no represente riesgo a la salud humana.
12. El análisis microbiológico de recuento de levaduras, realizado el último día de estudio (día 18) a las fresas con recubrimiento con las diferentes formulaciones reportan un valor aceptable dentro del rango reportado por Martin Belloso y Soliva Fortuny, (2011). Es decir, F2 (1300 UFC/g de fresa), F3 (1200 UFC/g de fresa) y F4 (1000 UFC/g de fresa), cumpliendo con los parámetros microbiológicos aceptables para que el alimento no represente riesgo a la salud humana.
13. La vida de anaquel a través del análisis microbiológico para las fresas sin recubrimiento F0 fue de 7 días, al igual que las fresas con recubrimiento con la formulación F1, debido

a que estas muestras presentaron deterioro microbiano visible (hongos) antes del análisis microbiológico correspondiente al día 10.

14. Los análisis microbiológicos (recuento total de hongos y levaduras) realizados el último día de estudio (día 18) a las fresas con recubrimiento con las formulaciones F2, F3 y F4, reportan un valor aceptable dentro del rango reportado por Martin Belloso y Soliva Fortuny, (2011), por lo tanto la vida de anaquel de las fresas recubiertas con las formulaciones antes mencionadas corresponde a 18 días.
15. El incremento de la concentración de aceite esencial de orégano (0.065 %P/V, 0.096% P/V, 0.127 %P/V) en las formulaciones F1, F2 y F3 respectivamente, aumentó la capacidad inhibitoria de hongos y levaduras en fresas.
16. La dosis de aceite esencial de orégano que mejor resultados presentó en la preservación de fresas empacadas en condiciones de refrigeración fue de 1.27 mg/mL, que corresponde a la formulación F3 con un 3.75% P/V de almidón y 3% P/V de glicerina.
17. Al comparar la efectividad antimicrobiana por medio del recuento total de hongos y levaduras en fresas empacadas y almacenadas a 3°C, la formulación que contiene sorbato de potasio (F4) presentó una mayor inhibición en el crecimiento de estos microorganismos presentando 400 UFC/g de fresa, menos que los obtenidos por la formulación que contiene la mayor concentración de aceite esencial de orégano F3.
18. El recubrimiento que incluye sorbato de potasio (F4) es microbiológicamente más efectivo presentando 1200 UFC/g de fresa como recuento total de hongos y levaduras que las formulaciones que contienen aceite esencial de orégano (F2: 1800 UFC/g de fresa y F3: 1600 UFC/g de fresa), sin embargo es posible utilizar éste aditivo natural como alternativa en la conservación de alimentos, ya que los valores del recuento de hongos y levaduras se encuentran dentro del rango de aceptabilidad para que el alimento no represente riesgo a la salud humana, cumpliendo así con las expectativas de aquellos consumidores que demandan alimentos mínimamente procesados y libres de aditivos sintéticos.

19. El parámetro sensorial limitante de la vida útil fue el sabor, y de acuerdo a los panelistas para la formulación F3 éste se valoró con un promedio de 3.5, dentro del rango de “Me disgusta ligeramente” y “Ni me gusta ni me disgusta”. Debido a la disminución específica de la aceptabilidad, se estableció el fin de la vida de útil sensorial en el día 3.
20. Al analizar los resultados de la prueba de aceptabilidad mediante la técnica de varianza simple (ANOVA), se observó que los parámetros “color”, “olor” y “textura” presentan un valor de probabilidad superior a 0.05, indicando que para un nivel de confianza del 95%, no existe una diferencia significativa entre las medias de las calificaciones obtenidas para las formulaciones F3 y F4, la usencia de éstas diferencias indica que éstos parámetros no se ven alterados con la incorporación del aceite esencial de orégano al recubrimiento.
21. El parámetro “sabor” con una probabilidad menor al 5%, sí representa diferencias estadísticamente significativas, se considera que, debido a la intensidad característica del aceite esencial de orégano, la presencia de éste en las formulaciones le confiere un sabor particular al fruto que lo diferencia de una fresa común.
22. A partir del análisis de los resultados obtenidos en la prueba de preferencia pareada entre las formulaciones F3 y F4, se concluye que la muestra cuya formulación contenía sorbato de potasio no fue significativamente más preferida que la muestra que incorporaba aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano, es decir que, el tipo de inhibidor microbiano adicionado en el recubrimiento no disminuye de forma significativa la probabilidad de que una persona escoja ese fruto.

## RECOMENDACIONES

1. Durante la realización de la investigación se utilizó el método de hidrodestilación para la extracción del aceite esencial de orégano, presentando un rendimiento de 1.1324 %, por lo que se sugiere utilizar otro método de extracción que aumente el rendimiento, evaluando también su factibilidad económica.
2. En esta investigación se utilizó el método seco para la extracción del almidón de plátano verde, presentando un rendimiento de 4.4678%, por lo que se recomienda mejorar el proceso o utilizar otro método que logre aumentar el rendimiento.
3. Realizar análisis al aceite esencial de orégano que permitan cuantificar la cantidad de compuestos que presentan actividad antimicrobiana como el carvacrol y timol.
4. Evaluar la rentabilidad del proceso de obtención tanto de las materias primas (aceite esencial de orégano y almidón de plátano verde) como del producto terminado (fresa recubierta) sobre la base de la comparación de los costos y beneficios que genera el proyecto a lo largo de su vida útil.
5. Realizar un recuento de microorganismos aerobios mesófilos al producto final, ya que permite conocer las condiciones higiénicas del proceso de elaboración.
6. Elaborar un plan de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), Análisis de Peligro y Puntos Críticos de Control (HACCP) que aseguren la inocuidad del producto, concentrándose en la inocuidad alimentaria, la higiene y forma de manipulación.
7. Evaluar la aplicabilidad del recubrimiento elaborado con la formulación F3 compuesta por almidón de plátano verde (3.75%P/V), glicerina (3%P/V) y aceite esencial de orégano (0.127%P/V) en otras frutas o verduras, en donde el sabor característico del orégano potencie las propiedades organolépticas intrínsecas de las mismas.

8. Se recomienda que en estudios posteriores se realice una evaluación sensorial con un mayor número de jueces con el fin de emitir una percepción más significativa acerca del grado de aceptación del recubrimiento.
9. Comparar los productos que incluyen conservantes naturales tales como el aceite esencial de orégano con otros que ya se comercializan en el mercado.
10. Determinar la viabilidad técnica y financiera de la creación de una planta productora de alimentos hortofrutícolas recubiertos con biopelículas comestibles.
11. Evaluar el uso de otros aceites esenciales en el recubrimiento de fresas que no afecte las propiedades organolépticas propias de dicho fruto.

## GLOSARIO

### A

**ACAME:** Doblez o inclinación que sufre el tallo de las plantas, debido a la acción del viento o a que alcanzado su madurez y no se le corta.

**AMORFO:** Partículas que conforman que carecen de una estructura ordenada.

**ANTIMICROBIANO:** Que impide la formación o el desarrollo de los microbios.

**ANTRACNOSIS:** Es un síntoma de enfermedad de las plantas de zonas calurosas y húmedas, causada por un hongo que puede ser generalmente de los géneros *Colletotrichum*, *Gloeosporium*, o la especie *Coniothyrium fuckelii*.

**AQUENIOS:** Término botánico que debería aplicarse exclusivamente a un fruto seco derivado de un ovario supero, indehiscente, monocarpelar y con la semilla no adherida al pericarpio.

**ARCOSENO:** Función inversa del seno de un ángulo

### B

**BACTERIOCINAS:** Son péptidos sintetizados por algunas bacterias ácido lácticas y presentan un amplio potencial como conservadores para inhibir el crecimiento de otros microorganismos.

**BIESPACIAL:** Biplot

**BIPLOT:** Representación gráfica de datos multivariantes en dos o tres dimensiones.

**BIRREFRINGENCIA:** Propiedad óptica de ciertos cuerpos, que consiste en desdoblarse un rayo de luz incidente en dos rayos linealmente polarizados de manera perpendicular entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos.

***Botrytis cinerea*:** Hongo necrotrófico, es decir, que se alimenta y parasita el huésped produciendo toxinas y otros componentes que destruyen las células del huésped, de esta manera pueda alimentarse de los restos de las células muertas.

# C

**CALIDAD:** Grado en el que un conjunto de características inherentes a un objeto (producto, servicio, proceso, persona, organización, sistema o recurso) cumple con los requisitos.

**CARBOXIMETILCELULOSA:** Aditivo alimentario, polvo granulado o fibroso, de color blanco, ligeramente amarillento o incluso grisáceo, es ligeramente higroscópico, inodoro e insípido.

**CERAS CUTICULARES:** Mezclas complejas de acilglicéridos de cadena larga, que las vuelve extremadamente hidrofóbicas.

**CONCENTRACIÓN MÍNIMA INHIBITORIA (CMI):** Es la mínima cantidad de antimicrobiano que es capaz de impedir el crecimiento de un microorganismo en unas condiciones normalizadas.

**CONIDIAS:** Son esporas asexuales no móviles, que se forman (exógenamente) en el ápice o en el lado de una célula esporógena

# F

**FENOLES:** Compuestos orgánicos aromáticos que en su estructura y fórmula química poseen el grupo hidroxilo.

# G

**GRAM NEGATIVOS:** Conjunto de bacterias que al ser teñidas por la técnica de tinción de Gram, adquieren una coloración rosada que las diferencia de las gram-positivas, que se colorean, por la misma técnica, en morado.

# H

**HIDROCOLOIDES:** Son sustancias que cuando se disuelven o dispersan en agua producen espesamiento o gelificación.

**HIDROFÍLICO:** Sustancia que tiene afinidad con el agua.

**HIDROFÓBICO:** Sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella.

## I

**INOCUIDAD:** Conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud.

**INTERFACIAL:** Superficie de contacto entre dos medios.

## M

**MAÍZ CÉREO:** Tipo de maíz que se caracteriza por un alto contenido de amilopectina en su almidón (98-99%) y un porcentaje de amilosa de 1-2%.

**MICELIO:** Conjunto de hifas que forman la parte vegetativa de un hongo.

## P

**PELÍCULA COMESTIBLE:** Capa delgada de material comestible formada sobre un alimento como un recubrimiento, o colocada (lo que implica que debe ser preformada) sobre o entre los componentes de los alimentos

**PITTING:** Depresiones superficiales en la cáscara de la fruta.

**POLIOLES:** Son alcoholes con más de dos grupos hidroxilo.

**POSTCOSECHA:** El periodo que transcurre desde el momento mismo en que el producto es retirado de su fuente natural hasta el momento en que es consumido bajo su forma original o sometido a la preparación culinaria o al procesamiento y transformación industrial se conoce

**PROPÓLEO:** Sustancia resinosa, balsámica, de color amarillo pardo, verde pardo, castaño o incluso casi negro, dependiendo de su origen botánico.

**PRUEBA BINOMIAL:** Compara las frecuencias observadas de las dos categorías de una variable dicotómica con las frecuencias esperadas en una distribución binomial con un parámetro de probabilidad especificado.

## R

***Rhizopus stolonife:*** Hongo miembro de *Zygomycota* se considera la especie más importante del género *Rhizopus*. Es un agente común de descomposición de los alimentos almacenados.

## S

**SÁPIDO:** Sustancia que tiene algún sabor.

**SENESCENCIA:** Envejecimiento de las células de los tejidos del fruto.

**SUSTANCIA SEGURA GRAS:** Sustancias añadida intencionalmente a los alimentos que no requieren una revisión formal previa a la comercialización por la FDA para garantizar su seguridad, debido a que su seguridad ha sido establecida por una larga historia de uso en alimentos.

## T

**TRANSMITANCIA:** Es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra.

**TERPENOS:** Son compuestos orgánicos aromáticos y volátiles que están constituidos por la unión de unidades de un hidrocarburo de 5 átomos de carbono, llamado isopreno.

## V

**VIDA DE ANAQUEL:** Período en el cual un alimento mantiene características sensoriales y de seguridad aceptables para el consumidor, almacenado bajo condiciones óptimas preestablecidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Zamudio-Flores, P. B., Romero-Bastida, C. A. y Bello-Perez, L. A. (2011). Antimicrobianos en películas de almidón oxidado de plátano: Efecto sobre la actividad antibacteriana, microestructura, propiedades mecánicas y de barrera. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 445-453. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62021054010>.
- Aguayo, A. G. (2016). *La fisiología y bioquímica pre y post cosecha de productos hortofrutícolas*. 39-41. Obtenido de: <https://es.scribd.com/document/314835943/La-Fisiologia-y-Bioquimica-Pre-y-Post-Cosecha-de-Productos-Hortofruticolas>.
- Albado Plaus, E., Saez Flores, G. y Grabiell Ataucusi, S. (2001). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). *Revista Médica Herediana*, 16-19. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/rmh/v12n1/v12n1ao3>.
- ANIAME. (2011). *NMX-F-074-SCFI-2011. ALIMENTOS PARA HUMANOS - ACEITES ESENCIALES, ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES - DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION CON EL REFRACTOMETRO DE ABBÉ - METODO DE PRUEBA*. Asociación Nacional de Industrias de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. (ANIAME). Obtenido de <http://aniame.com/mx/wp-content/Normatividad/CTNNIAGS/NMX-F-074-SCFI-2011.pdf>
- ANIAME. (2012). *NMX-F-075-SCFI-2012. ALIMENTOS – ACEITES Y GRASAS VEGETALES O ANIMALES DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA – MÉTODO DE PRUEBA*. Asociación Nacional de Industrias de Aceites y Mantecas Comestibles, A.C. (ANIAME). Obtenido de <http://aniame.com/mx/wp-content/Normatividad/CTNNIAGS/NMX-F-075-SCFI-2012.pdf>
- Anzora A., F. C. (2008). *Obtención de un colorante a partir de Musa paradisíaca (plátano verde) con aplicación en la industria textil*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de: <http://ri.ues.edu.sv/2921/1/16100230.pdf>.
- Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Uribe, S. y González de Mejía, E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 100-111. Obtenido de: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttextpid=S0004-06222004000100015](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0004-06222004000100015)
- Arévalo Alvarenga, V. L., Azucena Peña, G. A. y Láinez Amaya, S. E. (2017). *Formulación y caracterización de una biopelícula comestible elaborada a partir de almidón de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) y yuca (Manihot esculenta)*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/15440/>
- Aristizábal, J. y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín 163 de Servicios Agrícolas de la FAO. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>.

- Arredondo Ochoa, T. (2012). *Diseño de empaques comestibles activos a base de almidón modificado para su posible aplicación en alimentos en fresco*. Universidad Autónoma de Querétaro. México. Obtenido de: <http://ri.uaq.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/929/RI000119.pdf>
- Arrieta, M. P., Peltzer, M. A., Garrigos Selva, M. D. y Jimenez Migallon, A. (2011). *Desarrollo de un sistema de envasado activo : biopelículas de proteínas lácteas para un desarrollo sostenible*, Obtenido del sitio de internet de Fundación Mafre: <http://fundacionmafrefre.com/ccm/proyecto/desarrollo-de-un-sistema-de-ensado-activo.pdf>.
- Arzapalo Quinto, D., Huamán Córdor, K., Quispe Solano, M., y Espinoza Silva, C. (2015). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE TRES VARIEDADES DE QUI-NUA (*Chenopodium quinoa* Willd) NEGRA COLLANA, PASANKALLA ROJA Y BLANCA JUNÍN. *Rev Soc Quím Perú*, 44-54. Perú. Obtenido de: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a06v81n1.pdf>.
- Ayala E., R. G. (2003). *Estudio proximal comparativo de la cáscara y pulpa del plátano (Musa paradisiaca) para su aprovechamiento completo en la alimentación humana y animal*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de: <http://ri.ues.edu.sv/5595/1/10122377.pdf>.
- Badui Dergal, S. (2006). *Hidratos de carbono. Química de los alimentos (pp.29-117)*. México: Pearson.
- Bandoni, A. L. (2002). *Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/7959699/Los-Recursos-Vegetales-Aromaticos-en-America-Latina>.
- Cajamar. (2014). *Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en las industria agroalimentaria*. Almería, España. Obtenido de <http://chilorg.chil.me/download-doc/86426>
- Carrillo L., A. M. (2007). *Frutas y Hortalizas. Manual de Microbiología de los Alimentos*. pp 71-83. SS Jujuy, Argentina : Obtenido de: <http://www.unsa.edu.ar/biblio/repositorio/frutasyhortalizas.pdf>.
- CENTA. (2010). *Guía técnica del cultivo del plátano*. Programa MAG-CENTA-FRUTALES. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador. Obtenido de: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Platano.pdf>.
- Centro de Comercio Internacional. (2018). *Trade Map*. Obtenido de <https://www.trademap.org>
- COLPOS. (1986). *NMX-F-382-1986. ALIMENTOS. ALMIDÓN O FÉCULA DE MAÍZ*. Colegio de Postgraduados (COLPOS). México. Obtenido de <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-382-1986.PDF>
- Committee on Food Chemical Codex. (1996). *Food Chemical Codex*. Washington, D.C: National Academy Press.
- Contreras Pérez, R. K., Gutiérrez, L. D., González Cortés, N. y Jiménez Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal*, 82-97. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>.

- Dadzie, B. K. y Orchard, J. E. (1997). *Routine Post-Harvest Screening of Banana/Plantain Hybrids: Criteria and Methods*. Obtenido de [https://www.bioversityinternational.org/Routine\\_post-harvest\\_screening\\_of\\_banana\\_plantain\\_hybrids\\_\\_Criteria\\_and\\_methods\\_235.pdf](https://www.bioversityinternational.org/Routine_post-harvest_screening_of_banana_plantain_hybrids__Criteria_and_methods_235.pdf)
- Dirección General de Normas. (1982). *NMX-FF-015-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca*. México. Obtenido de <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-015-1982.PDF>
- Domínguez, X. A. (1979). *Métodos de Investigación Fitoquímica*. México: Limusa.
- Espinoza, N. A. (2015). *Efecto de un recubrimiento comestible funcional a base de goma guar sobre la calidad postcosecha de guayaba*. (Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). Torreón, Coahuila. México. Obtenido de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/ANGEL%20ESPINOZA,%20NORMA%20%2063392.pdf>
- FAO. (1993). *Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación. Vol. 2*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de: [https://books.google.ru/books?id=32e7Ezy76DYCprintsec=frontcoverdq=deterioro%20de%20frutas%20poscosechahl=ensa=Xved=0ahUKEwiA4-DOOI\\_aAhVMJ5oKHcKvBeMQuwUIMTAB#v=onepageq=deterioro%20de%20frutas%20posco](https://books.google.ru/books?id=32e7Ezy76DYCprintsec=frontcoverdq=deterioro%20de%20frutas%20poscosechahl=ensa=Xved=0ahUKEwiA4-DOOI_aAhVMJ5oKHcKvBeMQuwUIMTAB#v=onepageq=deterioro%20de%20frutas%20posco)
- FAO. (2000). *Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos)*. 12-17. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de: <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>.
- FAO. (2016). *FAOSTAT*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- FDA. (2014). *Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Produce and Fresh-Cut Produce*. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Obtenido de <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/ucm091363.htm>
- FDA. (2017). *Code of Federal Regulation*. U.S. Food and Drug Administration (FDA). Estados Unidos de Norteamérica. Obtenido de <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcr/CFRSearch.cfm?fr=182.20>
- Fennema, O. R. (2010). *Carbohidratos. Química de los alimentos (pp.189-265)*. España: Acribia.
- Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A., y Bello-Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *cta Científica Venezolana*, 86-90. Venezuela. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/28095151\\_Rendimiento\\_del\\_proceso\\_de\\_extraccion\\_de\\_almidon\\_de\\_frutos\\_de\\_platano\\_Musa\\_paradisiaca\\_L\\_Estudio\\_en\\_planta\\_piloto](https://www.researchgate.net/publication/28095151_Rendimiento_del_proceso_de_extraccion_de_almidon_de_frutos_de_platano_Musa_paradisiaca_L_Estudio_en_planta_piloto).

- García, L. C., Sarantópoulos, C., Mendes Pereira Rodrigues, L. y Hubinger, M. (2010). Selection of an Edible Starch Coating for Minimally Processed Strawberry. *Food and Bioprocess Technology*, 834-843. Obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/225466684\\_Selection\\_of\\_an\\_Edible\\_Starch\\_Coating\\_for\\_Minimally\\_Processed\\_Strawberry#pf9](https://www.researchgate.net/publication/225466684_Selection_of_an_Edible_Starch_Coating_for_Minimally_Processed_Strawberry#pf9).
- Girón G., F. L. (2013). *Obtención de alcohol etílico por medio de fermentación alcohólica de las cáscaras de Musa paradisiaca (plátano) utilizando como microorganismo productor Saccharomyces Cerevisiae (levadura)*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de: <http://ri.ues.edu.sv/4719/1/16103389.pdf>.
- Grupo de Desarrollo Rural Bajo Nalón. (2015). *Guía práctica: Orientaciones para cultivo de fresa. España*. Obtenido de <https://issuu.com/altonarceamuniellos/docs/fresa>
- Guadrón Delgado, E. N. (2013). *Diseño y desarrollo del proceso para la extracción de almidón a partir de guineo majoncho verde (Musa sp. Variedad Cuadrado) para su uso en la industria de alimentos*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/4927/>
- Hair, J. A. (2000). *Análisis Multivariante. 5ta Ed.* Madrid: Prentice Hall.
- Hernández G., M. R. (2017). *Aislamiento e identificación de hongos causantes de antracnosis en Musa paradisiaca L. (plátano) y hongos antagonistas*. (Tesis de grado, Universidad de El Salvador). Obtenido de: <http://ri.ues.edu.sv/14078/1/16103710.pdf>.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 718-726. Obtenido de: <http://www.scielo.br/pdf/cta/v28n/a31v28n3.pdf>.
- Hough, G., y Fiszman, S. (2005). *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. Madrid: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).
- ICONTEC. (1999). *Norma Técnica Colombiana NTC 4623 productos de frutas y verduras. Determinación de acidez titulable*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Obtenido de [https://kupdf.net/download/ntc4623-productos-de-frutas-y-verduras-determinacion-de-la-acidez-tituablepdf\\_59d29cc108bbc5a942687144\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntc4623-productos-de-frutas-y-verduras-determinacion-de-la-acidez-tituablepdf_59d29cc108bbc5a942687144_pdf)
- IICA. (1987). *Tecnología del Manejo de Postcosecha de Frutas y Hortalizas*. Bogotá, Colombia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Obtenido de: [https://books.google.com.sv/books?id=IYDGhOLogPoCprintsec=frontcoverhl=essource=gbs\\_ge\\_summary\\_rcad=0#v=onepageqf=false](https://books.google.com.sv/books?id=IYDGhOLogPoCprintsec=frontcoverhl=essource=gbs_ge_summary_rcad=0#v=onepageqf=false).
- INCAP. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica*. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Obtenido de [http://www.incap.int/index.php/es/publicaciones/doc\\_view/80-tabla-de-composicion-de-alimentos-de-centroamerica](http://www.incap.int/index.php/es/publicaciones/doc_view/80-tabla-de-composicion-de-alimentos-de-centroamerica)
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2003). *Estudio del mercado nacional de aceites esenciales*. Bogotá, Colombia. Obtenido de [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9356/Biocomercio\\_6.pdf](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9356/Biocomercio_6.pdf)

- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2013). *Manual de frutilla*. Chile. Obtenido de <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR39090.pdf>
- Jima, I. M. (2015). *Aplicación de recubrimientos comestibles (gelatina, glicerol, tween, ácido cítrico y glucosa) y su efecto en el tiempo de vida útil de fresa (Fragaria ananassa) variedad albión*. (Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato). Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15872/1/AL%20583.pdf>
- Joaqui D, D. F. y Villada C, H. S. (2013). Propiedades ópticas y permeabilidad de vapor de agua en películas producidas a partir de almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 59-68. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa07.pdf>.
- Junqueira, G. (2016). *Food Safaty Brazil*. Obtenido de <https://foodsafetybrazil.org/tem-fungos-nos-meus-morangos-e-agora/>
- Liria Domínguez, M. R. (2007). *Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos*. Lima, Perú.
- Lucas, J., Dumar Quintero, V. y Cárdenas Valencia, C. A. (2013). Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.). *Agroindustria*, 83-96. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n2/v62n2a01.pdf>.
- Lucas-Aguirre J.C., V.-H. J.-L. (2013). *Evaluación de pérdidas poscosecha en papaya Maradol (Carica papaya cv Maradol)*. (Tesis de grado, Universidad del Quindío). Obtenido de: <http://docplayer.es/37870156-Evaluacion-de-perdidas-poscosecha-en-papaya-maradol-carica-papaya-cv-maradol.html>.
- Martín Belloso, O. y Soliva Fortuny, R. (2011). *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (pp 53-86). Florida: CRC Press.
- Mazzeo M, M., Alzate G, A. y Marín M, M. (2008). Obtención de almidón a partir de residuos poscosecha del plátano Dominic Hartón (*Musa ABB SIMMONDS*). Colombia. *Revista Vector*, 57-69. Obtenido de [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3\\_6.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf).
- Meaño Correa, N., Ciarfella Pérez, A. T. y Dorta Villegas, A. M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológico. *Saber*, 182-187. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739467011.pdf>.
- Miramont, S. (2012). *Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: carvacrol y sorbatos*. (Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Buenos Aires. Obtenido de: <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/MTA-2012-Sofia%20Miramont.pdf>.
- Nunes Damaceno. (2007). *Caracterización y procesado de kiwi y fresas cultivadas por diferentes sistemas*. (Tesis doctoral, Universidad de Santiago de Compostella). España. Obtenido de [https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2317/9788497508643\\_content.pdf;jsessionid=](https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2317/9788497508643_content.pdf;jsessionid=)

- Oropeza González, R. A., Montes Hernández, A. I. y Padrón Pereira, C. A. (2016). Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 65-93. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/309707042\\_Peliculas\\_biodegradables\\_a\\_base\\_de\\_almidon\\_propiedades\\_mecanicas\\_funcionales\\_y\\_biodegradacion](https://www.researchgate.net/publication/309707042_Peliculas_biodegradables_a_base_de_almidon_propiedades_mecanicas_funcionales_y_biodegradacion).
- OSMOSIS (2015). Recubrimientos comestibles en la conservación de alimentos. *Revista Industria y Alimentos Vol. 69*, 12-17. Obtenido de: [https://issuu.com/revistaindustriayalimentos/docs/revista\\_industria\\_y\\_alimentos\\_69](https://issuu.com/revistaindustriayalimentos/docs/revista_industria_y_alimentos_69).
- Palma Rodríguez, H., Salgado Delgado, R., Páramo Calderón, D., Vargas Torres, A. y Meza Nieto, M. (2017). Caracterización parcial de películas biodegradables elaboradas con almidón de plátano y proteínas séricas de la leche. *Acta Universitaria*, 26-33. doi: 10.15174/au.2017.1215.
- Patiño Rincón, N. R., Moreno Cristancho, H. M. y Chaparro González, M. P. (2012). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible antimicrobial y antioxidante a partir de aceite de orégano (Origanum vulgare) en la calidad y vida útil de la lechuga (Lactuca sativa L) mínimamente procesada refrigerada.* *Alimentos Hoy*, 43-59. Obtenido de <http://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/121/115>.
- Peredo-Luna, H. A., Palou-García, E. y López-Malo, A. (2009). *Aceites esenciales: métodos de extracción. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 24-32. Obtenido de [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Peredo-Luna-et-al-2009.pdf).
- Pontigo-Suárez, A. G., Trejo-Márquez, M. A. y Lira-Vargas, A. A. (2015). *Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceite esencial de orégano para conservación de papaya "Maradol".* *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 58-63. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81339864008>.
- Revista Infoagro. (2016). *Infoagro*. Obtenido de <http://infoagro.com/mexico/podredumbre-gris-en-frutillas-botrytis-cinerea/>
- Reyes, M. A. (2011). *Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola.* Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Torreón, Coahuila, México. Obtenido de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/474/61786s.pdf?sequence=1>
- Rowe, R. C., Sheskey, P. J. y Quinn, M. E. (2009). *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. Chicago: RPS Publishing.
- Ruíz Medina, M., Ávila, J. y Ruales, J. (2016). DISEÑO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE BIOACTIVO PARA APLICARLO EN LA FRUTILLA (*Fragaria vesca*) COMO PROCESO DE POSTCOSECHA. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 276-287. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/html/813/81349041015/index.html>.

- Saavedra H, N. y Algecira E, N. A. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. *NOVA*, 171-182. Obtenido de: [http://www.unicolmayor.edu.co/invest\\_nova/NOVA/NOVA14\\_ARTORIG4.pdf](http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/NOVA14_ARTORIG4.pdf).
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2014). *Manual técnico del cultivo de fresas bajo buenas prácticas agrícolas*. México. Obtenido de [http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/fresa%20BPA\\_1.pdf](http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/fresa%20BPA_1.pdf)
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (s.f.). *Introducción a la industria de los aceites esenciales extraídos de las plantas medicinales y aromáticas*. Colombia. Obtenido de [http://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion\\_industria\\_aceites\\_esenciales\\_plantas\\_medicinales\\_aromaticas/#](http://repositorio.sena.edu.co/sitios/introduccion_industria_aceites_esenciales_plantas_medicinales_aromaticas/#)
- Skoog, A. D. y Leary, J. J. (1994). *Análisis Instrumental*. Madrid: McGraw-Hill.
- Smith, J. y Van Ness, H. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*. McGraw Hill Interamericana.
- Sosa Cantero, D. D., Trejo Márquez, M. A., Lira Vargas, A. A. y Pascual Bustamante, S. (2016). Aplicación de recubrimientos comestibles adicionados con aceite esencial de orégano en pepino (*Cucumis Sativus L.*). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 490-495. México. Obtenido de <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/3/84.pdf>.
- Stashenko, E. E. (2009). *Aceites Esenciales*. España. Obtenido de <http://cenivam.uis.edu.co/cenivam/documentos/libros/1.pdf>.
- Tapia, M. S., Pérez, E., Rodríguez, P. E., Guzmán, R., Ducamp-Collin, M.-N., Tran, T., y otros. (2012). Some properties of starch and starch edible films from under-utilized roots and tubers from the Venezuelan Amazons. *Journal of Cellular Plastics*, 526-544. Obtenido de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.921.1806rep=rep1type=pdf>.
- Tellez Monzón, L. A. y Nolasco Cama, D. M. (2017). Estudio de la composición química del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare* spp.) de Tacna. *Portal de Revistas Ulima*, 125-205. Obtenido de [https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/view/1801/1816](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/1801/1816).
- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sribur, P. y Rachtanapun, P. (2011). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*, Obtenido de <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-6>.
- Universidad de Buenos Aires. (2018). *Herbario Virtual*. Argentina. Obtenido de: [http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page\\_id=848](http://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=848)
- Vásquez Lara, J. L. y Vidal López, M. B. (2011). *Caracterización y alternativa de uso de una biopelícula biodegradable de quitosano a partir de la extracción de quitina de langostino (*Pleuroncodes planipes*) para la industria de alimentos. (Tesis de grado. Universidad de El Salvador)*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/2099/>

- Vasquez-Briones A.C, G.-B. J. (s.f.). *Recubrimientos de frutas con biopelículas*. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Universidad de las Américas Puebla. México. Obtenido de: <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72-Vazquez-Briones-et-al-2013.pdf>.
- Vega-Portocarrero, E. y López-Malo, A. (2009). Agentes antimicrobianos presentes en especias y hierbas. *Tema selectos de Ingeniería de Alimentos*, 85-95. México. Obtenido de: [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3\(1\)-Vega-Portocarrero-et-al-2009.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No3-Vol-1/TSIA-3(1)-Vega-Portocarrero-et-al-2009.pdf).
- Versino, F., Lopez, O. V., Garcia, M. A. y Zaritzky, N. E. (2016). Starch-based films and food coatings: An overview. *Starch*, 1026-1037.

# ANEXOS

**Anexo A:** Determinación de sólidos solubles totales (°Brix) en pulpa de plátano verde.

**Técnica:** Refractometría (Dadzie y Orchard, 1997).

**Tabla A.1.**

*Material, equipo y reactivos a utilizar en la determinación de sólidos solubles totales (°Brix) en pulpa de plátano verde*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Beaker de 100 mL	Licuada	Agua destilada
Embudo	Refractómetro manual	
Papel filtro	Balanza semianalítica con precisión de 0.01 g	Pulpa de plátano verde

Procedimiento:

1. Licuar en un mezclador de cocina 30 g del tejido de la pulpa (de la sección transversal de la fruta) en 90 ml de agua destilada, por 2 min.
2. Filtrar la mezcla (a través de un papel de filtración).
3. Colocar una gota del filtrado en el prisma del refractómetro.
4. Dirigir el refractómetro hacia una fuente de luz y lea el porcentaje de sólidos solubles totales.
5. El valor registrado se multiplica por tres (debido a que la muestra inicial de la pulpa ha sido diluida tres veces con agua destilada).

**Anexo B:** Metodología para caracterización de almidón de plátano verde.

**Anexo B.1:** Determinación de pH.

**Técnica:** Potenciometría (Aristizábal y Sánchez, 2007).

**Tabla B.1.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de pH en almidón de plátano verde*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Beaker de 500 mL	potenciómetro	Solución tampón pH 4.0, pH 7.0, pH 10
Beaker de 50 mL		
Embudo		
Vidrio reloj	Balanza semianalítica precisión de 0.01 g	Almidón de plátano verde
Espátula		
Papel filtro		

Procedimiento:

1. Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0, pH 7,0 y pH 10.
2. Mezclar 80,0 g de almidón en base seca con 400 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO<sub>2</sub>) durante 15 minutos
3. Filtrar a través de un papel filtro
4. Tomar una alícuota de 50 mL y medir el pH con una cifra decimal (realizar por triplicado).

**Anexo B.2:** Determinación de acidez titulable (Aristizábal y Sánchez, 2007).

**Tabla B.2:**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de acidez titulable en almidón de plátano verde*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Bureta de 50 mL	Balanza analítica precisión 0.0001 g	Agua destilada
Erlenmeyer de 250 mL	Estufa con termóstato	Solución de hidróxido de Sodio (0.1N) estandarizada
Frasco lavador	Pinza para bureta	Solución de Fenolftaleína 1%
	Soporte para bureta	Almidón de plátano verde

Procedimiento:

1. Tomar 50 mL del filtrado (obtenido en la determinación de pH) y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleína como indicador (realizar por triplicado).
2. El cálculo de la acidez titulable se determina con la Ecuación 1.

$$\% \text{ acidez} = \frac{V_b * N * \text{milieq}}{V_a} * 100 \quad (1)$$

Dónde:

V<sub>b</sub> = volumen de la base en mL.

N = normalidad de la base.

V<sub>a</sub> = volumen del ácido en mL.

Milieq: miliequivalente del ácido predominante. En esta investigación se utiliza el ácido sulfúrico debido a que este parámetro se utiliza en la acidez para harinas.

**Anexo B.3:** Índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, poder de hinchamiento (Aristizábal y Sánchez, 2007).

**Tabla B.3.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, poder de hinchamiento del almidón de plátano verde*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Tubos de centrifuga plástico de 10 mL	Balanza analítica con precisión de 0.0001 g	Agua destilada
Placas Petri de 8.8 cm de diámetro	Centrifuga	
Frasco lavador	Horno	Almidón de plátano verde
Espátula	Hotplate	
Vidrio reloj	Termómetro	

Procedimiento:

1. Pesar tubos de centrifuga secos.
2. Pesar en los tubos 0.83 g de almidón (bs) y agregar exactamente 9 mL de agua destilada precalentada a 60 °C y agitar (sin excederse).
3. Centrifugar a temperatura ambiente a 4 900 RPM durante 30 minutos.
4. Decantar el sobrenadante inmediatamente después de centrifugar (máximo un minuto después) y medir el volumen.
5. Tomar 3 mL del sobrenadante y colocar en placa petri (previamente pesada).
6. Secar el sobrenadante en un horno a 70 °C hasta observarse que este seco.
7. Pesar el tubo de centrifuga con el gel.
8. Pesar la placa petri con los insolubles.

Los cálculos se realizarán con las Ecuaciones 2, 3 y 4:

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \quad (2)$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA \%)} = \frac{\text{Peso sobrenadante (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso seco sobrenadante (g)}} \quad (4)$$

## Anexo C: Metodología para caracterización de las biopelículas.

**Anexo C.1:** Permeabilidad al vapor (Vásquez Lara y Vidal López, 2011).

**Método:** ASTM E 96/ E 96M-05.

**Técnica:** Desecante.

**Tabla C.1.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de permeabilidad al vapor a las biopelículas*

<b>Material</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Tubos de hemólisis de 7.5 cm de altura por 1.1 cm de diámetro	Balanza analítica precisión 0.0001 g	Agua destilada
Bandas de hule	Termohigrómetro	Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) previamente secado
Papel aluminio	Desecador de vidrio	Láminas de biopelículas
Espátula	Estufa con termóstato	Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ )

Procedimiento:

1. Rotular tubos de hemólisis de 7.5 cm de altura por 1.1 cm de diámetro, con el nombre correspondiente para cada película a evaluar, a fin de no perder la identidad de las mismas.
2. Colocar en cada tubo cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) previamente desecado a 200°C y llevado hasta peso constante; llenar hasta 6 mm por debajo del borde, registrar el peso de cloruro de calcio necesario para alcanzar dicho borde.
3. Colocar en cada tubo la película correspondiente y sellar con una banda de hule adecuada.
4. Forrar las partes sobrantes de la película con papel aluminio.
5. Registrar el peso inicial.
6. Los tubos se colocan en la cámara ambiental bajo condiciones de humedad relativa\* e intervalo de temperatura.\*
7. Registrar los pesos de los tubos cada hora.

8. Detener el registro de los pesos cuando el peso del tubo exceda el 10% del peso inicial del desecante o se alcance un peso estacionario.

\*Nota: Los intervalos de temperatura y humedad relativa son las condiciones promedio para el territorio salvadoreño según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Humedad relativa 74%, Temperatura 23°C. Para mantener las condiciones específicas de temperatura y humedad se recomienda adicionar 1000 mL de solución salina sobresaturada.

**Anexo C.2:** Solubilidad en agua (Palma Rodríguez, Salgado Delgado, Páramo Calderón, Vargas Torres y Meza Nieto, 2017).

**Tabla C.2.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación solubilidad en agua de las biopelículas*

<b>Material</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Beaker de 100 mL	Balanza analítica precisión 0.0001 g	Láminas de biopelículas
	Desecador de vidrio	
Embudo	Estufa con termóstato	Agua destilada
	Hot plate	
Papel filtro	Termómetro	Silica gel
	Termohigrómetro	

Procedimiento:

1. Se toman las piezas de cada película con dimensiones de 3.5 cm de diámetro.
2. Los pesos de las películas cortadas se registran
3. Colocar en un vaso de precipitado con 80 mL de agua destilada con agitación continua 125 rpm, a una temperatura de 25 °C por un tiempo de 1 hora.
4. Terminada la agitación, las piezas de las películas se filtran y se secan en una estufa a 70 °C hasta peso constante.
5. Se determina el porcentaje de materia soluble (% solubilidad), se calcula con la Ecuación

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial seco} - \text{Peso final seco}}{\text{Peso inicial seco}} * 100 \quad (5)$$

**Anexo C.3:** Biodegradabilidad en suelo (Arrieta, Peltzer, Garrigos Selva y Jimenez Migallon, 2011).

**Tabla C.3.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de biodegradabilidad de las biopelículas*

<b>Material</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Malla de acero inoxidable	Balanza analítica precisión 0.0001 g	Láminas de biopelículas
Cajas de 23.5 cm x 9 cm x 9 cm (largo, ancho, alto) con tapa		Tierra
Pincel o brocha		

Procedimiento:

1. Se toman las muestras de 3.5 cm de diámetro de cada formulación y se toma el peso inicial de estas.
2. Se coloca cada muestra en un contenedor de malla de acero inoxidable para permitir el contacto directo con el suelo y una fácil recuperación del material para su inspección visual a diferentes tiempos de ensayo.
3. Las mallas de acero conteniendo las muestras se entierran a una profundidad de 4 cm
4. Se prepararon tres reactores, retirándose una muestra de cada uno de ellos para poder realizar ensayos por triplicado a los distintos tiempos de reacción.
5. Las piezas recuperadas se limpian cuidadosamente con la ayuda de un pincel para quitar el exceso de suelo, a las muestras que así lo permiten, se les determina el peso.

**Anexo D:** Metodología de evaluación de parámetros de calidad de las fresas con recubrimiento.

**Anexo D.1:** Sólidos solubles totales (°Brix).

**Técnica utilizada:** NMX-FF-015-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca.

**Tabla D.1.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de sólidos solubles totales (°Brix) en fresas con y sin recubrimiento*

<b>Material</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Mortero	Refractómetro marca ATAGO	Agua destilada
Pistilo		
Frasco lavador	Termómetro	Fresa con y sin recubrimiento
Gotero		

Preparación de la muestra:

1. Se selecciona las muestras de cada formulación aplicadas a las frutas más las fruta sin recubrir (las muestras seleccionadas en cada uno de los casos se eligen al azar con la restricción de que no presenten degradación o crecimiento de hongos).
2. Seleccionadas las muestras se trituran con ayuda de un mortero y pistilo, esto se realiza para el fruto con recubrimiento y sin recubrimiento.
3. Las frutas trituradas se colocan en recipientes debidamente identificados con las formulaciones del recubrimiento así como aquella sin recubrimiento.

Procedimiento:

1. Se realiza la calibración del refractómetro.
2. Una vez calibrado, se colocan en el prisma una o dos gotas del jugo de la muestra.
3. Leer en la escala del Refractómetro el por ciento de sólidos solubles totales.
4. Medir la temperatura del jugo al momento de efectuar la determinación.

5. Si la muestra y los prismas del refractómetro no se encontraban a la misma temperatura, el resultado debe corregirse de acuerdo a la Tabla D.2.
6. Las mediciones se realizan por triplicado para las fresas recubiertas de cada formulación y fresas sin recubrimiento.

**Tabla D.2:**

*Tabla de corrección de las lecturas del Refractómetro a temperaturas diferentes a la de calibración*

°C	LECTURA							
	0	5	10	15	20	25	30	
10	l	0.50	0.54	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68
11	r a	0.46	0.46	0.53	0.55	0.58	0.60	0.62
12	e	0.42	0.45	0.48	0.50	0.52	0.54	0.56
13	s l	0.37	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49
14	t e	0.33	0.35	0.37	0.39	0.40	0.41	0.42
15	a c	0.27	0.29	0.31	0.33	0.34	0.34	0.35
16	r t	0.22	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28
17	u	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.21
18	a r	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.11
19	a	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07
20		0	0	0	0	0	0	0
21	s	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08
22	u	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15
23	m l	0.19	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23
24	a e	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31
25	r c	0.33	0.35	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39
26	t	0.40	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47
27	a u	0.48	0.50	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55
28	r	0.56	0.57	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63
29	l a	0.64	0.66	0.68	0.69	0.72	0.72	0.72
30	a	0.72	0.74	0.77	0.78	0.79	0.80	0.80

**Anexo D.2:** Pérdida de peso (humedad) (Saavedra H y Algecira E, 2010)

**Tabla D.3.**

*Material y equipo para la determinación de pérdida de peso en fresas con y sin recubrimiento*

<b>Material</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Vidrio reloj	Balanza semianalítica con precisión de 0.01 g	Fresas con y sin recubrimiento
Pinza		

Procedimiento:

1. Se coloca el vidrio reloj en la balanza semianalítica y se toma nota de la lectura.
2. Sin quitar el vidrio reloj de la balanza semianalítica, se coloca la fresa con ayuda de la pinza y se toma nota de la lectura que arroja la balanza.
3. Para obtener el peso de la fruta se hace con la Ecuación 6.

$$\text{Peso fruta (g)} = \text{Peso vidrio reloj más fruta (g)} - \text{Peso vidrio reloj(g)} \quad (6)$$

**Nota:** Se pesan todas las fresas recubiertas para cada formulación y las fresas sin recubrimiento.

### Anexo D.3: Determinación de pH

**Técnica:** Potenciometría (Saavedra H y Algecira E, 2010)

**Tabla D.4.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de pH en fresas con y sin recubrimiento*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Beaker de 500 mL	potenciómetro	Solución tampón pH 4.0, pH 7.0 y pH 10
Erlenmeyer de 250 mL		Agua destilada
Beaker de 50 mL		Fresas con y sin recubrimiento
Embudo		

Procedimiento:

1. Se selecciona las muestras de cada formulación aplicadas a las frutas más las fruta sin recubrir (las muestras seleccionadas en cada uno de los casos se eligen al azar con la restricción de que no presenten degradación o crecimiento de hongos).
2. Seleccionadas las muestras se trituran con ayuda de un mortero y pistilo, esto se realiza para el fruto con recubrimiento y sin recubrimiento.
3. Las frutas trituradas se colocan en recipientes debidamente identificados con las formulaciones del recubrimiento así como aquella sin recubrimiento.
4. Se calibra el potenciómetro y se realizan las lecturas correspondientes a cada muestra.
5. Las mediciones se realizan por triplicado para las fresas recubiertas de cada formulación y fresas sin recubrimiento.

**Anexo D.4:** Determinación de acidez titulable. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 1999)) y (Cajamar, 2014)

**Tabla D.5.**

*Material, equipo y reactivos para la determinación de acidez titulable en fresas con y sin recubrimiento*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Balón volumétrico de 100 mL	Balanza semi analítica precisión de 0.01 g	Agua destilada
Beaker de 50 mL	Estufa con teróstato	Solución de hidróxido de sodio (0.1N) estandarizada
Bureta de 50 mL		
Erlenmeyer de 250 mL	Pinza para buerta	Solución de verde de bromocresol
Espátula		
Frasco lavador	Soporte para bureta	Fresa con y sin recubrimiento
Embudos		

Preparación de la muestra:

1. Se selecciona las muestras de cada formulación aplicadas a las frutas más las fruta sin recubrir (las muestras seleccionadas en cada uno de los casos se eligen al azar con la restricción de que no presenten degradación o crecimiento de hongos).
2. Seleccionadas las muestras se trituran con ayuda de un mortero y pistilo, esto se realiza para el fruto con recubrimiento y sin recubrimiento.
3. Se pesa 10 g como mínimo de la muestra y se colocan en un matraz con 20 mL de agua caliente. Se mezcla bien hasta obtener un líquido homogéneo.
4. Se calienta el contenido en baño de agua hirviendo durante 15 minutos. Se enfría y trasvasa cuantitativamente el contenido del matraz a un balón volumétrico de 100 mL y se completa hasta el enrase con agua. Se mezcla bien y se filtra.

Procedimiento:

1. Se toma mediante una pipeta graduada 20 mL de la muestra para análisis, según la acidez prevista y se vierte en el beaker con el agitador.

2. Se añaden 3 gotas de la solución de verde de bromocresol y se agita, titulando con la solución de hidróxido de sodio hasta la obtención de una coloración rosa persistente durante 30 s.
3. La acidez titulable, expresada en milimoles de  $H^+$  por 100 ml de producto, se obtiene, con la Ecuación 7:

$$(V_{\text{base}}N_{\text{base}} = V_{\text{ácido}}N_{\text{ácido}}) \quad (7)$$

Dónde:

$V_{\text{ácido}}$ : Es el volumen en mililitros de muestra.

$V_{\text{base}}$ : Es el volumen en mililitros, de la solución de hidróxido de sodio usado para la determinación.

$N_{\text{base}}$ : Es la concentración de la solución de hidróxido de sodio.

$N_{\text{ácido}}$ : Es la concentración de la solución de ácido presente en la muestra.

Otros métodos de expresión:

Una consideración importante es que a la hora de expresar el resultado se suelen utilizar tres ácidos característicos dependiendo de su mayor contenido en las diferentes frutas y hortalizas, estos ácidos son ácido cítrico, málico y tartárico. En esta investigación se obtiene la acidez con respecto al ácido cítrico, ya que este se encuentra en mayor proporción en las fresas.



El procedimiento de cálculo es el indicado a continuación dependiendo del ácido utilizado. Los datos se pueden presentar en g ácido/L muestra usando la Ecuación 8.

$$\frac{\text{Gramos de Ác.Cítrico}}{L} = \frac{0.1 \frac{eq}{L} * V_{\text{base}} (mL) * \frac{1L}{1000 mL} * \frac{192.124 g}{3 eq}}{V_{\text{ácido}} (mL) * \frac{1L}{1000mL}} \quad (8)$$

## Anexo E: Metodología para realización de análisis microbiológico.

**Método:** Recuento de Mohos y Levaduras.

**Tabla E.1.**

*Material, equipo y reactivos para análisis microbiológico en fresas con y sin recubrimiento*

<b>Materiales</b>	<b>Equipo</b>	<b>Reactivos</b>
Probeta de 1000 ml	Balanza semi analítica precisión 0.01 g	Agua destilada
Beaker de 50 mL	Estufa de cultivo	Placas Petrifilm para Recuento de Mohos y Levaduras
Pipetas estériles de 1 mL		
Morteros y pistilos esteriles	Mechero	Fresas con y sin recubrimiento
Frascos de vidrio estériles de 150 mL		
Espátulas estériles		
Pinzas estériles	Autoclave	Peptona
Pipeteador		
Matraz de 500 mL		

Preparación de la muestra:

1. Se selecciona las muestras de cada formulación aplicadas a las frutas más las fruta sin recubrir (las muestras seleccionadas en cada uno de los casos se eligen al azar con la restricción de que no presenten degradación o crecimiento de hongos).
2. Seleccionadas las muestras se trituran con ayuda de un mortero y pistilo estériles, esto se realiza para el fruto con recubrimiento y sin recubrimiento.
3. Pesar 10 gramos de muestra en balanza semi analítica (fresas con recubrimiento según formulación y fresa sin recubrimiento), pasar la muestra en el bote de vidrio\* que contiene 90 ml de agua peptona\* al 0.1%.

\*Ambos estériles.

4. Homogenizar la muestra.

Procedimiento de la inoculación:

1. Colocar la Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras en una superficie plana y nivelada. Levantar la película superior y agregar 1 mL de la muestra con la pipeta volumétrica estéril perpendicular en el centro de la película inferior.
2. Bajar la película superior sobre la muestra.
3. Colocar el dispersor en el centro de la Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras.
4. Presionar firmemente el centro del dispersor para distribuir la muestra de manera uniforme. Difundir el inóculo por toda el área de crecimiento de la Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras antes de que se forme el gel. No deslizar el dispersor a través de la película.
5. Retirar el dispersor y dejar sin mover la Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras por lo menos durante un minuto, para permitir que se forme el gel.
6. Incubar la Placa Petrifilm para el Recuento de Mohos y Levaduras a 25-28 °C durante 48 ± 2 horas\* en posición horizontal, con la película transparente hacia arriba.

\*Si las colonias son apenas visibles, dejar en un periodo de incubación de 12 horas más para una mejor interpretación. El conteo de colonias se realizó cada 4 días para cada formulación.

**Anexo F:** Test para análisis sensorial.

**Anexo F.1:** Instrumento utilizado en el segundo análisis sensorial.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
EVALUACIÓN SENSORIAL  
PRUEBA DE ACEPTABILIDAD DE FRESAS CON RECUBRIMIENTO

Código de Panelista: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Presentación:** El siguiente análisis sensorial es para determinar la aceptabilidad que tiene el recubrimiento a base de almidón de plátano verde en fresas, comparando dos antimicrobianos.

**Nota importante:** Por favor enjuague su boca con agua antes de empezar.

Por favor pruebe las dos muestras de productos presentados, empezando por 251 luego enjuáguese la boca realice la evaluación y luego siga con la muestra 198.

Si tiene alguna pregunta, no dude en hacerla.

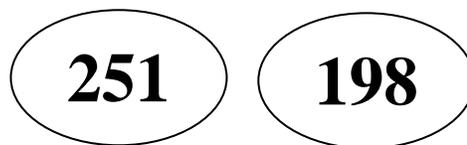
**Instrucciones:** Frente a usted hay dos muestras de fresas que usted debe valorar de acuerdo al grado de aceptación, utilizando la siguiente escala de 7 puntos.

<b>GRADO DE ACEPTACIÓN</b>	<b>PUNTAJE</b>
Me disgusta extremadamente	1
Me disgusta mucho	2
Me disgusta ligeramente	3
Ni me gusta ni me disgusta	4
Me gusta un poco	5
Me gusta mucho	6
Me gusta extremadamente	7

Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de la muestra, de acuerdo con la calificación/aspecto, escribiendo el número correspondiente a cada muestra en el siguiente cuadro.

<b>Aspectos a evaluar en las fresas con recubrimiento</b>	<b>Muestra: 251</b>	<b>Muestra: 198</b>
Sabor		
Color		
Olor		
Textura		

De manera general, cual muestra preferiría, marque la de su aceptación.



Comenta-

rios: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¡Gracias por su colaboración!



**Anexo F.2** Instrumento utilizado en el segundo análisis sensorial.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
EVALUACIÓN SENSORIAL  
PRUEBA DE ACEPTABILIDAD DE FRESAS CON RECUBRIMIENTO

Código de Panelista: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Presentación:** El siguiente análisis sensorial es para determinar la aceptabilidad que tiene el recubrimiento a base de almidón de plátano verde en fresas, comparando dos antimicrobianos.

**Nota importante:** Por favor enjuague su boca con agua antes de empezar.

Por favor pruebe las dos muestras de productos presentados, empezando por 989 luego enjuáguese la boca realice la evaluación y luego siga con la muestra 512.

Si tiene alguna pregunta, no dude en hacerla.

**Instrucciones:** Frente a usted hay dos muestras de fresas que usted debe valorar de acuerdo al grado de aceptación, utilizando la siguiente escala de 7 puntos.

<b>GRADO DE ACEPTACIÓN</b>	<b>PUNTAJE</b>
Me disgusta extremadamente	1
Me disgusta mucho	2
Me disgusta ligeramente	3
Ni me gusta ni me disgusta	4
Me gusta un poco	5
Me gusta mucho	6
Me gusta extremadamente	7

Indique el grado en que le agrada o le desagrada cada atributo de la muestra, de acuerdo con la calificación/aspecto, escribiendo el número correspondiente a cada muestra en el siguiente cuadro.

<b>Aspectos a evaluar en las fresas con recubrimiento</b>	<b>Muestra: 989</b>	<b>Muestra: 512</b>
Sabor		
Color		
Olor		
Textura		

De manera general, cual muestra preferiría, marque la de su aceptación.



Comenta-

rios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¡Gracias por su colaboración!



**Anexo G:** Extracción y caracterización del aceite esencial de orégano.

**Anexo G.1:** Extracción del aceite esencial de orégano.

**Tabla G.1.**

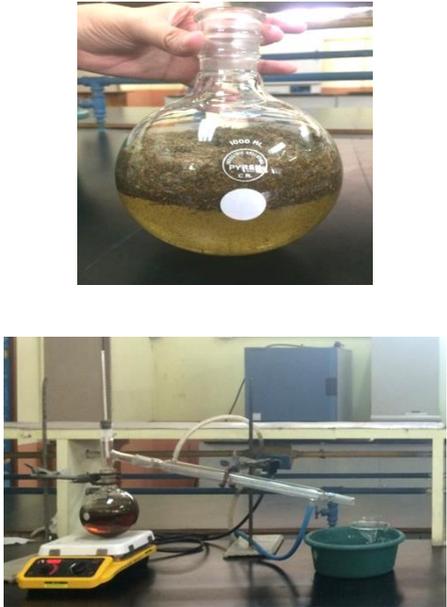
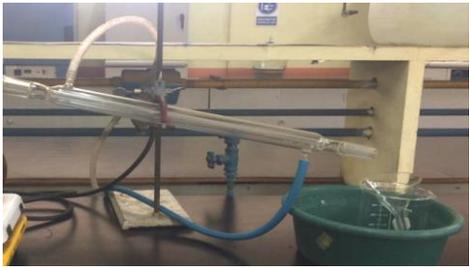
*Proceso de extracción del aceite esencial de orégano*

<b>Etapa del proceso</b>	<b>Imagen</b>
Recepción de materia prima (orégano seco)	
Molienda	
Pesado	

Continúa...

**Tabla G.1.**

*Proceso de extracción del aceite esencial de orégano (Continuación)*

<b>Etapa del proceso</b>	<b>Imagen</b>
Extracción por hidrodestilación	
Condensación	
Separación del aceite (Decantación)	

Continúa...

**Tabla G.1.**

*Proceso de extracción del aceite esencial de orégano (Continuación)*

<b>Etapa del proceso</b>	<b>Imagen</b>
Envasado y almacenamiento	 A photograph of a Shimadzu AU7220 analytical scale. A small, dark glass vial is placed on the weighing pan. The digital display shows a weight of 5064.18 g. The scale has several control buttons labeled POWER, CAL, +/-, UNIT, PRINT, and 16/10g. The Shimadzu logo is visible on the front panel.

**Anexo G.2:** Valores para calcular densidad y densidad relativa del aceite esencial de orégano.

**Tabla G.2.**

*Datos obtenidos para determinar densidad del aceite esencial de orégano a 20°C*

Muestra	Volumen medido (mL)	M (g)	M1 (g)	M2 (g)
1	1	28.1892	29.0867	29.1783
2			29.1034	29.1885
3			29.1039	29.1865

Para calcular la densidad relativa se utiliza las Ecuaciones 9,10 y 11 presentada en la Norma Mexicana NMX-F-075-SCFI-2012.

$$G1 = M1 - M \quad (9)$$

$$G2 = M2 - M \quad (10)$$

$$\delta = \frac{G1}{G2} \quad (11)$$

En donde:

M1: Es la masa del picnómetro con muestra;

M2: Es la masa del picnómetro con agua;

M: Es la masa del picnómetro vacío;

G1: Es la masa neta del aceite o grasa;

G2: Es la masa neta del agua;

$\delta$ : Es la densidad relativa del aceite o grasa a temperatura, y T es la temperatura en °C con respecto a la temperatura de referencia del agua.

Para muestra 1:

$$G1 = 29.0867 - 28.1892 = 0.8975$$

$$G2 = 29.1783 - 28.1892 = 0.9891$$

$$\delta = \frac{0.8975}{0.9891} = 0.9074$$

Para la densidad, se utiliza la Ecuación 12.

$$\rho = \rho_{\text{relativa}} * \rho_{\text{H2O a 20}^\circ\text{C}} \quad (12)$$

$$\rho = 0.9074 * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 907.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

**Anexo G.3:** Valores para calcular índice de refracción corregido del aceite esencial de orégano.

**Tabla G.3.**

*Datos obtenidos para determinar índice de refracción corregido al aceite esencial de orégano a 20°C*

Muestra	Índice de refracción
1	1.495
2	1.495
3	1.499
Promedio	1.4963

El promedio de las lecturas efectuadas fue de 1.4963 y ya que no se disponía del baño de temperatura constante, se realizó la corrección del índice de refracción por temperatura utilizando la Ecuación 13.

$$R = R' + k(T' - T) \quad (13)$$

En donde:

R: Es la lectura de la temperatura de referencia a T en °C

R': Es la lectura de la temperatura a T' en °C= 1.4976

T: Es la temperatura de referencia = 20°C

T': Temperatura a la cual se hizo la lectura R' = 28°C

K = 0.00035 para T=20°C

Índice de refracción del aceite esencial de orégano a 20°C:

$$R = 1.4963 + 0.00035 (28 - 20) = 1.4991 \cong 1.50$$

**Anexo H:** Extracción y caracterización del almidón de plátano verde.

**Anexo H.1:** Extracción del almidón de plátano verde.

**Tabla H.1.**

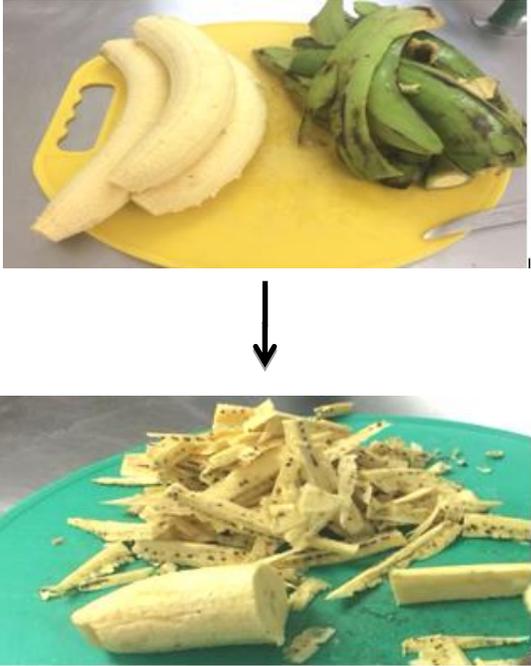
*Proceso de extracción del almidón de plátano verde*

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Imagen</b>
Recepción de plátano verde	
Selección	
Limpieza y desinfección	 ↓ 

Continúa...

**Tabla H.1.**

*Proceso de extracción del almidón de plátano verde (Continuación)*

Etapa del proceso	Imagen
Pelado y corte	
Tratamiento químico	
Secado	

Continúa...

**Tabla H.1.**

*Proceso de extracción del almidón de plátano verde (Continuación)*

Etapa del proceso	Imagen
Molienda	 A stainless steel pot with a wooden handle, filled with sliced green plantain pieces, ready for grinding.
Tamizado	 A stack of five stainless steel sieves, each with a blue label that reads "U.S.A. STANDARD TESTING SIEVE" and "VWIRE".
Pesado del almidón, empacado y almacenamiento	 A clear plastic bag containing a yellow powder, likely starch, with a handwritten label that reads "P. 100 U.S." and "68-2329".

**Anexo H.2:** Cálculo para la pureza del almidón de plátano verde.

$$\% \text{ Pureza} = 100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ proteína} + \% \text{ extracto etéreo} + \% \text{ cenizas})$$

$$\% \text{ Pureza} = 100(7.15 - 3.9 - 3.23 - 6.54) = 79.19$$



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

---

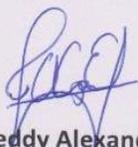
**RESULTADO DE ANALISIS**

Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 15 de febrero de 2019.  
Fecha de ingreso: 01 de febrero de 2019  
Tipo de Muestra: ALMIDON DE PLATANO VERDE  
Análisis solicitado: humedad, grasa, proteina y ceniza  
Usuario: Srita. Astrid Melissa Trujillo

	%			
id de mx	Humedad	Proteína	Extracto etéreo	Ceniza
MXU-001	7.15	3.9	3.23	6.54
Metodología	Gravimétrico	kjeldahl	Gravimétrico	Gravimétrico

Analista: Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”

  
Lic.M.Sc. Freddy Alexander Carranza  
Jefe del Departamento de Química Agrícola



**Figura H.1.** Análisis bromatológico para almidón de plátano verde

**Anexo H.3:** Valores para calcular la acidez titulable del almidón de plátano verde.

**Tabla H.2.**

*Datos obtenidos para la determinación de acidez titulable del almidón de plátano verde*

<b>Muestra</b>	<b>Alícuota de muestra (mL)</b>	<b>mL gastados de NaOH</b>	<b>Normalidad de NaOH</b>	<b>Acidez titulable (%)</b>
1	20	2.0	0.1	0.049
2	20	1.9	0.1	0.0466
3	20	1.9	0.1	0.0466

Ejemplo de cálculo:

Calculo para la muestra 1, se utiliza las Ecuaciones 1 del capítulo II. Sustituyendo se obtiene:

$$\% \text{ acidez} = \frac{2.0 * 0.1 * 0.049}{20} * 100 = 0.049$$

**Anexo H.4:** Valores para calcular índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento.

**Tabla H.3.**

*Datos obtenidos para calcular el índice de absorción de agua, índice de solubilidad y poder de hinchamiento del almidón de plátano verde*

<b>Muestra</b>	<b>Peso muestra (g)</b>	<b>Peso gel (g)</b>	<b>Peso seco sobrenadante (g)</b>
1	0.83	1.5533	0.0021
2	0.83	1.5797	0.006
3	0.83	1.5738	0.0111

Calculo para la muestra 1, se utiliza las Ecuaciones 2, 3 y 4 del capítulo II. Sustituyendo se obtiene:

$$\text{Índice de absorción de agua (IAA)} = \frac{1.5533 \text{ g}}{0.83 \text{ g}} = 1.8714$$

$$\text{Índice de solubilidad en agua (ISA \%)} = \frac{0.0021 \text{ g}}{0.83 \text{ g}} * 100 = 0.2530$$

$$\text{Poder de hinchamiento (PH)} = \frac{1.5533 \text{ g}}{0.83 \text{ g} - 0.0021} = 1.8782$$

**Anexo I:** Resultados de la caracterización como recubrimiento en prueba piloto.

En la Tabla I.1 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de las características del recubrimiento en el fruto durante los 7 días de estudio.

**Tabla I.1.**

*Observaciones realizadas a fresas recubiertas para la prueba piloto*

<b>Día</b>	<b>FP*</b>	<b>Fresa</b>	<b>Adhesión</b>	<b>Uniformidad</b>	<b>Color del fruto</b>	<b>Brillo del fruto</b>
1	1	1	P	P	P	P
		2	P	P	P	P
		3	P	P	P	P
	2	1	P	N	P	P
		2	P	P	P	P
		3	P	P	P	P
	3	1	P	P	P	P
		2	P	N	P	N
		3	P	N	N	P
2	1	1	P	P	P	P
		2	P	P	N	P
		3	P	P	N	P
	2	1	P	N	N	P
		2	P	P	N	P
		3	P	P	P	P
	3	1	P	P	N	P
		2	P	N	N	P
		3	P	N	N	P

\*: Formulación piloto

Continúa...

**Tabla I.1.***Observaciones realizadas a fresas recubiertas para la prueba piloto (Continuación)*

<b>Día</b>	<b>FP*</b>	<b>Fresa</b>	<b>Adhesión</b>	<b>Uniformidad</b>	<b>Color del fruto</b>	<b>Brillo del fruto</b>	
3	2	1	P	N	N	P	
		2	P	P	N	P	
		3	P	P	N	P	
	3	1	P	N	N	N	P
		2	P	N	N	N	P
		3	P	N	N	N	P
6	1	1	P	P	P	P	
		2	P	P	N	P	
		3	P	P	N	P	
	2	1	P	N	N	N	P
		2	P	N	N	N	P
		3	P	P	N	N	P
	3	1	P	N	N	N	P
		2	P	N	N	N	P
		3	P	N	N	N	N
7	1	1	P	P	P	P	
		2	P	N	N	N	
		3	P	P	N	N	
	2	1	P	N	N	N	N
		2	P	N	N	N	P
		3	P	N	N	N	P
	3	1	P	N	N	N	N
		2	P	N	N	N	N
		3	P	N	N	N	N

\*: Formulación piloto

En la Tabla I.2 se presentan los puntajes para cada formulación durante los días de estudio.

**Tabla I.2.***Puntajes para cada formulación utilizada en el recubrimiento en fresas para la prueba piloto*

<b>Día</b>	<b>FP*</b>	<b>Fresa</b>	<b>Adhesión</b>	<b>Uniformidad</b>	<b>Color del fruto</b>	<b>Brillo del fruto</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Promedio</b>	
1	1	1	1	1	1	1	4	4	
		2	1	1	1	1	4		
		3	1	1	1	1	4		
	2	1	1	0.5	1	1	3.5	3.8333	
		2	1	1	1	1	4		
		3	1	1	1	1	4		
	3	1	1	1	1	1	1	4	3.3333
		2	1	0.5	1	1	0.5	3	
		3	1	0.5	0.5	0.5	1	3	
2	1	1	1	1	1	1	4	3.6667	
		2	1	1	0.5	1	3.5		
		3	1	1	0.5	1	3.5		
	2	1	1	0.5	0.5	1	1	3	3.5
		2	1	1	0.5	1	3.5		
		3	1	1	1	1	4		
	3	1	1	1	1	0.5	1	3.5	3.1667
		2	1	0.5	0.5	0.5	1	3	
		3	1	0.5	0.5	0.5	1	3	
3	1	1	1	1	1	1	4	3.6667	
		2	1	1	0.5	1	3.5		
		3	1	1	0.5	1	3.5		
	2	1	1	0.5	0.5	1	1	2	
		2	1	1	1	0.5	1	3.5	

\*: Formulación piloto

Continúa...

**Tabla I.2.**

*Puntajes para cada formulación utilizada en el recubrimiento en fresas para la prueba piloto (Continuación)*

<b>Día</b>	<b>FP*</b>	<b>Fresa</b>	<b>Adhesión</b>	<b>Uniformidad</b>	<b>Color del fruto</b>	<b>Brillo del fruto</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Promedio</b>
3	2	3	1	1	0.5	1	3.5	3
	3	1	1	0.5	0.5	1	3	3
		2	1	0.5	0.5	1	3	
		3	1	0.5	0.5	1	3	
6	1	1	1	1	1	1	4	3.6667
		2	1	1	0.5	1	3.5	
		3	1	1	0.5	1	3.5	
	2	1	1	0.5	0.5	1	3	3.1667
		2	1	0.5	0.5	1	3	
		3	1	1	0.5	1	3.5	
	3	1	1	0.5	0.5	1	3	2.8333
		2	1	0.5	0.5	1	3	
		3	1	0.5	0.5	0.5	2.5	
7	1	1	1	1	1	1	4	3.5
		2	1	0.5	0.5	0.5	3.5	
		3	1	1	0.5	0.5	3	
	2	1	1	0.5	0.5	0.5	3.5	1.0556
		2	1	0.5	0.5	1	3	
		3	1	0.5	0.5	1	3	
	3	1	1	0.5	0.5	0.5	2.5	2.5
		2	1	0.5	0.5	0.5	2.5	
		3	1	0.5	0.5	0.5	2.5	

\*: Formulación piloto

En la Tabla I.3 se presentan los pesos de las fresas obtenidos de cada medición realizada a las tres formulaciones y a las fresas sin recubrimiento (FP0).

**Tabla I.3.***Pesos de las fresas con recubrimiento y sin recubrimiento para la prueba piloto*

Formulación piloto (FP)	Fresa	Peso inicial (g)	Peso día 1 (g)	Peso día 2 (g)	Peso día 3 (g)	Peso día 6 (g)	Peso día 7 (g)
0*	1	11.83	11.64	11.36	11.24	10.67	10.46
	2	9.23	9.03	8.87	8.64	8.41	7.82
	3	11.8	11.57	11.44	11.17	10.48	10.33
1	1	15.84	15.51	15.48	15.32	14.69	14.06
	2	17.72	17.39	17.17	16.96	16.22	15.97
	3	18.64	18.24	17.98	17.73	16.9	16.97
2	1	10.09	9.86	9.71	9.53	8.95	8.76
	2	10.96	10.68	10.46	10.25	9.45	9.24
	3	10.74	10.57	10.39	10.19	9.52	9.33
3	1	10.07	9.88	9.68	9.44	8.84	8.67
	2	12.2	11.91	11.67	11.36	10.59	10.38
	3	10.16	9.97	9.8	9.55	8.84	8.64

\*: Fresa sin recubrimiento

A partir de los datos de la tabla anterior y la Ecuación 14, se obtienen los porcentajes de pérdida de peso que se presenta en la Tabla I.3.

$$Pp = \left( \frac{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso final (g)}}{\text{Peso inicial (g)}} \right) * 100 \quad (14)$$

Por ejemplo para día 2, FP1, fresa 1.

$$Pp = \left( \frac{15.84 \text{ g} - 15.48}{15.84} \right) * 100 = 2.2727$$

**Tabla I.4.***Porcentaje de pérdida de peso para cada fresa con recubrimiento y sin recubrimiento para prueba piloto*

FP*	Fresas	Porcentaje de pérdida de peso				
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 6	Día 7
FP0	1	1.6061	3.9730	4.9873	9.8056	11.5807
	2	2.1668	3.9003	6.3922	8.8841	15.2763
	3	1.9492	3.0508	5.3390	11.1864	12.4576
FP1	1	2.0833	2.2727	3.2828	7.2601	11.2374
	2	1.8623	3.1038	4.2889	8.4650	9.8758
	3	2.1459	3.5408	4.8820	9.3348	8.9592
FP2	1	2.2795	3.7661	5.5500	11.2983	13.1814
	2	2.5547	4.5620	6.4781	13.7774	15.6934
	3	1.5829	3.2588	5.1210	11.3594	13.1285
FP3	1	1.8868	3.8729	6.2562	12.2145	13.9027
	2	2.3770	4.3443	6.8852	13.1967	14.9180
	3	1.8701	3.5433	6.0039	12.9921	14.9606

\*: Formulación piloto

A partir de los datos anteriores se obtienen los promedios de pérdida de peso para cada formulación, las cuales se muestran en la Tabla I.3.

**Tabla I.5.***Pérdida de peso para fresas con recubrimiento y sin recubrimiento para prueba piloto*

Formulación piloto (FP)	Días de observación				
	1	2	3	6	7
FP0	1.9074	3.6414	5.5728	9.9587	13.1049
FP1	2.0305	2.9724	4.1512	8.3533	10.0241
FP2	1.6043	2.8967	5.7164	12.1450	14.0011
FP3	2.0446	3.9202	6.3818	12.8011	14.5938

**Anexo J:** Resultados de caracterización de las biopelículas.

**Anexo J.1:** Permeabilidad al vapor de agua (WVP) de cada formulación.

**Tabla: J.1.**

*Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F1*

Tiempo (h)	F1					
	M1neto (g)	Aumento (g)	M2neto (g)	Aumento (g)	M3neto (g)	Aumento (g)
0	4.3590	0.0000	3.7344	0.0000	4.0866	0.0000
1	4.3633	0.0043	3.7370	0.0026	4.0889	0.0023
2	4.3646	0.0056	3.7370	0.0026	4.0901	0.0035
3	4.3686	0.0096	3.7482	0.0138	4.0921	0.0055
19	4.3688	0.0098	3.7493	0.0149	4.0924	0.0058
20	4.3688	0.0098	3.7500	0.0156	4.0927	0.0061
21	4.3696	0.0106	3.7504	0.0160	4.0927	0.0061
22	4.3698	0.0108	3.7513	0.0169	4.0928	0.0062
23	4.3705	0.0115	3.7522	0.0178	4.0931	0.0065
24	4.3706	0.0116	3.7528	0.0184	4.0932	0.0066
25	4.3711	0.0121	3.7536	0.0192	4.0935	0.0069
26	4.3714	0.0124	3.7545	0.0201	4.0937	0.0071
49	4.3854	0.0264	3.7781	0.0437	4.0937	0.0071
121	4.4264	0.0674	3.8571	0.1227	4.1360	0.0494
145	4.4567	0.0977	3.8579	0.1235	4.1464	0.0598
169	4.4568	0.0978	3.8885	0.1541	4.1679	0.0813
193	4.4887	0.1297	3.9283	0.1939	4.1879	0.1013
217	4.5239	0.1649	3.9682	0.2338	4.2054	0.1188
289	4.5797	0.2207	4.0562	0.3218	4.2275	0.1409
337	4.6138	0.2548	4.1166	0.3822	4.2620	0.1754
361	4.6315	0.2725			4.2642	0.1776
385	4.7088	0.3498			4.3049	0.2183

Continúa...

**Tabla J.1.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F1 (Continuación)*

<b>Tiempo</b> <b>(h)</b>	<b>F1</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
409	4.7875	0.4285			4.3547	0.2681
433	4.8532	0.4942			4.3915	0.3049
457					4.4158	0.3292
481					4.4622	0.3756
501					4.4909	0.4043
577					4.5287	0.4421

**Tabla J.2.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F2*

<b>Tiempo</b> <b>(h)</b>	<b>F2</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
0	4.0115	0.0000	4.0495	0.0000	4.0873	0.000
1	4.0179	0.0064	4.0525	0.0030	4.0899	0.0026
2	4.0193	0.0078	4.0531	0.0036	4.0910	0.0037
3	4.0481	0.0366	4.0636	0.0141	4.0992	0.0119
19	4.0495	0.0380	4.0641	0.0146	4.0999	0.0126
20	4.0500	0.0385	4.0648	0.0153	4.1002	0.0129
21	4.0511	0.0396	4.0650	0.0155	4.1002	0.0129
22	4.0521	0.0406	4.0654	0.0159	4.1004	0.0131
23	4.0530	0.0415	4.0663	0.0168	4.1009	0.0136
24	4.0536	0.0421	4.0665	0.0170	4.1009	0.0136
25	4.0543	0.0428	4.0669	0.0174	4.1014	0.0141
26	4.0547	0.0432	4.072	0.0177	4.1019	0.0146
49	4.0770	0.0655	4.0863	0.0368	4.1170	0.0297
121	4.1578	0.1463	4.1525	0.1029	4.1750	0.0877

Continúa...

**Tabla J.2.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F2 (Continuación)*

<b>Tiempo (h)</b>	<b>F2</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
145	4.1885	0.1770	4.1728	0.1233	4.1755	0.0882
169	4.2191	0.2076	4.2130	0.1635	4.2062	0.1189
193	4.2421	0.2306	4.2204	0.1709	4.2368	0.1495
217	4.3165	0.3050	4.2504	0.2009	4.2721	0.1848
289	4.4187	0.4072	4.3516	0.3021	4.3601	0.2728
313			4.3879	0.3384	4.3634	0.2761
337			4.4037	0.3542	4.4110	0.3237
361			4.4279	0.3784	4.4386	0.3513
385			4.4401	0.3906	4.4558	0.3685
409			4.6009	0.5514	4.5121	0.4248
433			4.7104	0.6609	4.5832	0.4959
457			4.8300	0.7805	4.6334	0.5461

**Tabla J.3.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F3*

<b>Tiempo (h)</b>	<b>F3</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
0	4.7440	0.0000	4.1869	0.0000	4.4787	0.0000
1	4.7463	0.0023	4.1923	0.0054	4.4791	0.0004
2	4.7471	0.0031	4.1951	0.0082	4.4806	0.0019
3	4.7546	0.0106	4.2215	0.0346	4.4909	0.0122
19	4.7548	0.0108	4.2222	0.0353	4.4909	0.0122
20	4.7550	0.0110	4.2229	0.0360	4.4910	0.0123
21	4.7552	0.0112	4.2235	0.0366	4.4914	0.0127

Continúa...

**Tabla J.3.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F3 (Continuación)*

<b>Tiempo (h)</b>	<b>F3</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
22	4.7556	0.0116	4.2237	0.0368	4.4914	0.0127
23	4.7558	0.0118	4.2242	0.0373	4.4915	0.0128
24	4.7560	0.0120	4.2262	0.0393	4.4918	0.0131
25	4.7564	0.0124	4.2294	0.0425	4.4920	0.0133
26	4.7569	0.0129	4.2474	0.0605	4.4922	0.0135
49	4.7738	0.0298	4.2749	0.0880	4.5042	0.0255
121	4.8440	0.1000	4.3733	0.1864	4.5485	0.0698
145	4.8646	0.1206	4.4046	0.2177	4.5687	0.0900
169	4.8854	0.1414	4.4286	0.2417	4.5821	0.1034
193	4.9296	0.1856	4.4562	0.2693	4.6153	0.1366
217	4.9753	0.2313	4.4812	0.2943	4.6481	0.1694
289	5.0730	0.3290	4.5103	0.3234	4.7142	0.2355
313	5.0973	0.3533	4.5298	0.3429	4.7329	0.2542
337	5.1264	0.3824	4.5485	0.3616	4.7546	0.2759
361	5.1663	0.4223	4.5689	0.3820	4.7735	0.2948
385	5.1795	0.4355	4.5974	0.4105	4.8086	0.3299
409	5.2821	0.5381	4.6631	0.4762	4.8811	0.4024
433					4.9264	0.4477
457					4.9632	0.4845

**Tabla J.4.***Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F4*

<b>Tiempo</b>	<b>F4</b>					
	<b>M1neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M2neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>	<b>M3neto (g)</b>	<b>Aumento (g)</b>
0	3.7437	0.0000	4.8577	0.0000	4.6961	0.0000
1	3.7448	0.0011	4.8579	0.0002	4.6993	0.0032
2	3.7464	0.0027	4.8597	0.0020	4.7008	0.0047
3	3.7503	0.0066	4.8676	0.0099	4.7123	0.0162
19	3.7505	0.0068	4.8677	0.0100	4.7124	0.0163
20	3.7505	0.0068	4.8677	0.0100	4.7124	0.0163
21	3.7506	0.0069	4.8677	0.0100	4.7126	0.0165
22	3.7506	0.0069	4.8680	0.0103	4.7126	0.0165
23	3.7507	0.0070	4.8681	0.0104	4.7127	0.0166
24	3.7509	0.0072	4.8683	0.0106	4.7128	0.0167
25	3.7520	0.0083	4.8685	0.0108	4.7129	0.0168
26	3.7522	0.0085	4.8686	0.0109	4.7129	0.0168
49	3.7599	0.0162	4.8765	0.0188	4.7236	0.0275
121	3.7989	0.0552	4.9019	0.0442	4.7544	0.0583
145	3.8197	0.0760	4.9221	0.0644	4.7745	0.0784
169	3.8306	0.0869	4.9424	0.0847	4.7993	0.1032
193	3.8519	0.1082	4.9605	0.1028	4.8141	0.1180
217	3.8718	0.1281	4.9830	0.1253	4.8291	0.1330
289	3.9304	0.1867	5.0205	0.1628	4.8838	0.1877
313	3.9515	0.2078	5.0441	0.1864	4.8978	0.2017
337	3.9806	0.2369	5.0714	0.2137	4.9077	0.2116
361	4.0130	0.2693	5.0944	0.2367	4.9138	0.2177
385	4.0529	0.3092	5.1180	0.2603	4.9415	0.2454
409	4.0714	0.3277	5.1356	0.2779	4.9675	0.2714

Continúa...

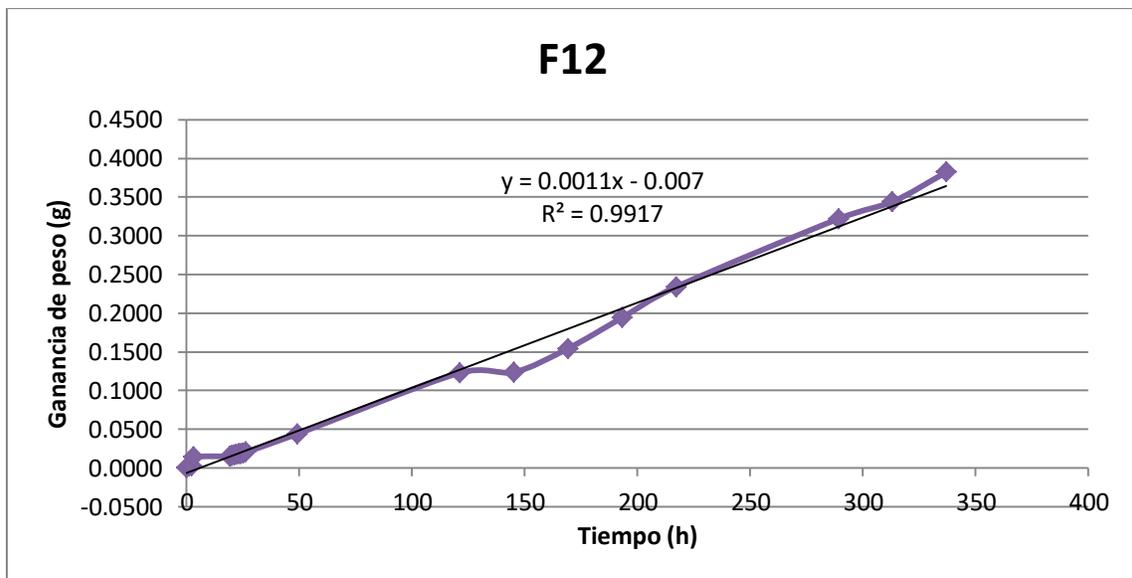
**Tabla J.4.**

*Registro de aumento de peso del cloruro de calcio para formulación F4 (continuación)*

Tiempo (h)	F4					
	M1neto (g)	Aumento (g)	M2neto (g)	Aumento (g)	M3neto (g)	Aumento (g)
433	4.1066	0.3629	5.1624	0.3047	5.0001	0.3040
457	4.1625	0.4188	5.1967	0.3390	5.0369	0.3408
481			5.2379	0.3802	5.1312	0.4351
501			5.2510	0.3933	5.1736	0.4775
577			5.3243	0.4666		
601			5.3712	0.5135		

Ejemplo de cálculo:

Para determinar la permeabilidad del vapor de agua de la formulación F1, muestra 2 y generar la Tabla 3.14, se parte graficando la ganancia de peso (g) versus tiempo (h) (ver gráfica J.1), tiempo donde se obtuvo el 10% más del peso inicial del desecante. A partir de la gráfica se obtiene el coeficiente de determinación  $R^2$  y la diferencia de masa a través del tiempo que es la pendiente.



**Figura J.1.** Gráfica ganancia de peso (g) versus tiempo para la formulación F1

Se calcula el área de la película expuesta a partir del área del círculo  $\pi r^2$ , donde  $r$  es el radio del tubo de ensayo utilizado para la prueba. Este valor permanece constante para todas las formulaciones, calculado el área, se calcula su inverso.

A partir del producto entre el inverso del área y la pendiente se obtiene el índice de transferencia al vapor de agua.

Para determinar la permeanza se utiliza la ecuación 16:

$$\text{permeanza} = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \quad (16)$$

En donde:

WVT: Índice de transferencia al vapor de agua, ya se calculó anteriormente.

S: Presión de vapor de saturación del agua a la temperatura experimental.

$R_1$ : Humedad relativa de la cámara, en fracción.

$R_2$ : Humedad relativa interna del tubo de ensayo, en fracción.

Calculando se tiene:

S: Presión de vapor a temperatura experimental  $23^\circ\text{C}$ ,  $S=2808$  Pa, obtenido de la tabla F.1 del libro Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química.

$R_1$ : De acuerdo a las condiciones promedio para el territorio salvadoreño según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales  $74\% = 0.74$ .

$R_2$ : Es igual a cero ya que el tubo contenía un desecante llevado a 0 de humedad.

Con los valores obtenidos se sustituye la ecuación 16.

Para determinar la permeabilidad al vapor de agua (WVP), se obtiene del producto entre el índice de transferencia al vapor de agua y el espesor de la película.

**Anexo K:** Resultados de parámetros de calidad de fresas con recubrimiento

**Anexo K.1:** Sólidos solubles totales (°Brix).

**Tabla K.1.**

*Registro de datos por triplicado de sólidos solubles totales para fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento*

<b>Lecturas de °BRIX/ almacenamiento (días)</b>						
<b>Formulación</b>	<b>Muestra</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	1	8.3	9.0	9.0	10.0	13.0
	2	8.3	8.3	9.0	10.0	14.0
	3	8.3	8.3	9.0	10.0	14.0
F1	1	10.0	9.3	8.3	10.2	12.0
	2	10.0	10.0	8.3	10.2	12.1
	3	10.0	10.0	8.3	10.2	12.1
F2	1	9.0	11.8	11.0	10.0	9.2
	2	9.0	12.0	11.0	10.0	9.2
	3	9.0	12.0	11.0	10.0	9.2
F3	1	9.0	8.2	7.0	8.2	9.2
	2	9.1	8.3	7.0	8.2	9.3
	3	9.2	8.2	7.0	8.2	9.4
F4	1	8.0	9.1	7.0	10.0	11.3
	2	8.2	9.0	7.0	10.0	11.3
	3	8.1	9.1	7.0	10.0	11.3

**Anexo K.2:** Pérdida de peso (humedad).

**Tabla K.1.**

*Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas sin recubrimiento F0*

<b>Pérdida de peso (g)/almacenamiento (días)</b>															
<b>F</b>	<b>Peso inicial (Día 0)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 17</b>	<b>Día 18</b>
F0	10.14	10.11	9.96												
	10.58	10.48	10.43												
	12.61	12.47	12.41												
	13.09	12.97	12.95												
	8.04	7.96	7.94												
	8.42	8.32	8.17	8.06	7.90	7.59	7.54	7.40	7.37	7.22	7.11				
	8.96	8.86	8.77	8.70	8.60	8.42	7.77	7.72	7.54	7.38	6.66	6.57	6.50	6.40	6.22
	8.37	8.29	8.21	8.20	8.16	7.85	7.68	7.53	7.41	7.30	6.95	6.87	6.83	6.52	6.35
	10.62	10.55	10.47	10.43	10.41	10.15									
	5.61	5.58	5.54	5.53	5.48	5.42									
	7.66	7.58	7.43	7.38	7.33	7.13	6.31	6.20	6.06	5.90	5.70	5.55	5.50	5.45	5.25
	7.84	7.77	7.61	7.51	7.40	7.15									
	6.61	6.56	6.43	6.38	6.34	6.13									
	6.42	6.37	6.28	6.27	6.21	6.08									

Continúa...

**Tabla K.1:***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas sin recubrimiento F0 (Continuación)*

Pérdida de peso (g)/almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F0	7.95	7.89	6.55	6.48	6.44	6.00	5.39	5.28	5.23	5.17	5.00				

**Tabla K.2.***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F1*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F1	6.87	6.82	6.71												
	6.43	6.31	6.28												
	8.77	8.65	8.59												
	7.63	7.51	7.50												
	6.31	6.29	6.11												
	6.80	6.72	6.57	6.52	6.44	6.01									
	6.27	6.19	6.10	6.09	6.03	5.70									
	6.18	6.11	6.05	6.01	6.00	5.96									

Continúa...

**Tabla K.2.**

*Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F1 (Continuación)*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
<b>F</b>	<b>Peso inicial (Día 0)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 17</b>	<b>Día 18</b>
F1	6.71	6.63	6.31	6.26	6.21	6.01									
	5.63	5.59	5.57	5.52	5.54	5.40									
	3.77	3.73	3.63	3.51	3.41	3.27									
	6.34	6.28	6.15	6.10	6.01	5.93	5.87	5.77	5.62	5.61					
	7.01	6.92	6.83	6.42	6.45	6.18	5.57	5.52	5.43	5.37	5.16	5.04	5.03	4.96	4.88
	7.78	7.71	7.63	7.54	7.24	6.60	6.53	6.50	6.47	6.31	6.15	6.09			
	8.99	8.96	8.86	8.54	8.78	8.71	8.69	8.57	8.20						
	7.79	7.72	7.60	7.41	7.53	7.42	7.29	7.13	6.47	6.44	6.43	6.41	6.14	6.00	5.96
	7.16	7.10	6.99	6.85	6.70	6.53	6.50	5.85	5.72	5.66	5.60	5.49	5.27	5.21	5.10
	8.88	8.81	8.72	8.48	8.41	8.35	8.26	8.23	8.14	8.06	8.05				
	10.85	10.32	10.26	10.14	10.10	10.08	9.85	9.75	9.64						
5.36	5.33	5.32	5.27	5.24	5.00	4.95	4.93	4.85	4.81	4.62	4.47	4.38	4.32	4.24	

**Tabla K.3.**

*Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F2*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F2	5.87	5.83	5.75	5.86	5.8	5.7	5.57	5.5	5.43	5.36	5.29	5.25	5.2	5.15	5.02
	8.2	8.12	8.07	7.92	7.89	7.86	7.65	7.59	7.52	7.43	7.11	6.92	6.82	6.79	6.68
	8.03	7.98	7.94												
	8.49	8.43	8.41												
	10.52	10.48	10.46												
	6.11	6.01	5.92												
	8.2	8.05	7.98	7.81	7.74	7.67									
	7.49	7.39	7.36	7.32	7.31	7.3									
	7.99	7.87	7.81	7.75	7.69	7.65									
	6.37	6.33	6.24	6.15	6.03	5.93									
	8.41	8.3	8.15	8.03	7.89	7.65	7.3	7.16	7	6.91	6.82				
	7.18	7.08	7.04	6.98	6.94	6.85									
	7.24	7.16	7.09	7.03	7.01	6.95									
	6.25	6.16	6.11	6.03	5.95	5.84									
	6.56	6.5	6.48	6.44	6.41	6.3	6.14	6.02	5.9	5.84	5.81	5.77	5.75	5.69	5.67

Continúa...

**Tabla K.3.***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F2 (Continuación)*

<b>Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)</b>															
<b>F</b>	<b>Peso inicial (Día 0)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 17</b>	<b>Día 18</b>
F2	8.96	8.83	8.7	8.61	8.56	8.3	8.03	8.02	7.94	7.84	7.46				
	9.11	8.99	8.92	8.87	8.82	8.77	8.62	8.6	8.57						
	7.77	7.69	7.61	7.53	7.45	7.35	7.1	7.03	6.91	6.86	6.81				
	10.45	10.39	10.31	10.23	10.17	10.09	9.87	9.74	9.57	9.48	9.12	8.95	8.81	8.75	8.62
	10.88	10.79	10.79	10.7	10.69	10.67	10.5	10.26	9.94						
	5.52	5.5	5.44	5.39	5.34	5.27	5.02	4.86	4.7	4.61	4.24	4.1	4.01	3.92	4.09

**Tabla K.4.***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F3*

<b>Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)</b>															
<b>F</b>	<b>Peso inicial (Día 0)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 17</b>	<b>Día 18</b>
F3	13.18	13.13	13.00	12.97	12.75	12.53	12.08	11.63	11.54						
	12.38	12.37	12.15												
	14.43	14.37	14.35												

Continúa...

**Tabla K.4.**

*Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F3 (Continuación)*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F3	8.53	8.51	8.38	8.31	8.18	8.04	8.00	7.98	7.96	7.80	7.64	7.58	7.49	7.36	7.29
	10.49	10.48	10.37												
	13.4	13.30	13.09												
	11.78	11.70	11.62	11.52	11.43	11.33									
	15.71	15.58	15.51	15.37	15.27	15.16	14.83	14.67	14.59	14.38	14.36	14.34	14.29	14.25	14.23
	11.8	11.79	11.66	11.59	11.51	11.41	11.31	11.18	11.11	10.92	10.88	10.50	10.63	10.48	10.15
	10.89	10.81	10.66	10.55	10.42	10.28	10.11	10.01	9.98	9.88	9.74	9.63	9.56	9.41	9.38
	11.46	11.42	11.22	11.08	10.86	10.63	10.25	10.21	10.16						
	13.55	13.50	13.45	13.39	13.26	13.12	12.94	12.91	12.87	12.87	12.74	12.54	12.43	12.35	12.15
	12.93	12.83	12.73	12.62	12.58	12.54	12.43	12.32	12.16	11.99	11.80				
	11.45	11.41	11.35	11.22	11.11	11.00	10.82	10.63	10.45	10.26	10.07				
	14.28	14.22	14.13	14.01	13.91	13.80	13.35	13.11	12.87						
	9.87	9.87	9.72	9.61	9.45	9.28	9.22	9.20	9.18	9.09	8.90	8.82	8.75	8.70	8.51
	10.84	10.80	10.70	10.66	10.65	10.63									
12.92	12.88	12.82	12.71	12.59	12.47	12.37	12.23	12.17							

Continúa...

**Tabla K.4.***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F3 (Continuación)*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F3	19.82	19.78	19.68	19.54	19.26	18.98	18.80	18.79	18.74	18.60	18.25	18.03	17.87	17.55	17.53
	5.75	5.71	5.70												

**Tabla K.5.***Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F4*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
F	Peso inicial (Día 0)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18
F4	5.51	5.51	5.34												
	7.01	6.99	6.83												
	9.23	9.14	8.88												
	6.06	6.01	5.86												
	6.61	6.56	6.39	6.29	6.13	5.96	5.95	5.86	5.8	5.79	5.76	5.6	5.59	5.51	5.38
	9.47	9.36	9.18	9.13	9.08	8.89									
	6.91	6.82	6.66	6.41	6.40	6.26									

Continúa...

**Tabla K.5.**

*Registro de pérdida de peso (humedad) para fresas con recubrimiento F4 (Continuación)*

Pérdida de peso (g)/ almacenamiento (días)															
<b>F</b>	<b>Peso inicial (Día 0)</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 15</b>	<b>Día 16</b>	<b>Día 17</b>	<b>Día 18</b>
F4	6.34	6.32	6.26	6.14	6.12	5.88	5.79	5.75	5.74	5.72	5.6	5.56	5.4	5.36	5.29
	7.76	7.69	7.55												
	8.22	8.16	8.07	7.98	7.81	7.55									
	8.42	8.31	8.14	8.07	8.01	7.82	7.81	7.79	7.7	7.68	7.48				
	11.05	10.87	10.74	10.69	10.65	10.61									
	6.43	6.41	6.32	6.3	6.26	5.98	5.77	5.61	5.59	5.48	5.36	5.17	5.13	5.1	5.08
	6.57	6.47	6.29												
	4.97	4.91	4.88	4.82	4.81	4.8	4.7	4.67	4.65						
	5.8	5.78	5.72	5.59	5.53	5.36	5.27	5.22	5.17	4.92	4.85	4.8	4.81	4.77	4.73
	5.62	5.56	5.41	5.36	5.32	5.22	5.1	4.99	4.91	4.81	4.69				
	5.14	5.06	4.98	4.94	4.93	4.9	4.81	4.84	4.72	4.71	4.69	4.66	4.62	4.47	4.43
	6.86	6.79	6.41	6.37	6.32	6.26	6.13	6.07	6.03	5.99	5.85	5.82	5.77	5.66	5.4
	6.21	6.15	6.09	6.03	5.97	5.59	5.53	5.43	5.39	5.27	5.18	5.05	5.02	4.93	4.72
	10.36	10.28	10.14	10.03	9.94	9.73	9.62	9.58	9.50						
8.53	8.44	8.28	8.20	8.14	7.84	7.92	7.77	7.73	7.71	7.64					

**Anexo K.3:** Determinación de pH.

**Tabla K.6.**

*Registro de datos por triplicado de pH para fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento*

<b>Lecturas de pH/ almacenamiento (días)</b>						
<b>Formulación</b>	<b>Muestra</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	1	3.3	3.6	3.5	3.7	3.9
	2	3.4	3.7	3.5	3.7	3.9
	3	3.4	3.4	3.5	3.7	3.9
F1	1	3.6	3.8	3.4	3.8	3.7
	2	3.6	3.8	3.4	3.8	3.7
	3	3.6	3.8	3.4	3.8	3.7
F2	1	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6
	2	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6
	3	3.5	3.5	3.6	3.7	3.6
F3	1	3.5	3.6	3.5	3.5	3.7
	2	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7
	3	3.3	3.6	3.5	3.5	3.7
F4	1	3.4	3.6	3.5	3.6	3.6
	2	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6
	3	3.4	3.6	3.5	3.6	3.6

**Anexo K.4:** Determinación de acidez titulable.

**Tabla K.7.**

*Registro de datos por triplicado de acidez titulable (gramos de ácido cítrico/L de muestra) para fresas sin recubrimiento y fresas con recubrimiento*

<b>Acidez (Gramos de ácido cítrico/L de muestra)/ almacenamiento (días)</b>						
<b>Formulación</b>	<b>Muestra</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 14</b>	<b>Día 18</b>
F0	1	0.42	0.51	0.45	0.61	0.32
F0	2	0.38	0.54	0.4	0.64	0.29
F0	3	0.45	0.48	0.54	0.67	0.35
F1	1	0.58	0.38	0.45	0.7	0.32
F1	2	0.58	0.45	0.42	0.77	0.32
F1	3	0.58	0.35	0.38	0.58	0.32
F2	1	0.51	0.45	0.35	0.64	0.32
F2	2	0.48	0.42	0.35	0.67	0.32
F2	3	0.51	0.35	0.26	0.48	0.29
F3	1	0.54	0.35	0.35	0.67	0.19
F3	2	0.51	0.38	0.32	0.58	0.22
F3	3	0.54	0.38	0.32	0.58	0.16
F4	1	0.7	0.35	0.74	0.7	0.45
F4	2	0.64	0.45	0.58	0.67	0.38
F4	3	0.61	0.35	0.51	0.58	0.35

**Anexo L: Resultados de análisis sensorial.**

**Anexo L.1: Resultados de aceptabilidad y de preferencia para análisis sensorial 1.**

**Tabla L.1.**

*Resultados de las pruebas de aceptabilidad y de preferencia*

Panelista	Formulación	Grado de aceptación				Preferencia
		Sabor	Color	Olor	Textura	
1	F2	1	5	6	6	F3
	F3	5	3	6	3	
2	F2	2	6	6	6	F3
	F3	7	6	4	6	
3	F2	3	3	3	5	F3
	F3	5	5	4	4	
4	F2	5	6	4	7	F3
	F3	7	5	7	7	
5	F2	5	6	4	6	F3
	F3	7	6	7	6	
6	F2	6	6	5	6	F3
	F3	7	6	6	6	
7	F2	3	6	4	5	F3
	F3	6	6	6	7	
8	F2	6	7	6	7	F2
	F3	5	6	4	7	
9	F2	4	5	4	6	F2
	F3	4	3	4	5	
10	F2	6	5	6	6	F2
	F3	5	4	7	5	
11	F2	6	6	4	6	F3

*Continúa...*

**Tabla L.1.***Resultados de las pruebas de aceptabilidad y de preferencia (Continuación)*

Panelista	Formulación	Grado de aceptación				Preferencia
		Sabor	Color	Olor	Textura	
11	F3	3	6	4	6	F3
12	F2	5	4	5	4	F2
	F3	6	5	4	4	
13	F2	7	5	5	6	F2
	F3	6	4	4	5	
14	F2	4	6	5	6	F3
	F3	4	6	5	6	
15	F2	7	6	7	6	F2
	F3	5	6	7	6	
16	F2	7	6	7	6	F2
	F3	6	6	7	6	
17	F2	7	6	6	6	F3
	F3	7	6	5	6	
18	F2	7	6	7	7	F3
	F3	7	7	5	7	
19	F2	6	7	6	6	F2
	F3	3	7	4	7	
20	F2	4	5	5	4	F3
	F3	5	6	3	3	
21	F2	5	5	4	4	F2
	F3	3	6	6	6	
22	F2	4	4	4	4	F3
	F3	7	7	6	7	
23	F2	6	6	6	7	F3

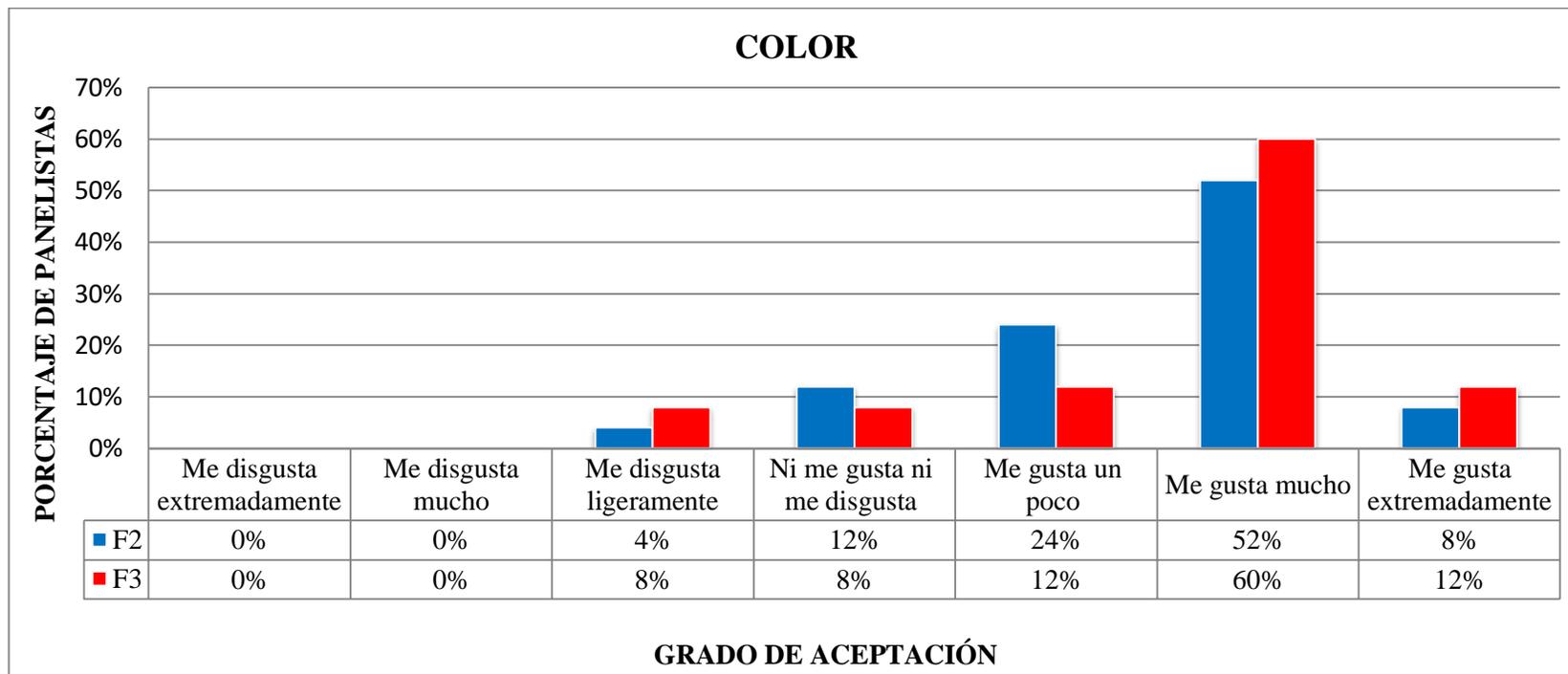
Continúa...

**Tabla L.1.***Resultados de las pruebas de aceptabilidad y de preferencia (Continuación)*

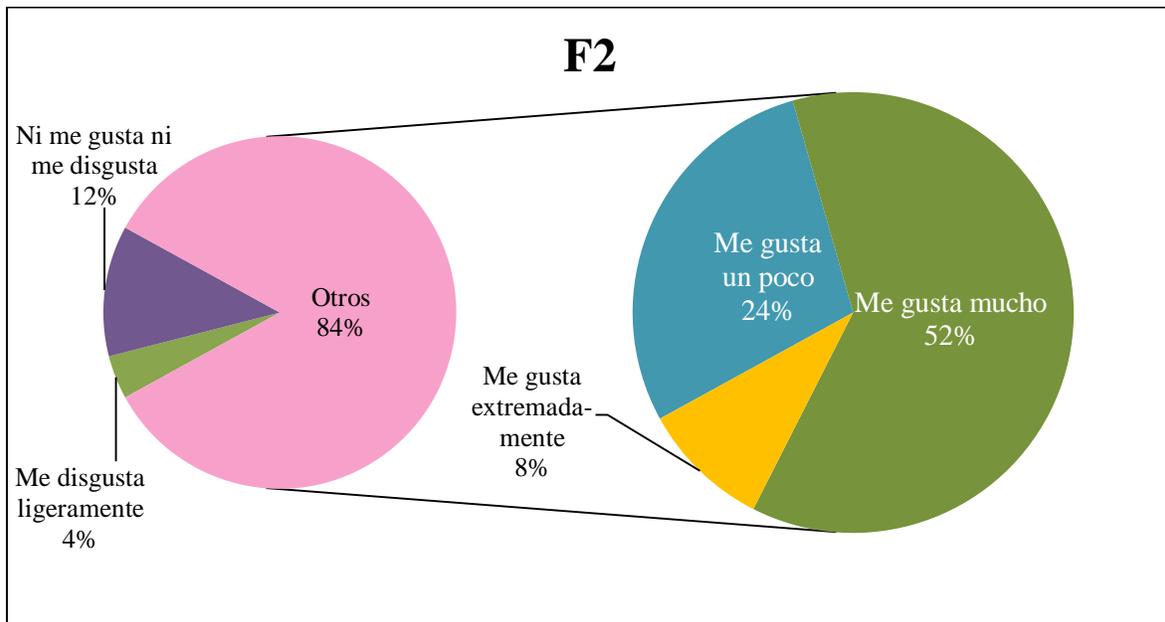
Panelista	Formulación	Grado de aceptación				Preferencia
		Sabor	Color	Olor	Textura	
23	F3	7	6	3	6	F3
24	F2	3	4	4	4	F3
	F3	5	6	5	5	
25	F2	5	6	3	3	F3
	F3	7	6	7	6	

**Tabla L.2.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo color*

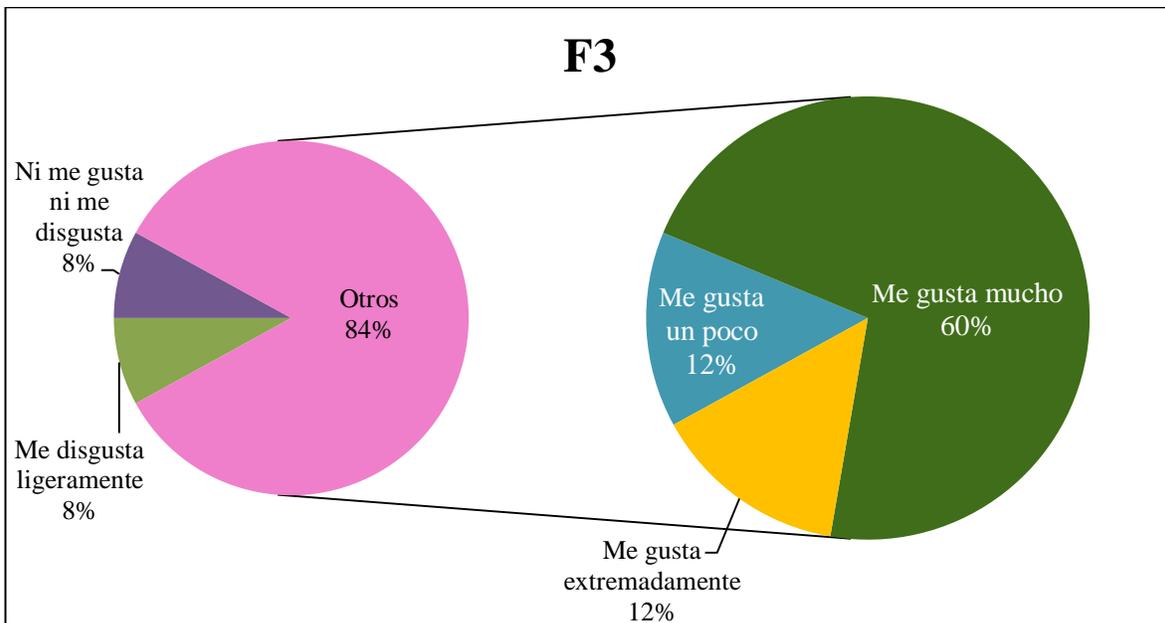
Puntaje	Grado de aceptación	F2			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	1	4%	0.12	2	8%	0.24
4	Ni me gusta ni me disgusta	3	12%	0.48	2	8%	0.32
5	Me gusta un poco	6	24%	1.20	3	12%	0.60
6	Me gusta mucho	13	52%	3.12	15	60%	3.60
7	Me gusta extremadamente	2	8%	0.56	3	12%	0.84
TOTAL		25	100%	$\Sigma=5.48$	25	100%	$\Sigma=5.60$
Media ponderada:		5.48 $\approx$ 5.5			5.6		



*Figura L.1.* Frecuencia de respuestas para atributo color



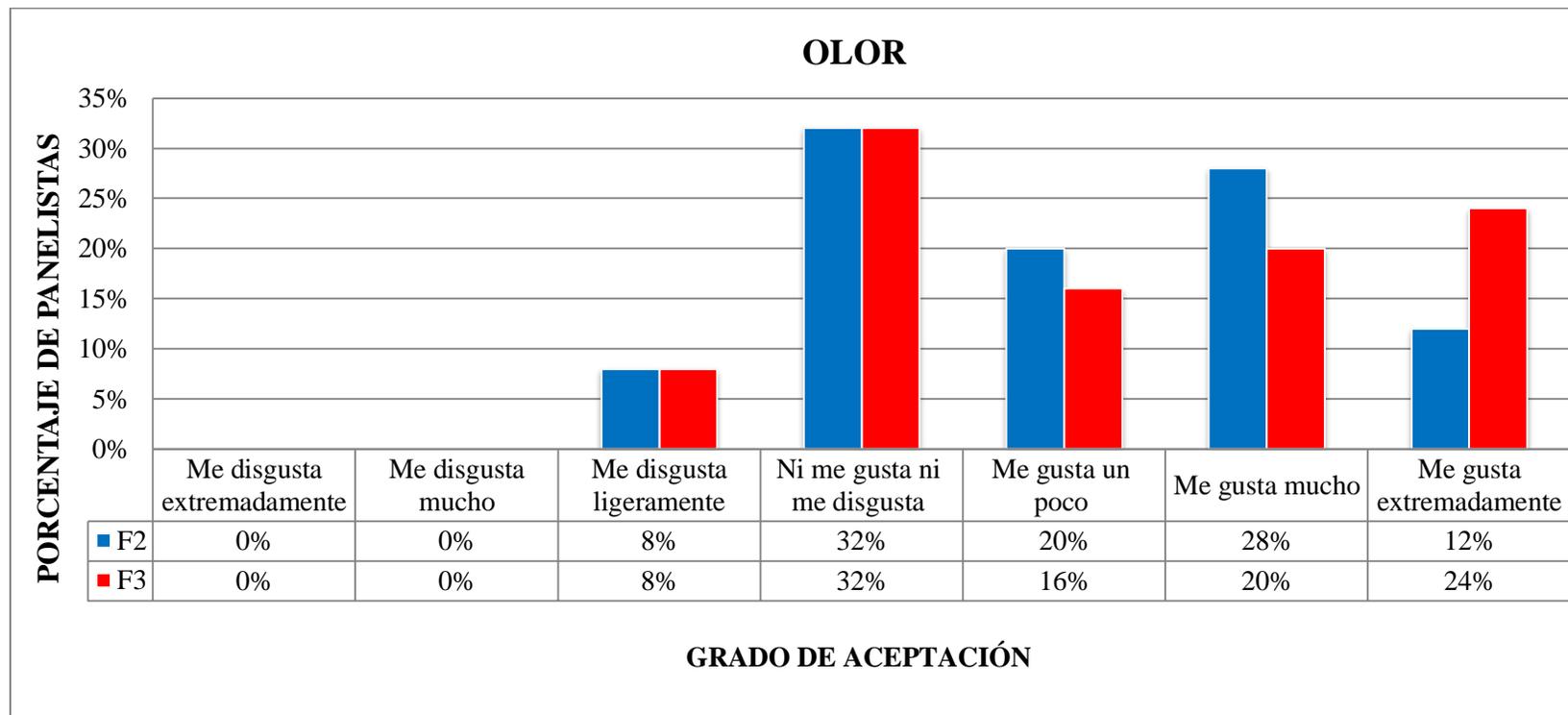
**Figura L.2.** Frecuencia de respuesta para atributo color de F2



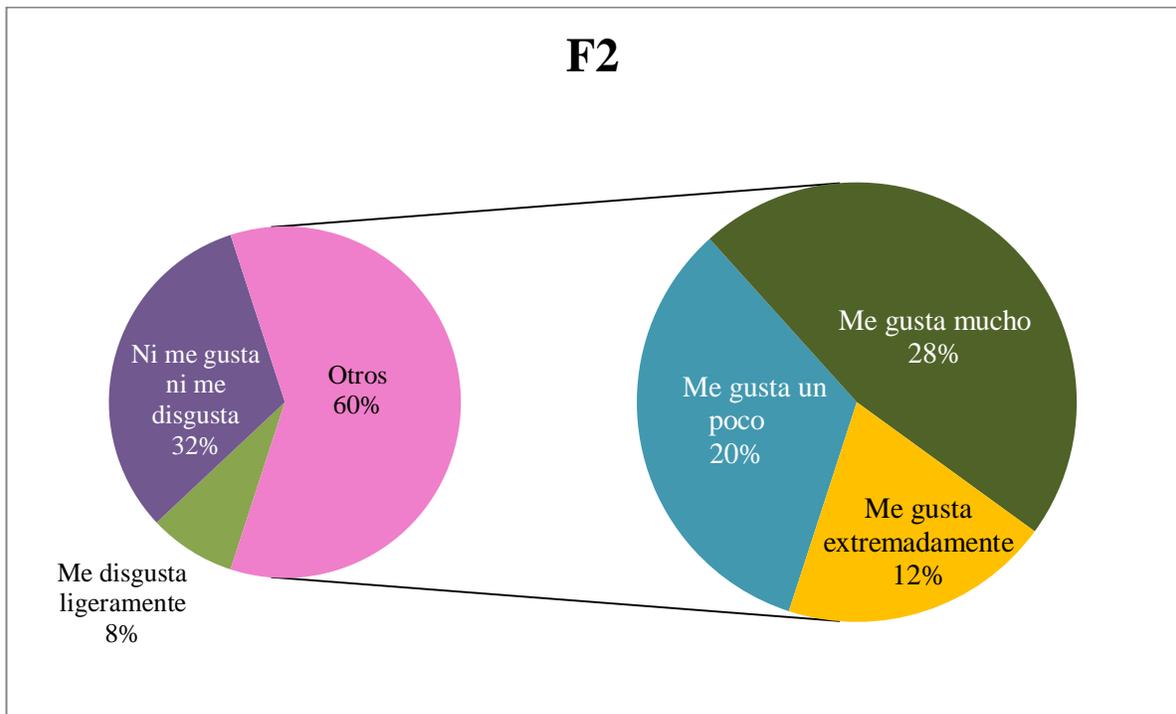
**Figura L.3.** Frecuencia de respuesta para atributo color de F3

**Tabla L.3.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo olor*

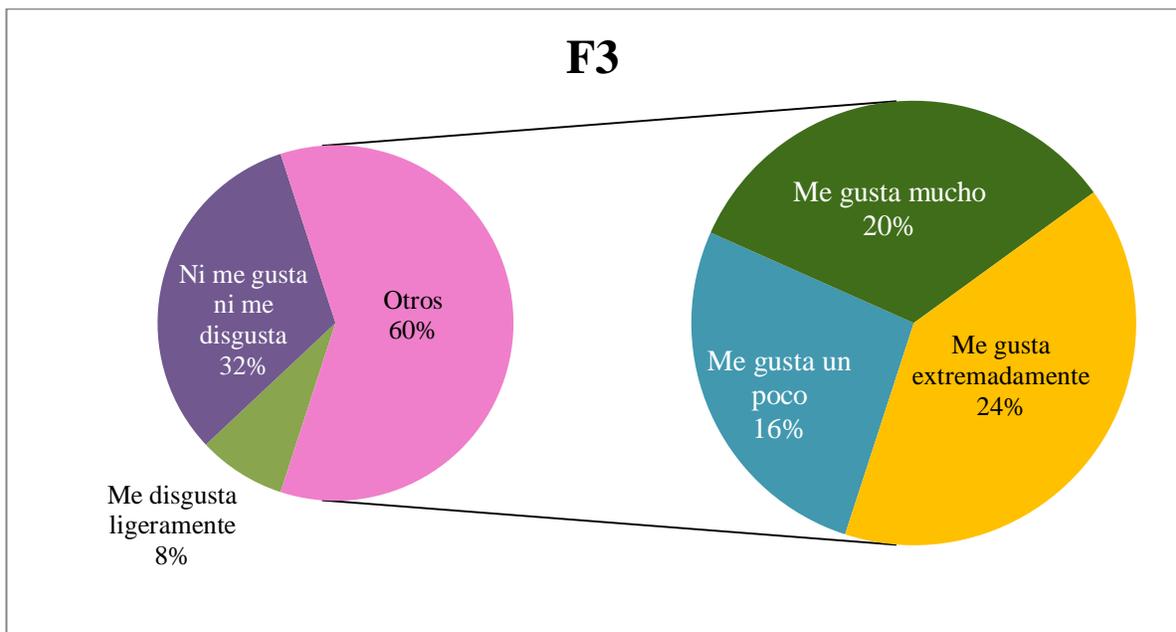
Puntaje	Grado de aceptación	F2			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	2	8%	0.24	2	8%	0.24
4	Ni me gusta ni me disgusta	8	32%	1.28	8	32%	1.28
5	Me gusta un poco	5	20%	1.00	4	16%	0.80
6	Me gusta mucho	7	28%	1.68	5	20%	1.20
7	Me gusta extremadamente	3	12%	0.84	6	24%	1.68
TOTAL		25	100%	$\Sigma = 5.04$	25	100%	$\Sigma = 5.20$
Media ponderada:		5.04 $\approx$ 5.0			5.2		



*Figura L.4.* Frecuencia de respuestas para atributo olor



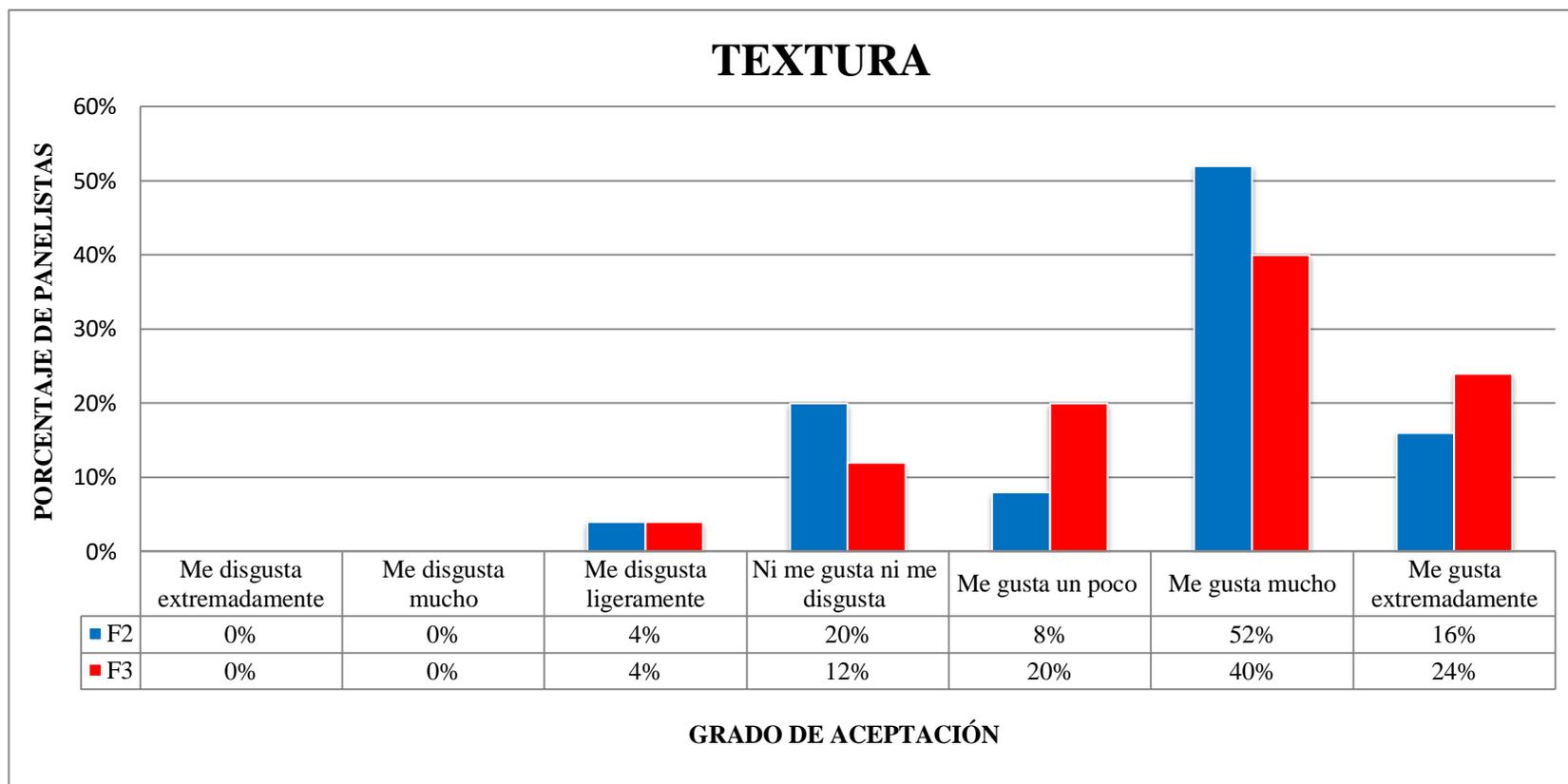
**Figura L.5.** Frecuencia de respuesta para atributo olor de F2



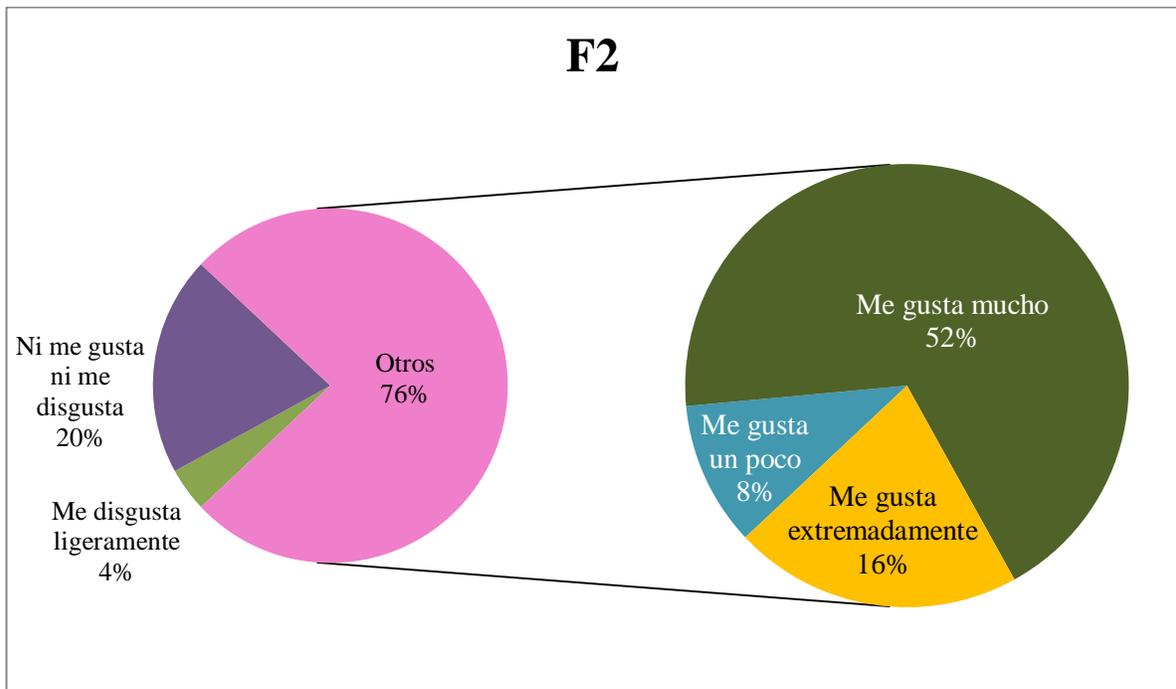
**Figura L.6.** Frecuencia de respuesta para atributo olor de F3

**Tabla L.4.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo textura*

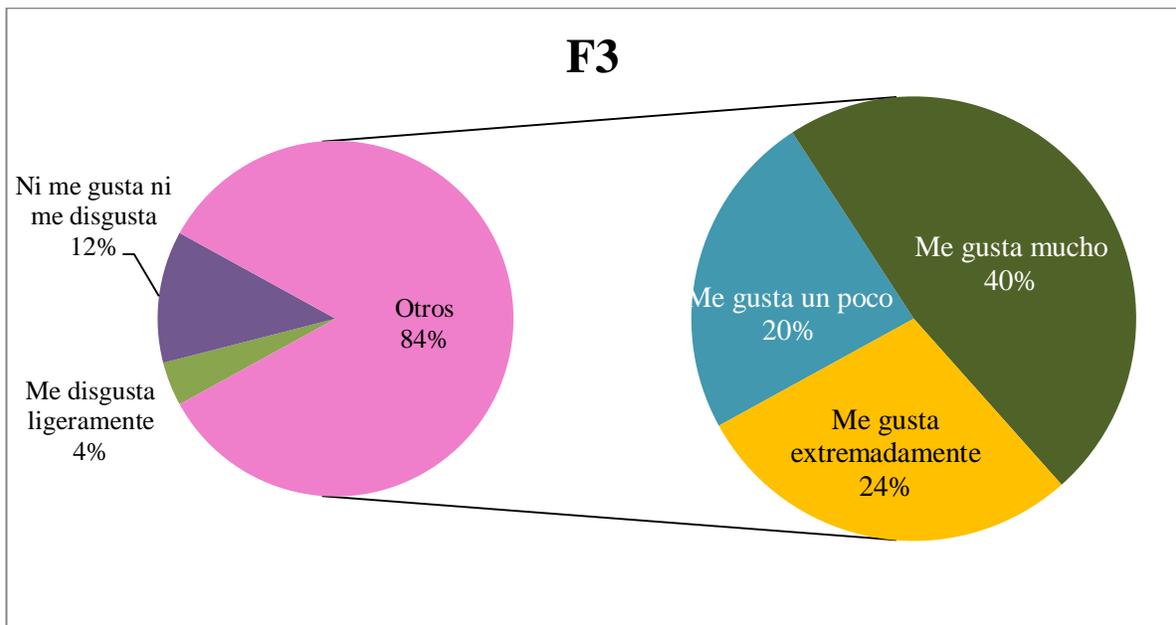
Puntaje	Grado de aceptación	F2			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	1	4%	0.12	1	4%	0.12
4	Ni me gusta ni me disgusta	5	20%	0.80	3	12%	0.48
5	Me gusta un poco	2	8%	0.40	5	20%	1.00
6	Me gusta mucho	13	52%	3.12	10	40%	2.40
7	Me gusta extremadamente	4	16%	1.12	6	24%	1.68
TOTAL		25	100%	$\Sigma = 5.56$	25	100%	$\Sigma = 5.68$
Media ponderada:		5.56 $\approx$ 5.6			5.68 $\approx$ 5.7		



*Figura L.7.* Frecuencia de respuestas para atributo textura



**Figura L.8.** Frecuencia de respuesta para atributo textura de F2



**Figura L.9.** Frecuencia de respuesta para atributo textura de F3.

**Anexo L.2:** Resultados de aceptabilidad y de preferencia para análisis sensorial 2.

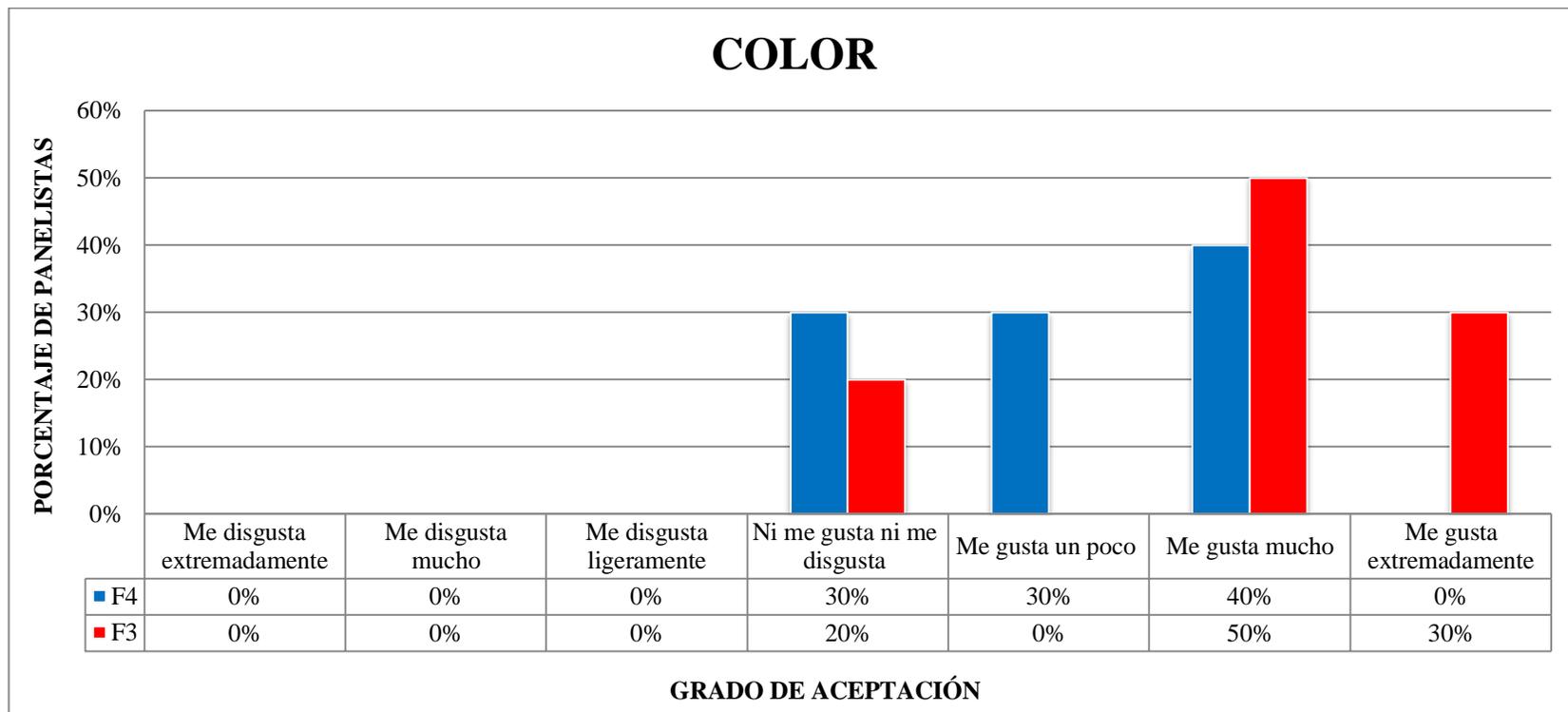
**Tabla L.5.**

*Resultados de las pruebas de aceptabilidad y de preferencia*

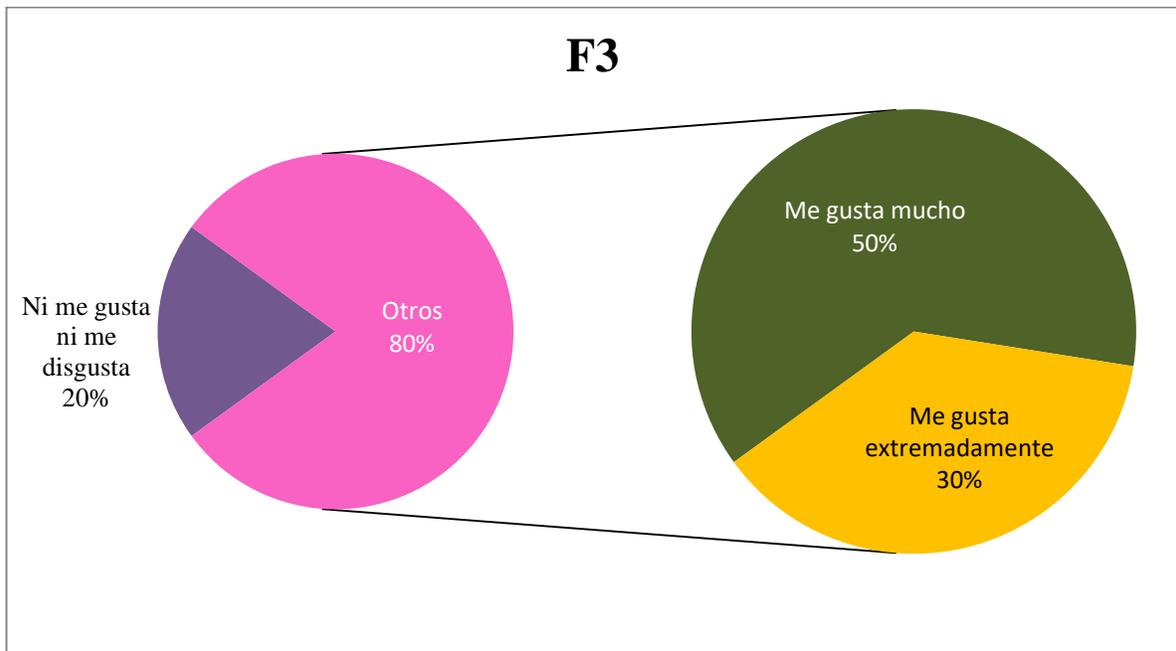
Panelista	Formulación	Grado de aceptación				Preferencia
		Sabor	Color	Olor	Textura	
1	F4	7	6	7	6	F4
	F3	3	6	3	3	
2	F4	5	6	5	5	F4
	F3	3	4	4	4	
3	F4	6	6	6	7	F4
	F3	2	6	3	6	
4	F4	4	4	4	4	F3
	F3	7	7	6	7	
5	F4	5	5	4	4	F3
	F3	3	6	6	6	
6	F4	5	5	5	4	F4
	F3	2	6	4	4	
7	F4	6	4	6	6	F4
	F3	3	7	4	7	
8	F4	7	6	7	7	F4
	F3	5	7	7	7	
9	F4	6	5	6	6	F4
	F3	5	6	6	6	
10	F4	6	4	5	3	F4
	F3	2	4	2	4	

**Tabla L.6.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo color*

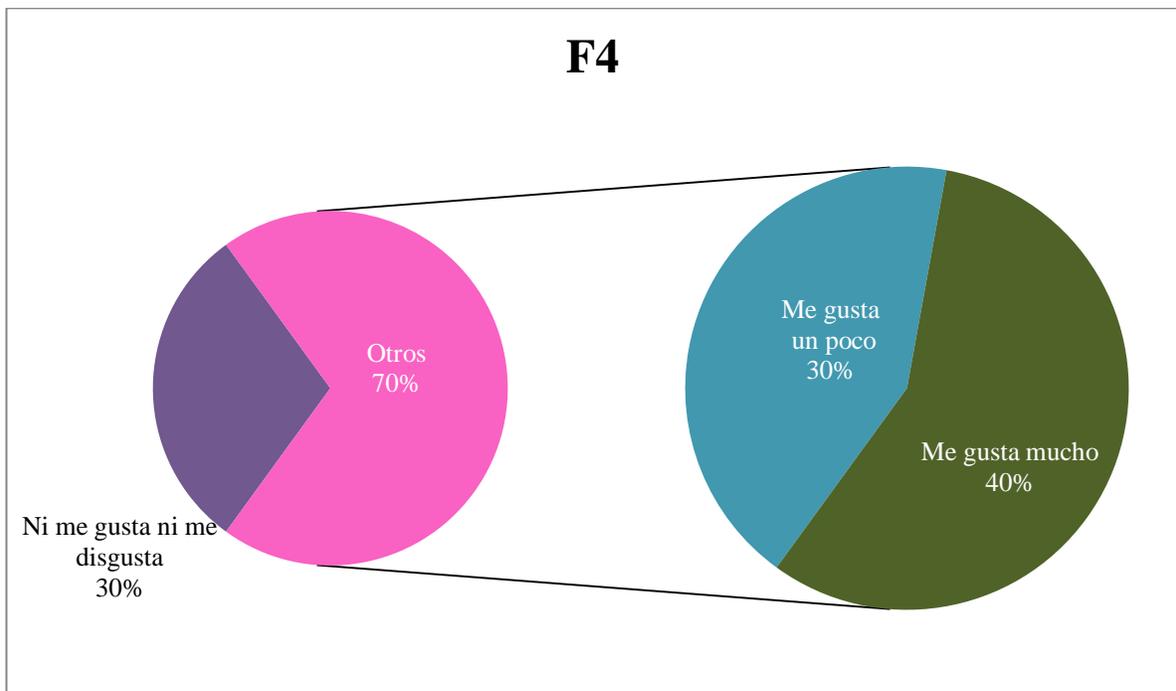
Puntaje	Grado de aceptación	F4			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
4	Ni me gusta ni me disgusta	3	30%	1.20	2	20%	0.80
5	Me gusta un poco	3	30%	1.50	0	0%	0.00
6	Me gusta mucho	4	40%	2.40	5	50%	3.00
7	Me gusta extremadamente	0	0%	0.00	3	30%	2.10
TOTAL		25	100%	$\Sigma = 5.10$	<b>25</b>	100%	$\Sigma = 5.90$
Media ponderada :		5.1			3.9		



*Figura L.10.* Frecuencia de respuestas para atributo color



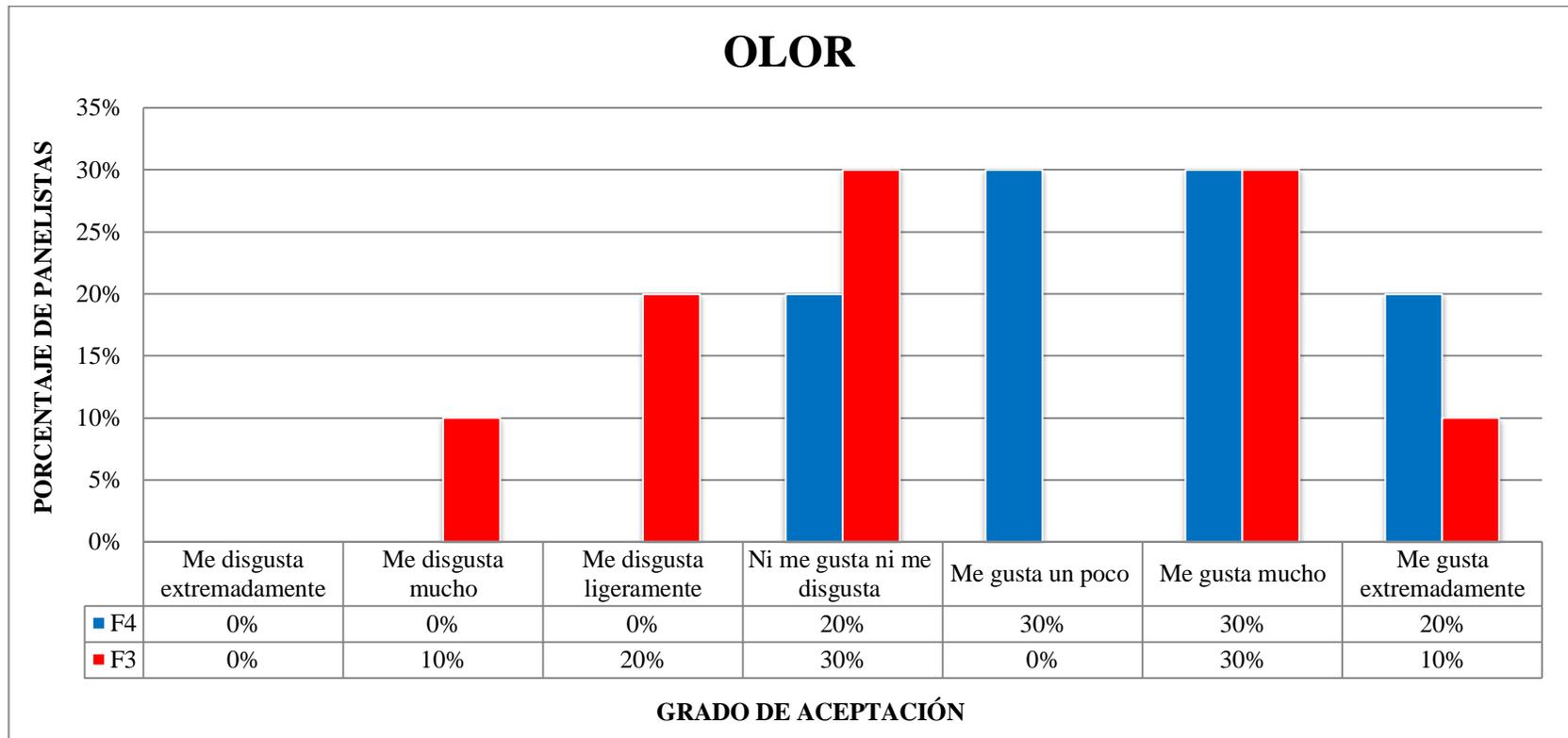
**Figura L.11.** Frecuencia de respuesta para atributo color de F2



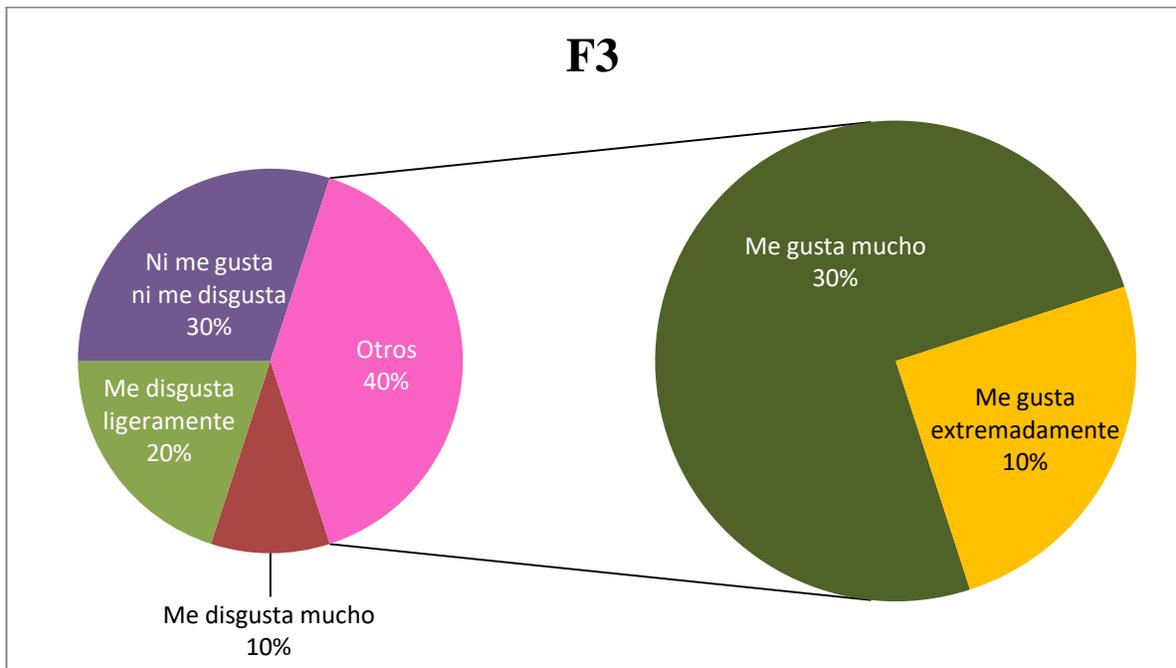
**Figura L.12.** Frecuencia de respuesta para atributo color de F4

**Tabla L.7.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo olor*

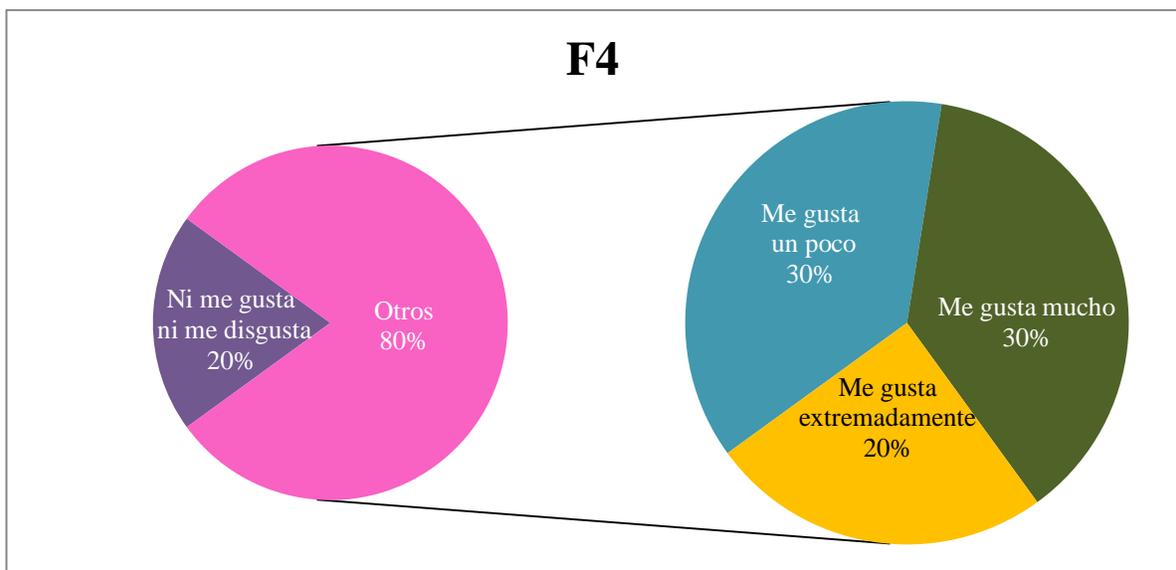
Puntaje	Grado de aceptación	F4			F3		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	1	10%	0.20
3	Me disgusta ligeramente	0	0%	0.00	2	20%	0.60
4	Ni me gusta ni me disgusta	2	20%	0.80	3	30%	1.20
5	Me gusta un poco	3	30%	1.50	0	0%	0.00
6	Me gusta mucho	3	30%	1.80	3	30%	1.80
7	Me gusta extremadamente	2	20%	1.40	1	10%	0.70
TOTAL		25	100%	$\Sigma = 5.50$	25	100%	$\Sigma = 4.50$
Media ponderada :		5.5			4.5		



*Figura L.13.* Frecuencia de respuestas para atributo olor



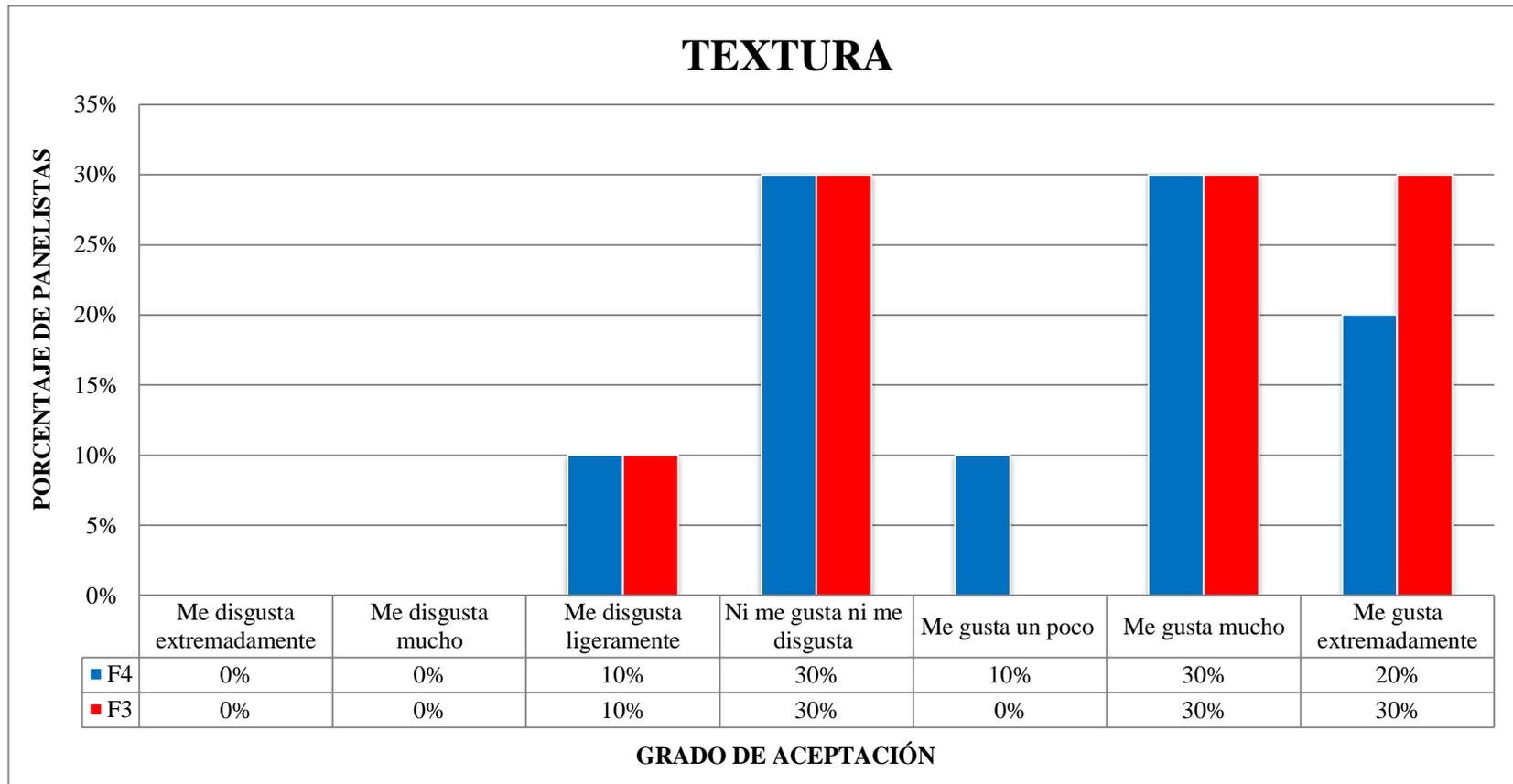
**Figura L.14.** Frecuencia de respuesta para atributo olor de F3



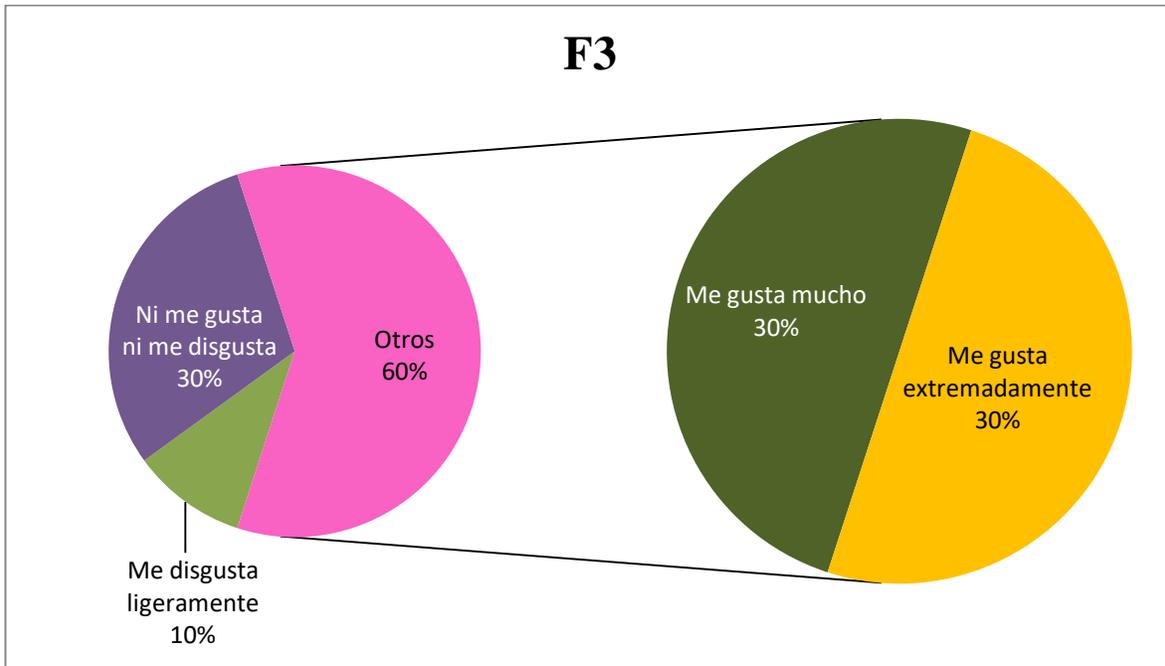
**Figura L.15.** Frecuencia de respuesta para atributo olor de F4

**Tabla L.8.***Frecuencia de aceptabilidad para atributo textura*

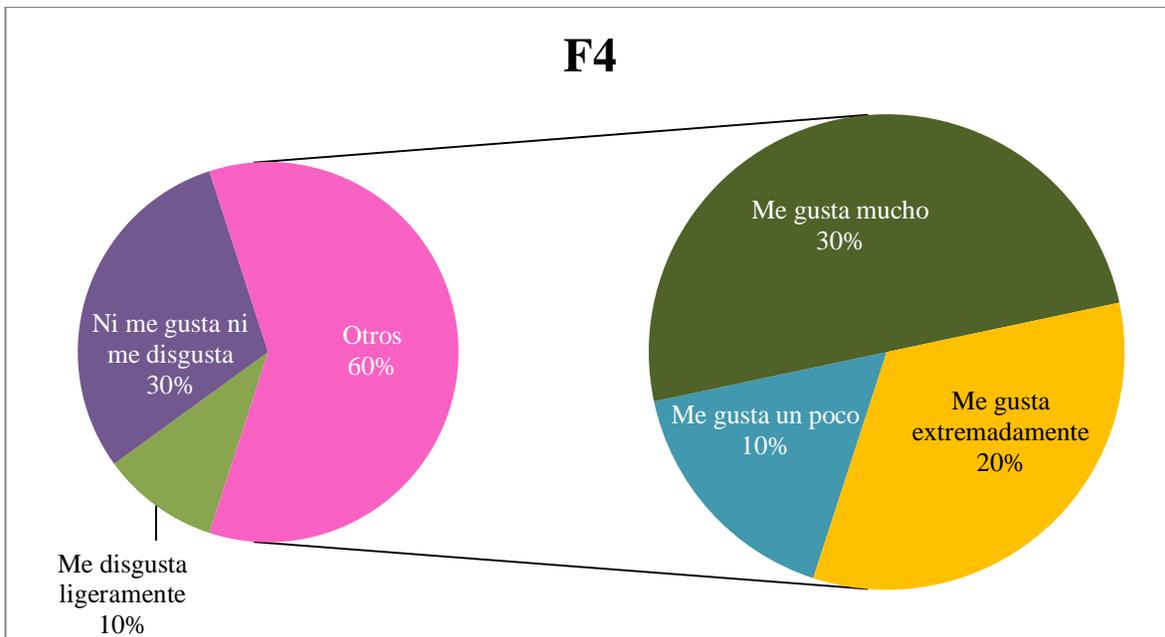
Puntaje	Grado de aceptación	F3			F4		
		N	%	Puntaje*%	N	%	Puntaje*%
1	Me disgusta extremadamente	0	0%	0.00	0	0%	0.00
2	Me disgusta mucho	0	0%	0.00	0	0%	0.00
3	Me disgusta ligeramente	1	10%	0.30	1	10%	0.30
4	Ni me gusta ni me disgusta	3	30%	1.20	3	30%	1.20
5	Me gusta un poco	1	10%	0.50	0	0%	0.00
6	Me gusta mucho	3	30%	1.80	3	30%	1.80
7	Me gusta extremadamente	2	20%	1.40	3	30%	2.10
TOTAL		25	100%	$\Sigma = 5.20$	25	100%	$\Sigma = 5.40$
Media ponderada :		5.2			5.4		



*Figura L.16.* Frecuencia de respuestas para atributo textura



**Figura L.17.** Frecuencia de respuesta para atributo textura de F3



**Figura L.18.** Frecuencia de respuesta para atributo textura de F4

**Anexo L.3:** Fotografías del análisis sensorial realizado.



**Figura: L.19.** Panelista realizando análisis sensorial

Anexo L.4: Prueba binomial de dos factores.

Tabla L.9.

Prueba binomial de dos factores

**Prueba Binomial de Dos Extremos**  
**Probabilidad de X o más juicios concordantes en n pruebas ( $p = 1/2$ )**

n \ X	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37													
5	625	312	062																																													
6	088	219	031																																													
7		453	125	016																																												
8		727	299	070	008																																											
9			508	180	039	004																																										
10			754	344	109	021	002																																									
11				549	227	085	011	001																																								
12				774	388	146	039	006																																								
13					581	267	082	022	003																																							
14						791	424	180	057	013	002																																					
15							607	302	118	035	007	001																																				
16								454	210	077	021	004	001																																			
17									629	332	143	049	013	002																																		
18										815	481	238	096	031	008	001																																
19											648	359	167	064	019	004	001																															
20												824	503	263	115	041	012	003																														
21													664	383	189	078	027	007	001																													
22														832	523	286	134	052	017	004	001																											
23															678	405	210	093	035	011	003																											
24																839	541	307	152	064	023	007	002																									
25																	680	424	230	108	043	015	004	001																								
26																		845	557	327	189	076	029	009	002	001																						
27																			701	442	248	122	052	019	006	002																						
28																				851	572	346	185	067	036	013	004	001																				
29																					711	458	285	136	061	024	008	002	001																			
30																						856	585	362	200	099	043	016	005	001																		
31																							720	473	281	150	071	030	011	003	001																	
32																								880	597	377	215	100	060	020	007	002	001															
33																									728	487	296	163	080	035	014	006	001															
34																										864	608	392	229	121	058	024	009	003	001													
35																											736	500	310	175	090	041	017	006	002													
36																												868	681	405	243	132	065	029	011	004	001											
37																													743	511	324	188	099	047	020	008	003	001										
38																														871	627	418	256	143	073	034	014	005	002									
39																															749	522	337	200	108	053	024	009	003	001								
40																																875	636	430	268	154	081	038	017	006	002	001						
41																																	755	533	349	211	117	060	028	012	004	001						
42																																		878	644	441	280	164	088	044	020	008	003	001				
43																																																
44																																																
45																																																
46																																																
47																																																
48																																																
49																																																
50																																																

Nota: Se ha omitado la coma del decimal inicial.

## Anexo M: Resultados de análisis estadístico

**Tabla M.1.**

*Prueba de Shapiro-Wilks para los parámetros de calidad pH, °BRIX, pérdida de peso y acidez.*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)	
RDUO promedio pH por día	25	0.00	0.10	0.97	0.9007	
RDUO promedio BRIX por día	25	0.00	1.40	0.94	0.3586	
RDUO promedio pérdida peso	25	0.00	5.86	0.93	0.2617	
RDUO promedio acidez	25	0.00	1.3E-03	0.91	0.0908	