



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Química e Ingeniería Química**

**Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**

**Efecto de un recubrimiento comestible a base de  
quitosano funcionalizado con almidón de semilla de  
mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara  
de naranja (*Citrus sinensis*) para la conservación de  
fresas (*Fragaria sp.*)**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Agroindustrial

**AUTOR**

Yanira Doris CARHUAVILCA PAREDES

Brenda Wendy CHIRINOS MOLINA

**ASESOR**

Mg. Noemi BRAVO ARANIBAR

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Carhuavilca, Y. & Chirinos, B. (2024). *Efecto de un recubrimiento comestible a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para la conservación de fresas (*Fragaria sp.*)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
<b>Autor 1</b>	
Nombres y apellidos	Yanira Doris Carhuavilca Paredes
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77209162
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0004-5355-8670">https://orcid.org/0009-0004-5355-8670</a>
<b>Autor 2</b>	
Nombres y apellidos	Brenda Wendy Chirinos Molina
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72791574
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0000-9255-610X">https://orcid.org/0009-0000-9255-610X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Noemi Bravo Aranibar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10672520
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-3454-2601">https://orcid.org/0000-0003-3454-2601</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Julio César Santiago Contreras
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08505549
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Olivio Nino Castro Mandujano



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07683880
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Noemi Bravo Aranibar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10672520

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	C.0.4.4. Tecnología de los Alimentos
Grupo de investigación	Biotechnología, analítica e innovación agroindustrial (BIOINNA)
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Alimentos y bebidas <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01</a> Otras ingenierías, Otras tecnologías <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.00</a> Ingeniería de procesos <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02</a>



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**  
Central: 619 7000 anexos 1202, 1203, 1205, 1206, 1207    Telefax: 1209, 1218  
Ciudad Universitaria – Av. Venezuela s/n – Lima 1

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

## **A C T A DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, bajo la Presidencia del **Dr. JULIO CÉSAR SANTIAGO CONTRERAS**, el **Dr. OLIVIO NINO CASTRO MANDUJANO** (Miembro) y la **Mg, NOEMI BRAVO ARANIBAR** (Asesora), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada “**Efecto de un recubrimiento comestible a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango (Mangifera indica) y aceite esencial de cáscara de naranja (Citrus sinensis) para la conservación de fresas (Fragaria sp.)**”, después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por las Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **BRENDA WENDY CHIRINOS MOLINA**; para optar el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL**, acordando calificarla con la **NOTA** de:

DIECIOCHO

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Lima, 12 de marzo del 2024

**Dr. Julio César Santiago Contreras**  
Presidente

**Dr. Olivio Nino Castro Mandujano**  
Miembro

**Mg. Noemi Bravo Aranibar**  
Asesora

**Dr. EDGAR ORLANDO NAGLES VIDAL**  
Director de la EP de Ingeniería Agroindustrial





**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**  
Central: 619 7000 anexos 1202, 1203, 1205, 1206, 1207    Telefax: 1209, 1218  
Ciudad Universitaria – Av. Venezuela s/n – Lima 1

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

## **A C T A DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, bajo la Presidencia del **Dr. JULIO CÉSAR SANTIAGO CONTRERAS**, el **Dr. OLIVIO NINO CASTRO MANDUJANO** (Miembro) y la **Mg. NOEMI BRAVO ARANIBAR** (Asesora), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada “Efecto de un recubrimiento comestible a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para la conservación de fresas (*Fragaria sp.*)”, después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborada por la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **YANIRA DORIS CARHUAVILCA PAREDES**; para optar el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL**, acordando calificarla con la **NOTA** de:

DIECIOCHO

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Lima, 12 de marzo del 2024

**Dr. Julio César Santiago Contreras**  
Presidente

**Dr. Olivio Nino Castro Mandujano**  
Miembro

**Mg. Noemi Bravo Aranibar**  
Asesor

**Dr. EDGAR ORLANDO NAGLES VIDAL**  
Director de la EP de Ingeniería Agroindustrial







**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

**Vicerrectorado de Investigación y Posgrado**



### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Noemi Bravo Aranibar en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000025-2024-D-FQIQ/UNMSM de la tesis, cuyo título es **“Efecto de un recubrimiento comestible a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para la conservación de fresas (*Fragaria sp.*)”**, presentado por las bachilleres en Ingeniería Agroindustrial **Yanira Doris Carhuavilca Paredes – Brenda Wendy Chirinos Molina** optar el título Profesional de Ingeniera Agroindustrial CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **20%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 10672520

Noemi Bravo Aranibar  
Asesor



Huella digital



## **DEDICATORIA**

*Dedico mi tesis primero que nada a Dios, por permitirme llegar hasta este punto tan importante en mi educación, por ser mi fuente de fortaleza para alcanzar mis objetivos, y por bendecirme con una familia maravillosa, que siempre creyó en mí.*

*A mis queridos padres, Alfonso Carhuavilca Salsavilca y Blanca Paredes Lázaro, por siempre estar a mi lado, brindándome su apoyo incondicionalmente en cada paso que doy, como fue el desarrollo de mi tesis. Gracias por todo el esfuerzo que hicieron para apoyarme moral y económicamente, por confiar en mí, por sus consejos, por su paciencia, por sus mensajes de aliento y por enseñarme que los objetivos si se pueden cumplir.*

*A mis hermanos, Marcos, Karina y Ericka, por siempre apoyarme emocionalmente, durante el transcurso de toda mi carrera universitaria, por su cariño y por estar ahí en los momentos más importantes.*

*Gracias a todos, por ser mis pilares de apoyo durante todos estos años, sin ustedes no lo hubiera logrado, éste logro también es suyo.*

**“Yanira”**

## DEDICATORIA

*A mi amada madre, Doris Molina Sotomayor, cada éxito es un reflejo del fruto de tu esfuerzo y apoyo inquebrantable a lo largo de todos estos años; sin tu amor y sacrificio, este logro no sería posible. A mi amado padre Rafael Chirinos Molina, por dar lo mejor de sí para verme crecer y prosperar, esta tesis es un tributo a tu influencia en mi vida y a tu amor incondicional. A mi adorado hermano, Bruno André Chirinos Molina, de quien estoy orgullosa, juntos hemos crecido no solo en años, sino también en sabiduría y comprensión. Ustedes son mi mayor fuente de inspiración y motivación para afrontar cualquier desafío.*

*A mi abuela Gloria, quien me crió desde pequeña, a mis queridos tíos, Heidy, Silvia, Yessica, Alex y Ruth, quienes han estado presentes de manera constante en mi vida y han compartido conmigo sus sabios consejos y su cariño incondicional. Esta tesis es una expresión de mi profunda gratitud y admiración hacia ustedes, quienes han sido siempre un modelo a seguir.*

*A mis queridos amigos, Javier y Sheyla, compañeros de risas y cómplices en las alegrías, este es un reconocimiento a la fuerza que encuentro en su amistad. A lo largo de los altibajos, ustedes han sido mi apoyo incondicional. Que nuestra amistad siga floreciendo con nuevos recuerdos y aventuras. Gracias por las incontables anécdotas y momentos que hemos compartido.*

*A todos ustedes, quienes me impulsan constantemente a superarme y cumplir mis objetivos, les dedico este logro con profundo agradecimiento. A medida que progreso en mi camino, atesoro sus lecciones, su afecto y el modelo que han sido para mí.*

**“Brenda”**

## AGRADECIMIENTO

A nuestra alma mater, la **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**, “Decana de América”, por habernos brindado una experiencia educativa enriquecedora y transformadora, a lo largo de nuestro tiempo en esta institución, en especial a nuestra querida **E.P. de Ingeniería Agroindustrial**, perteneciente a la Facultad de Química e Ingeniería Química, por el compromiso de los profesores, quienes han sido fundamentales en nuestro desarrollo académico y personal, preparándonos para enfrentar los desafíos que puedan surgir en el futuro.

A nuestra asesora **Mg. Sc. Noemí Bravo Aranibar**, por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Su experiencia y orientación han sido cruciales para el desarrollo y éxito de esta investigación. Gracias por confiar en nosotras desde el primer momento y ser nuestra guía durante el desarrollo de la tesis.

Al **Dr. Nino Castro Mandujano**, quien junto con nuestra asesora fueron los primeros en apoyarnos. Su asesoramiento invaluable ha sido una fuente de inspiración y motivación constante. Queremos agradecerle por el respaldo continuo, por su orientación, los consejos y por brindarnos acceso todos los días al Laboratorio de Productos Naturales y poder usar los equipos, materiales y reactivos durante el desarrollo experimental de nuestra tesis. Fue una persona esencial en nuestro proceso de aprendizaje por sus sugerencias constructivas que fueron fundamentales para mejorar la calidad de nuestra investigación. Nos sentimos profundamente agradecidas por contar con alguien tan comprometido y por su contribución fundamental a la culminación exitosa de nuestra tesis.

Al **Dr. Nelson Bautista Cruz** por apoyarnos desinteresadamente desde el primer momento, permitiéndonos desarrollar los análisis microbiológicos en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica. Queremos agradecerle por todos los consejos brindados y las enseñanzas, con quien tuvimos la oportunidad de aprender y reforzar los conocimientos prácticos en laboratorio de microbiología, que no pudimos llevar a cabo en su momento por motivos de la pandemia.

Al **Ing. Pedro Romero y Otiniano** que, con gran generosidad, nos facilitó el acceso a los equipos de la planta piloto y el laboratorio de Operaciones unitarias. Agradecemos su gentil disposición al compartir recursos, lo cual nos permitió ejecutar la primera parte en el desarrollo experimental de la tesis como la extracción del aceite esencial y el secado de las semillas de mango.

Al **Dr. Julio Santiago Contreras**, responsable del laboratorio de Investigación y Desarrollo, quién nos proporcionó acceso a su laboratorio desinteresadamente para usar diversos equipos. Muchas gracias por apoyarnos y darnos un tiempo de su clase, para llevar a cabo la evaluación sensorial con los alumnos de la E.P de Química, que sirvió para obtener parte de los resultados necesarios del proyecto.

A **Francisco Zavala Flores**, la **Química Marlene Velasquez Yucra**, la **Bach. Danne Estefania León Calderón** y **Fabrizio Quijandría**, quienes amablemente nos brindaron su apoyo y conocimientos instruyendonos en el manejo de equipos nuevos para nosotras. Agradecemos el tiempo invertido en guiarnos a través de nuestro proceso de aprendizaje y en compartir sus habilidades y experiencia.

Al **Químico Marco Vicente Guerrero Aquino**, a la **Dra. Miriam Memenza Zegarra**, a la **Dra. Marianela Inga Guevara** y el **Dr. Carlos Alberto Serrano Flores**, quienes nos facilitaron el acceso a equipos necesarios que fueron fundamentales para el desarrollo de la tesis. Agradecemos su total apoyo.

Al **Dr. Helmer Cateriano Azpilcueta**, quien nos brindó la confianza y nos permitió trabajar en su residencia, siendo clave para continuar con el desarrollo de la tesis. Estamos completamente agradecidas por su hospitalidad y buena disposición.

Al **Lic. Brayán Louis Sánchez López**, por su tiempo y aporte con conocimientos de microbiología las cuales fueron esenciales para la investigación.



## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1. Fresa.....	9
2.1.1. Descripción.....	9
2.1.2. Clima.....	9
2.1.3. Producción en el Perú.....	10
2.1.4. Variedades.....	10
2.1.4.1. Variedades de día corto.....	10
2.1.4.2. Variedades de día neutro.....	11
2.1.5. Propiedades y aspectos nutricionales.....	11
2.1.6. Calidad de la fresa.....	13
2.1.6.1. Índices de calidad.....	13
2.1.6.2. Fisiología de la maduración y deterioro de la fresa.....	13
2.1.6.3. Enfermedades postcosecha.....	14
2.1.6.4. Manejo postcosecha.....	16
2.2. Almidón.....	17
2.2.1. Generalidades.....	17
2.2.2. Estructura química.....	18
2.2.3. Almidón nativo.....	20
2.2.4. Métodos de extracción de almidón.....	20
2.2.4.1. Método seco.....	20
2.2.4.2. Método húmedo.....	20
2.2.5. Almidón de semilla de mango.....	21
2.2.6. Propiedades funcionales del almidón.....	22

2.2.6.1. Gelatinización de almidón.....	22
2.2.6.2. Retrogradación de almidón.....	23
2.3. Quitosano.....	24
2.3.1. Obtención.....	24
2.3.2. Estructura y propiedades químicas.....	25
2.3.2.1. Peso molecular.....	26
2.3.2.2. Grado de desacetilación.....	27
2.3.2.3. Solubilidad.....	27
2.3.2.4. Viscosidad.....	28
2.3.3. Aplicaciones en la industria alimentaria.....	28
2.3.3.1. Agente antimicrobiano.....	28
2.3.3.2. Agente antioxidante.....	29
2.3.3.3. Inmovilización de enzimas.....	29
2.4. Aceite esencial.....	30
2.4.1. Generalidades.....	30
2.4.2. Extracción y aislamiento.....	30
2.4.2.1. Extracción por arrastre con vapor.....	31
2.4.2.2. Extracción con solventes.....	31
2.4.2.3. Hidrodestilación.....	32
2.4.2.4. Extracción con fluidos supercríticos.....	32
2.4.3. Usos y aplicaciones.....	32
2.4.4. Actividad antimicrobiana.....	33
2.4.5. Aceite esencial de cáscara de naranja.....	33
2.5. Plastificantes.....	34
2.5.1. Generalidades.....	34
2.5.2. Glicerol.....	34
2.5.3. Aplicaciones.....	35

2.6. Ácido cítrico.....	35
2.6.1. Estructura química.....	35
2.6.2. Propiedades físicas y químicas del ácido cítrico.....	36
2.6.3. Aplicaciones en la industria alimentaria.....	37
2.7. Recubrimientos.....	38
2.7.1. Generalidades.....	38
2.7.2. Tipos de recubrimientos.....	39
2.7.2.1. Recubrimientos a base de polisacáridos.....	40
2.7.2.2. Recubrimientos a base de lípidos.....	41
2.7.3. Características de los recubrimientos.....	42
2.7.4. Efecto de los recubrimientos en la calidad de la fruta.....	43
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
3.1. Lugar de ejecución.....	44
3.2. Materia prima.....	44
3.2.1. Semilla de mango.....	44
3.2.2. Cáscara de naranja.....	44
3.2.3. Fresas.....	44
3.3. Materiales y equipos.....	44
3.3.1. Insumos.....	44
3.3.2. Materiales de vidrio.....	45
3.3.3. Utensilios y otros.....	45
3.3.4. Instrumentos.....	46
3.3.5. Reactivos.....	46
3.3.6. Equipos.....	47
3.4. Metodología experimental.....	47
3.4.1. Extracción del almidón de la semilla de mango.....	48
3.4.2. Extracción de aceite esencial de cáscara de naranja.....	51

3.4.3. Elaboración de diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja.....	52
3.4.4. Formación de las películas comestibles.....	53
3.4.5. Efecto de la mejor formulación en la conservación de las fresas.....	53
3.5. Métodos de análisis.....	54
3.5.1. Caracterización del almidón de semilla de mango.....	54
3.5.1.1. Tamaño de partícula.....	54
3.5.1.2. Propiedades fisicoquímicas.....	55
3.5.1.2.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina.....	55
3.5.1.2.2. Viscosidad.....	55
3.5.1.3. Propiedades funcionales.....	55
3.5.1.3.1. Temperatura de gelatinización.....	55
3.5.1.3.2. Capacidad de absorción de agua.....	56
3.5.1.3.3. Solubilidad y Poder de hinchamiento (PH).....	56
3.5.2. Caracterización del aceite esencial de cáscara de naranja.....	56
3.5.2.1. Rendimiento.....	56
3.5.2.2. Propiedad físico-química.....	57
3.5.2.2.1. Densidad.....	57
3.5.2.3. Propiedades químicas.....	57
3.5.2.3.1. Índice de refracción.....	57
3.5.2.3.2. Índice de acidez.....	58
3.5.2.3.3. Índice de Peróxido.....	58
3.5.2.4. Cromatografía de gases/masas (GC-MS).....	59
3.5.3. Actividad antifúngica.....	59
3.5.3.1. Activación de la cepa <i>Botrytis</i> sp.....	59
3.5.3.2. Caracterización morfológica.....	59
3.5.3.3. Efecto inhibitorio in vitro del aceite esencial de cáscara de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ) y quitosano.....	60

3.5.4. Evaluación de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja.....	61
3.5.4.1. Permeabilidad al vapor de agua.....	61
3.5.4.2. Actividad antifúngica.....	62
3.5.5. Caracterización de la mejor formulación.....	62
3.5.5.1. Determinación de humedad.....	62
3.5.5.2. Opacidad.....	63
3.5.5.3. Solubilidad (%).....	63
3.5.5.4. Espectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier (FTIR).....	64
3.5.6. Evaluación de la aplicación de la mejor formulación en la conservación de fresas.....	64
3.5.6.1. Propiedades físico-químicas.....	64
3.5.6.1.1. Pérdida de peso.....	64
3.5.6.1.2. Textura.....	64
3.5.6.1.3. Sólidos Solubles Totales.....	64
3.5.6.1.4. pH.....	65
3.5.6.1.5. Acidez titulable (%ácido cítrico).....	65
3.5.6.1.6. Determinación de color.....	65
3.5.6.2. Compuestos bioactivos.....	66
3.5.6.2.1. Determinación de Vitamina C (% ácido ascórbico).....	66
3.5.6.2.2. Compuestos fenólicos y antocianinas.....	66
3.5.6.2.2.1. Extracción de antocianinas y compuestos fenólicos.....	66
3.5.6.2.2.2. Contenido de antocianinas totales.....	66
3.5.6.2.2.3. Contenido de compuestos fenoles totales.....	67
3.5.6.3. Análisis microbiológico.....	67
3.5.6.3.1. Recuento de mohos y levaduras.....	67
3.5.6.4. Evaluación sensorial.....	68
3.5.6.5. Determinación del tiempo de vida útil.....	68

3.6. Diseño experimental.....	69
3.7. Análisis de la información.....	70
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>71</b>
4.1. Caracterización del almidón de semilla de mango.....	71
4.1.1. Rendimiento.....	71
4.1.2. Tamaño de partícula.....	72
4.1.3. Propiedades fisicoquímicas.....	73
4.1.3.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina.....	73
4.1.3.2. Viscosidad.....	73
4.1.4. Propiedades funcionales.....	74
4.1.4.1. Temperatura de gelatinización.....	74
4.1.4.2. Capacidad de absorción de agua.....	74
4.1.4.3. Solubilidad y Poder de hinchamiento.....	75
4.2. Caracterización del aceite esencial de cáscara de naranja.....	76
4.2.1. Rendimiento.....	77
4.2.2. Propiedad físico-química.....	77
4.2.2.1. Densidad.....	77
4.2.3. Propiedades químicas.....	77
4.2.3.1. Índice de refracción.....	77
4.2.3.2. Índice de acidez.....	78
4.2.3.3. Índice de peróxido.....	78
4.2.4. Cromatografía de gases/masas (GC-MS).....	78
4.3. Efecto inhibitorio del aceite esencial de cáscara de naranja y quitosano.....	81
4.3.1. Caracterización morfológica del hongo <i>Botrytis</i> sp.....	81
4.3.1.1. Caracterización microscópica.....	81
4.3.1.2. Caracterización macroscópica.....	82
4.3.2. Efecto inhibitorio del aceite esencial de cáscara de naranja.....	82

4.3.3. Efecto inhibitorio del quitosano.....	84
4.4. Evaluación de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja.....	85
4.4.1. Efecto de las variables de proporción de almidón de semilla de mango - quitosano y concentración de aceite esencial de cáscara de naranja.....	85
4.4.2. Elección de la mejor formulación en base a la permeabilidad al vapor de agua y actividad antifúngica.....	90
4.5. Caracterización de la formulación.....	93
4.5.1. Humedad.....	93
4.5.2. Opacidad.....	94
4.5.3. Solubilidad.....	94
4.5.4. Espectroscopia infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR).....	95
4.6. Evaluación de la aplicación de la mejor formulación en la conservación de fresas....	97
4.6.1. Propiedades físico-químicas.....	97
4.6.1.1. Pérdida de peso.....	97
4.6.1.2. Textura.....	100
4.6.1.3. Sólidos Solubles Totales (SST).....	103
4.6.1.4. pH.....	106
4.6.1.5. Acidez titulable.....	108
4.6.1.6. Determinación de color.....	110
4.6.2. Compuestos bioactivos.....	113
4.6.2.1. Determinación de vitamina C (% ácido ascórbico).....	113
4.6.2.2. Contenido de antocianinas totales.....	116
4.6.2.3. Contenido de compuestos fenólicos totales.....	119
4.6.3. Análisis microbiológico.....	121
4.6.3.1. Mohos y levaduras.....	121
4.7. Evaluación sensorial.....	124
4.7.1. Color.....	125

4.7.2. Sabor.....	126
4.7.3. Aroma.....	126
4.7.4. Textura.....	126
4.7.5. Aceptabilidad general.....	127
4.8. Determinación de tiempo de Vida útil.....	127
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>131</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>133</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>166</b>



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición nutricional de la fresa.....	12
<b>Tabla 2.</b> Determinación química del almidón a partir de semilla de mango.....	22
<b>Tabla 3.</b> Propiedades fisico-químicas del ácido cítrico.....	36
<b>Tabla 4.</b> Aplicaciones del ácido cítrico en la industria alimentaria.....	37
<b>Tabla 5.</b> Pautas para la descripción macroscópica de un hongo.....	60
<b>Tabla 6.</b> Variables y niveles del estudio.....	69
<b>Tabla 7.</b> Diseño factorial 32 utilizado para la elección de la mejor formulación.....	69
<b>Tabla 8.</b> Comparación mediante Prueba T-Student al 95% utilizado en la elaboración del recubrimiento.....	70
<b>Tabla 9.</b> Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de semilla de mango.....	71
<b>Tabla 10.</b> Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cáscara de naranja.....	76
<b>Tabla 11.</b> Constituyentes mayoritarios del aceite esencial de cáscara de naranja identificados por Cromatografía de Gases acoplado a masas (mayores a 0,5%).....	80
<b>Tabla 12.</b> Descripción macroscópica de Botrytis sp.....	82
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje de inhibición de crecimiento del hongo Botrytis sp. con aceite esencial de cáscara de naranja.....	84
<b>Tabla 14.</b> Porcentaje de inhibición de crecimiento del hongo Botrytis sp. con quitosano.....	84
<b>Tabla 15.</b> Valores experimentales promedio de PVA y actividad antifúngica en cada tratamiento.....	86
<b>Tabla 16.</b> Análisis de Varianza para Permeabilidad al vapor de agua por tratamiento.....	91
<b>Tabla 17.</b> Análisis de Varianza para actividad antifúngica por tratamiento.....	91
<b>Tabla 18.</b> Propiedades físicas del mejor tratamiento.....	93
<b>Tabla 19.</b> Variación de la pérdida de peso (%) en las fresas durante 15 días a 4°C.....	99
<b>Tabla 20.</b> Variación de la textura (gf) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C. ....	102
<b>Tabla 21.</b> Variación de los sólidos solubles totales (%) en las fresas durante 15 días a 4°C.	105
<b>Tabla 22.</b> Variación del pH en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C.....	107

<b>Tabla 23.</b> Variación de la acidez titulable (% ácido cítrico) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C.....	110
<b>Tabla 24.</b> Variación de color ( $\Delta E^*$ ) en las fresas durante 15 días a 4°C.....	113
<b>Tabla 25.</b> Variación de la Vitamina C (% ácido ascórbico) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C.....	116
<b>Tabla 26.</b> Variación de contenido de antocianinas totales (mg cianuración-3-O-glucósido/100 g) en las fresas durante 15 días a 4°C.....	119
<b>Tabla 27.</b> Variación de contenido de fenoles totales (mg ácido gálico/100 g) en las fresas durante 15 días a 4°C.....	121
<b>Tabla 28.</b> Variación del recuento total de hongos y levaduras (UFC/g) en las fresas control y fresas recubiertas durante 15 días a 4°C.....	123
<b>Tabla 29.</b> Puntuación de los panelistas a los diferentes atributos en la evaluación sensorial	127
<b>Tabla 30.</b> Ln del recuento total de mohos y levaduras en los días de evaluación.....	128
<b>Tabla 31.</b> Determinación del tiempo de vida útil de las fresas.....	130

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fresa.....	9
<b>Figura 2.</b> Fresa con presencia de micelios y conidias generadas por <i>Botrytis cinerea</i> .....	15
<b>Figura 3.</b> Fresa con presencia de filamentos blancos y negros producidos por <i>Rhizopus stolonifer</i> .....	16
<b>Figura 4.</b> Cosecha de la fresa.....	17
<b>Figura 5.</b> Microfotografía de gránulos de almidón.....	18
<b>Figura 6.</b> Estructura química de la amilosa.....	19
<b>Figura 7.</b> Estructura química de la amilopectina.....	19
<b>Figura 8.</b> Diagrama de flujo para obtener almidón de tubérculos y semillas.....	21
<b>Figura 9.</b> Gelatinización del almidón.....	23
<b>Figura 10.</b> Representación de la estructura del almidón durante la gelatinización y la retrogradación.....	24
<b>Figura 11.</b> Metodología para la obtención de quitosano a partir de la pluma de pota.....	25
<b>Figura 12.</b> Estructura química del quitosano.....	26
<b>Figura 13.</b> Formación de puentes de hidrógeno (I) y (II).....	26
<b>Figura 14.</b> Relación estructural entre la quitina, quitosano y quitano y el grado de desacetilación.....	27
<b>Figura 15.</b> Estructura molecular del glicerol.....	34
<b>Figura 16.</b> Estructura química del ácido cítrico.....	35
<b>Figura 17.</b> Clasificación de los recubrimientos comestibles.....	38
<b>Figura 18.</b> Proceso de extracción del almidón a partir de semillas de mango mediante el método húmedo.....	49
<b>Figura 19.</b> Proceso de extracción del aceite esencial de cáscara de naranja.....	50
<b>Figura 20.</b> Proceso de elaboración de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja.....	51
<b>Figura 21.</b> Diagrama de flujo de operaciones para el recubrimiento de fresas.....	53
<b>Figura 22.</b> Tamaño de partícula con un aumento de 20X.....	71

<b>Figura 23.</b> Solubilidad y poder de hinchamiento (g.g-1) del almidón de semilla de mango...	74
<b>Figura 24.</b> Perfil cromatográfico del aceite esencial de cáscara de naranja.....	78
<b>Figura 25.</b> <i>Botrytis spp.</i> visualizado microscópicamente a un aumento de 40x.....	80
<b>Figura 26.</b> Efectos principales para la Permeabilidad al vapor de agua.....	88
<b>Figura 27.</b> Efectos principales para la Actividad antifúngica.....	89
<b>Figura 28.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para Permeabilidad al vapor de agua por Tratamiento	91
<b>Figura 29.</b> Pruebas de Múltiple Rangos para actividad antifúngica por Tratamiento.....	91
<b>Figura 30.</b> Espectro IR de la película comestible.....	95
<b>Figura 31.</b> Espectro IR del quitosano puro.....	95
<b>Figura 32.</b> Variación de la pérdida de peso (%) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	97
<b>Figura 33.</b> Variación de la textura (gf) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa..	99
<b>Figura 34.</b> Variación de los sólidos solubles totales (%) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	102
<b>Figura 35.</b> Variación del pH con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	104
<b>Figura 36.</b> Variación de la acidez titulable (%ácido cítrico) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	107
<b>Figura 37.</b> Variación del color con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	110
<b>Figura 38.</b> Variación de la Vitamina C (% ácido ascórbico) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	113
<b>Figura 39.</b> Variación del contenido de antocianinas (mg cianuración-3-O-glucósido/100 g) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	115
<b>Figura 40.</b> Variación del contenido de fenoles totales (mg ácido gálico/100 g) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	118
<b>Figura 41.</b> Variación del recuento total de mohos y levaduras (UFC/gr) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.....	120

**Figura 42.** Evaluación sensorial de las fresas recubiertas y fresas control..... 122

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Extracción de almidón.....	163
ANEXO 2. Capacidad de absorción de agua del almidón.....	164
ANEXO 3. Solubilidad y poder de hinchamiento del almidón.....	164
ANEXO 4. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina del almidón.....	165
ANEXO 5. Viscosidad del almidón.....	165
ANEXO 6. Temperatura de gelatinización del almidón.....	166
ANEXO 7. Tamaño de partícula del almidón.....	166
ANEXO 8. Extracción de aceite esencial.....	167
ANEXO 9. Densidad del aceite esencial.....	168
ANEXO 10. Índice de refracción del aceite esencial.....	168
ANEXO 11. Índice de peróxido del aceite esencial.....	169
ANEXO 12. Índice de acidez del aceite esencial.....	169
ANEXO 13. Evaluación macroscópica de Botrytis sp.....	170
ANEXO 14. Evaluación microscópica de Botrytis sp.....	170
ANEXO 15. Preparación de medio de cultivo para evaluar el efecto antifúngico.....	171
ANEXO 16. Efecto antifúngico del aceite esencial.....	172
ANEXO 17. Efecto antifúngico del quitosano.....	172
ANEXO 18. Preparación de la solución.....	173
ANEXO 19. Permeabilidad al vapor de agua de los diferentes tratamientos.....	174
ANEXO 20. Actividad antifúngica de la solución.....	175
ANEXO 21. Caracterización de humedad.....	176
ANEXO 22. Caracterización de solubilidad.....	176
ANEXO 23. Caracterización de opacidad.....	177
ANEXO 24. Caracterización de IR.....	177
ANEXO 25. Recolección de las fresas.....	177
ANEXO 26. Acondicionamiento de las fresas.....	178

<b>ANEXO 27.</b> Textura.....	179
<b>ANEXO 28.</b> Sólidos solubles totales.....	179
<b>ANEXO 29.</b> pH.....	179
<b>ANEXO 30.</b> Acidez titulable.....	180
<b>ANEXO 31.</b> Color.....	180
<b>ANEXO 32.</b> Vitamina C.....	181
<b>ANEXO 33.</b> Contenido de antocianinas.....	181
<b>ANEXO 34.</b> Contenido de compuestos fenólicos.....	182
<b>ANEXO 35.</b> Recuento de mohos y levaduras.....	182
<b>ANEXO 36.</b> Evaluación sensorial.....	183
<b>ANEXO 37.</b> Fresa control y fresa recubierta durante su almacenamiento.....	184
<b>ANEXO 38.</b> ANOVA de permeabilidad al vapor de agua.....	184
<b>ANEXO 39.</b> ANOVA de actividad antifúngica.....	185
<b>ANEXO 40.</b> Prueba T student para la pérdida de peso durante los días de almacenamiento.....	185
<b>ANEXO 41.</b> Prueba T student para la textura durante los días de almacenamiento.....	186
<b>ANEXO 42.</b> Prueba T student para los sólidos solubles durante los días de almacenamiento....	187
<b>ANEXO 43.</b> Prueba T student para la acidez titulable durante los días de almacenamiento.....	188
<b>ANEXO 44.</b> Prueba T student para el color durante los días de almacenamiento.....	189
<b>ANEXO 45.</b> Prueba T student para el contenido de antocianinas durante los días de almacenamiento.....	190
<b>ANEXO 46.</b> Prueba T student para los compuestos fenólicos durante los días de almacenamiento.....	191
<b>ANEXO 47.</b> Prueba T student para el recuento de mohos y levaduras durante los días de almacenamiento.....	192
<b>ANEXO 48.</b> Prueba T student para el pH durante los días de almacenamiento.....	192
<b>ANEXO 49.</b> Prueba T student para el contenido de ácido ascórbico durante los días de almacenamiento.....	193

<b>ANEXO 50.</b> Prueba T student de la evaluación sensorial.....	194
<b>ANEXO 51.</b> gráfica ln para determinar la vida útil de la fresa control.....	195
<b>ANEXO 52.</b> gráfica ln para determinar la vida útil de la fresa recubierta.....	195
<b>ANEXO 53.</b> Estandarización de hidróxido de potasio e hidróxido de sodio.....	196
<b>ANEXO 54.</b> Estandarización de la solución de yodo.....	197
<b>ANEXO 56.</b> Ficha técnica del glicerol.....	199
<b>ANEXO 57.</b> Ficha técnica del tween 80.....	203



## RESUMEN

La fresa es una fruta no climatérica que posee una vida poscosecha muy corta debido a su actividad metabólica relativamente alta y su susceptibilidad al ataque de patógenos, principalmente al hongo *Botrytis cinerea*, generando grandes pérdidas comerciales; esto ha conllevado la búsqueda de nuevos sistemas naturales de conservación. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de un recubrimiento comestible a base quitosano (Q), funcionalizado con almidón de semilla de mango (A) y aceite esencial de cáscara de naranja (EO) para la conservación de fresas. Para ello, se realizó la extracción de almidón de semilla de mango por el método húmedo y la extracción de aceite esencial de cáscara de naranja por destilación con arrastre de vapor que, posteriormente, fueron caracterizados. Así mismo, se evaluó el efecto inhibitorio *in vitro* tanto del aceite esencial como del quitosano sobre el hongo *Botrytis sp.* por el método del medio envenenado. Se desarrollaron diferentes formulaciones para determinar un mejor tratamiento en base a la permeabilidad al vapor de agua y actividad antifúngica, para lo cual, se utilizó un diseño factorial  $3^2$ , siendo los factores: la proporción de (Q):(A) (50%Q:50%A, 75%Q:25%A y 100%Q:0%A) y la concentración de EO (0.5%, 1% y 1.5%). La mejor formulación se aplicó como recubrimiento en la fresa y se evaluó su efecto en las características físico-químicas, compuestos bioactivos, análisis microbiológico y sensorial, comparando con una muestra control. Los resultados obtenidos para el (A), presentaron un tamaño de partícula de 30.89  $\mu\text{m}$  de longitud y 18.83  $\mu\text{m}$  de ancho, el contenido de amilosa fue de 32.52%, amilopectina 67.48%, viscosidad de 415 mPa.s, temperatura de gelatinización de 75.5°C, capacidad de absorción de agua de 73.67%, solubilidad y poder de hinchamiento de 1.72, 4.85, 10.68, 12.48 % y 2.60, 4.85, 9.72, 15.62  $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  a temperaturas de 60, 70, 80 y 90°C, respectivamente. Por otro lado, el EO obtenido presentó una densidad (20°C) de 0.84 g/mL, índice de refracción (20°C) de 1.47, índice de acidez de 1.31 mg KOH/g, índice de peróxido de 1.87 mEq de oxígeno/kg y D-Limoneno como componente mayoritario (79.17%). Los resultados del efecto antifúngico del EO al 1% mostraron un 100% de inhibición sobre el hongo, mientras que, para el Q al 1.5% se observó una inhibición del 56.7%. La mejor formulación fue F3 (50%Q:50%A y 1.5% EO) con un menor valor de permeabilidad al vapor de agua de  $1.09 \times 10^{-10}$  g/Pa.s.m y mayor actividad antifúngica (10.6 mm). La aplicación del recubrimiento redujo la pérdida de peso, retrasó el ablandamiento de la textura, mantuvo la estabilidad del color, los sólidos solubles totales, pH, acidez, vitamina C, antocianinas y fenoles totales, ralentizó el crecimiento de mohos y levaduras, sin modificar los atributos sensoriales evaluados, durante su almacenamiento a

4°C. Por lo tanto, el recubrimiento demostró su efectividad para conservar las fresas, alargando su vida útil hasta 13 días en comparación con el control que tuvo una vida útil de 6 días.

***Palabras clave:*** Recubrimiento comestible, almidón, quitosano, aceite esencial, *Botrytis sp.*, funcionalización, fresas.

## SUMMARY

Strawberry is a non-climacteric fruit that has a very short post-harvest life due to its relatively high metabolic activity and its susceptibility to attack by pathogens, mainly the *Botrytis cinerea* fungus, generating large commercial losses; this has led to the search for new natural conservation systems. Therefore, the present study aimed to evaluate the effect of an edible coating based on chitosan (Q), functionalized with mango seed starch (A) and orange peel essential oil (EO) for the preservation of strawberries. For this, the extraction of starch from mango seeds was carried out by the wet method and the extraction of essential oil from orange peel by steam distillation, which were subsequently characterized. Likewise, the in vitro inhibitory effect of both the essential oil and chitosan on the fungus *Botrytis* sp. was evaluated by the poisoned medium method. Different formulations were developed to determine a better treatment based on water vapor permeability and antifungal activity, for which a 3<sup>2</sup> factorial design was used, the factors being: proportion of (Q):(A) (50%Q:50%A, 75%Q:25%A and 100%Q:0%A) and EO concentration (0.5%, 1% and 1.5%). The best treatment was applied as a coating on the strawberry and its effect on the physical-chemical characteristics, bioactive compounds, microbiological and sensory analysis was evaluated, comparing it with a control sample. The results obtained for (A) presented a particle size of 30.89 µm in length and 18.83 µm in width, the amylose content was 32.52%, amylopectin 67.48%, viscosity of 415 mPa.s, gelatinization temperature of 75.5 °C, water absorption capacity of 73.67%, solubility and swelling power of 1.72, 4.85, 10.68, 12.48 % and 2.60, 4.85, 9.72, 15.62 g.g<sup>-1</sup> at temperatures of 60, 70, 80 and 90° C, respectively. On the other hand, the EO obtained had a density (20°C) of 0.84 g/mL, refractive index (20°C) of 1.47, acidity value of 1.31 mg KOH/g, peroxide value of 1.87 mEq of oxygen. /kg and D-Limonene as the majority component (79.17%). The results of the antifungal effect of 1% EO showed 100% inhibition on the fungus, while, for 1.5% Q, an inhibition of 56.7% was observed. The best treatment was T3 (50%Q:50%A and 1.5% EO) with a lower water vapor permeability value of 1.09 × 10<sup>-10</sup> g/Pa.s.m and higher antifungal activity (10.6 mm). The application of the coating reduced weight loss, delayed softening of texture, maintained stability of color, total soluble solids, pH, acidity, vitamin C, anthocyanins and total phenols, slowed the growth of molds and yeasts, without modifying the sensory attributes evaluated, during storage at 4°C. Therefore, the coating demonstrated its effectiveness in preserving the strawberries, extending their shelf life up to 13 days compared to the control that had a shelf life of 6 days.

**Keywords:** Edible coating, starch, chitosan, essential oil, *Botrytis sp.*, functionalization, strawberries.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Uceda (2019), la fresa es una fruta no climatérica, rica en antioxidantes como ácidos fenólicos, flavonoides y antocianina, sin embargo, la rápida caducidad de la fresa, ocasiona una vida poscosecha muy corta debido a su actividad metabólica relativamente alta y su sensibilidad a la descomposición fúngica. Asimismo según Oñate (2018) las fresas también son susceptibles a la pérdida de agua, magulladuras y lesiones mecánicas, debido a su textura blanda y a la falta de una cáscara protectora. El tiempo de vida útil que una fresa puede durar a una conservación de 4°C es de 5 días (Baquero, 2017). En la última década la producción de fresa a nivel mundial ha ido significativamente en aumento. En el Perú, el área aproximada del cultivo de fresa es de entre 2,800 y 3,000 hectáreas, estando el 75% de la producción concentrada en las regiones del norte chico (La Libertad, Lima) mientras que el 25% de la superficie restante, en los diversos valles de la sierra (Arequipa, Apurímac y Huánuco) (García, 2022). Durante el año 2021, se obtuvo una producción total de 38 030 toneladas de fresa y un rendimiento medio de 9701,13 kg/ha, la cual fue destinada en un 10% a los supermercados, en un 40% al mercado doméstico y en 50% a la exportación, siendo los principales mercados de exportación Estados Unidos, Canadá, México, Corea del Sur, Japón, Chile y Puerto Rico (Herrera, 2023). Por otra parte, según Ponce (2022) las pérdidas poscosecha de la fresa pueden llegar hasta el 40%. Solís (2021) señala que las pérdidas poscosecha se deben principalmente al ataque del hongo *Botrytis cinerea*, el cual genera daños en los frutos de fresa y puede llegar a generar pérdidas de hasta el 50% de la producción.

El uso de películas o recubrimientos comestibles representa una forma alternativa y/o adicional para la conservación de la fruta, por su capacidad para reducir la humedad, la migración de solutos, la respiración y la tasa de transpiración, para mantener la firmeza y en general retrasar la senescencia, ya que tienen un alto potencial para transportar ingredientes activos y funcionales (Mannozi et al, 2018). Recientemente, el quitosano se ha utilizado ampliamente en la conservación y el envasado de alimentos por su buena biocompatibilidad, degradabilidad y propiedad antimicrobiana (Wang et al., 2019). La combinación de quitosano con otros biopolímeros es una estrategia eficaz para mejorar su capacidad de formación de películas. La mezcla de quitosano con biopolímeros basados en polisacáridos, como el almidón, ofrece ventajas como costos bajos, estabilidad adecuada, sellabilidad efectiva y amplia disponibilidad (Kalateh et al., 2021). Las películas y recubrimientos obtenidos de

fuentes renovables como el almidón son conocidos debido a su costo reducido, buenas propiedades de formación de películas y respeto por el medio ambiente (Perdana et al., 2022). Sin embargo, un problema importante de los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos es su limitada capacidad para repeler el agua. Estos inconvenientes se pueden superar agregando componentes lipídicos, como aceites esenciales, que ayudan a mejorar la permeabilidad del vapor de agua y las transmisiones gaseosas de los materiales de recubrimiento. Además, poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes para combatir varios tipos de patógenos transmitidos por los alimentos y la oxidación de lípidos (Yadav et al., 2022).

Por otra parte, la industria del mango ha experimentado un aumento significativo en su consumo a nivel internacional en los últimos años (triplicado o cuadruplicado su consumo en algunos países), lo que ha impulsado un crecimiento anual en la producción y comercialización de esta fruta en los principales países productores (Acosta, 2021). A nivel global, las exportaciones de mango han experimentado un aumento constante en todas sus presentaciones, durante los últimos años. En el año 2017, se registró un total de 2,2 millones de toneladas exportadas, mientras que para el año 2020, esa cifra se incrementó a 2,4 millones de toneladas (Aragón, 2022). Así mismo, Perú ha experimentado un crecimiento positivo, siguiendo las tendencias globales. Las exportaciones de mango han incrementado en aproximadamente un 40% para el año 2020 con respecto al año 2011 (Aragón, 2022). De esta manera, Perú se ubica en el tercer lugar como proveedor global de mango y el segundo en América (con un 10% de participación), cuyas áreas con mayor producción se encuentran en la costa norte de Perú, especialmente Piura y Lambayeque (Corvera, 2020). Actualmente, Perú cuenta con más de 30,000 hectáreas dedicadas al cultivo de mango, siendo la variedad Kent el cultivo más predominante y el rendimiento promedio nacional es de 15.38 t/ha, superando al promedio mundial de 10.39 t/ha. (Aragón, 2022).

Sin embargo, las industrias de procesamiento de frutas y vegetales generan una gran cantidad de subproductos infrautilizados que no suelen ser consumidos o están deteriorados, tales como cáscara, frutos malogrados, pulpa, semillas, tallos, entre otros (Cruz et al., 2015). Estos residuos orgánicos constituyen un problema medioambiental debido a la descomposición descontrolada, que se suma al calentamiento global, y los riesgos para la salud (Tesfaye et al., 2022). La gestión de estos residuos supone un desafío tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

La justificación del presente estudio radica en el desarrollo de un recubrimiento con aplicación potencial para la conservación de fresas. El uso de recubrimientos comestibles extiende la vida útil, protegiendo de daños mecánicos, reduciendo la respiración y transpiración y proporcionando una barrera al oxígeno, lo que conlleva a un retraso de la senescencia (Oñate, 2018). Sin embargo, los recubrimientos a base de polisacáridos presentan algunas limitaciones como barreras deficientes (Ren et al., 2017, como se citó en Othman et al., 2021). Estas limitaciones pueden ser contrarrestadas agregando plastificantes como el glicerol y sustancias hidrofóbicas como el aceite esencial, que pueden mejorar las propiedades funcionales del material (Fonseca et al., 2020, como se citó en Othman et al., 2021). La extracción de almidón proveniente de residuos agroindustriales como la semilla de mango constituye una materia prima de bajo costo y gran disponibilidad, puesto que los subproductos del mango representan entre un 45 y 50% del fruto total, siendo la semilla entre un 13 a 29% del peso total (Escalona et al., 2022). Además se le puede conferir un valor agregado a la cáscara de naranja maximizando su valor para la obtención de aceite esencial. Según Bautista y Valdivieso (2016), la cáscara de naranja es rica en aceites esenciales, sin embargo pese a la gran utilización que podría tener esta materia prima es desechada, quizás por desconocimiento, o la poca información que se maneja del tema. Además, los aceites presentes en las cáscaras de naranja exhiben efectos inhibitorios sobre el crecimiento de varias bacterias, levaduras y mohos. Así mismo, la extracción de aceites de los desechos de la cáscara no solo proporciona subproductos útiles, sino que también contribuye a reducir la contaminación (Sharma et al., 2017). Por lo tanto, la reincorporación de estos subproductos implica una revalorización económica, lo cual ayuda a reducir los costos de las materias primas y la contaminación ambiental.

Por todo lo anterior expuesto, en la presente investigación se planteó los siguientes objetivos:

**a. Objetivo general:**

Evaluar el efecto de un recubrimiento comestible a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) para la conservación de fresas (*Fragaria sp.*).

**b. Objetivos específicos:**

- Evaluar *in vitro* el efecto inhibitorio del aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y del quitosano en el crecimiento de *Botrytis sp.*
- Desarrollar diferentes tratamientos de recubrimientos, a base de quitosano, almidón de semilla de mango (*Mangifera indica*) y aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), y seleccionar la mejor formulación en función de su permeabilidad al vapor de agua y efecto antifúngico.
- Determinar el efecto de la mejor formulación en la conservación de fresas (*Fragaria sp.*) en función de sus propiedades físico-químicas, compuestos bioactivos, análisis microbiológico y evaluación sensorial.



## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Fresa

#### 2.1.1. Descripción

Planta clasificada como herbácea, perteneciente a la familia de las *Rosáceas*. Destaca por presentar un tamaño promedio de aproximadamente 50 cm, tener raíces poco profundas, tallos cortos y hojas de forma ovalada; se presentan en grupos de 3 a 11 en cada rama como se aprecia en la figura 1 (Melvin, 2018).

#### Figura 1

*Fresa*



*Nota.* Adaptado de Melvin (2018)

Es una fruta la cual se desarrolla a partir de una flor. De color roja, con un sabor dulce y pertenece a la categoría de los berries (Melvin, 2018). Tienen la característica de ser poliaquenos, que son nombrados botánicamente como eterio, en esta parte el receptáculo alberga numerosos aquenios (Aguilar, 2022). La forma del fruto cambia según el cultivar y puede ser ovalada, globosa-cónica, cónica y cuña larga (Ñahuinlla, 2018).

#### 2.1.2. Clima

La planta de fresa es sensible tanto a la temperatura como a la duración de la luz, lo que significa que su desarrollo está condicionado por estas variables. El crecimiento vegetativo excesivo se produce cuando los días son largos (más de doce horas de luz) y las temperaturas

son elevadas, mientras que los días cortos con temperaturas bajas favorecen la floración. La región propicia para la producción de frutas se encuentra en altitudes entre 1,300 y 2,000 metros. En condiciones donde la duración diaria de la luz es siempre inferior a las 12 horas, el elemento crucial que influye en la producción de frutas es la temperatura ideal, que se sitúa en un promedio de aproximadamente 14 °C, aunque la planta puede desarrollarse adecuadamente en un rango que oscila entre los 10 y los 20 °C (Gómez, 2020).

### **2.1.3. Producción en el Perú**

El cultivo de fresas ha evolucionado en una actividad productiva con impacto económico y social, especialmente en Lima y La Libertad. Ha experimentado un notable aumento gracias al crecimiento en la producción y comercialización de fresas frescas y productos derivados. En el ámbito agrícola, el cultivo de fresas se destaca como una oportunidad lucrativa para aprovechar la globalización y los acuerdos comerciales internacionales para incursionar en nuevos mercados. (MINAGRI, 2008).

### **2.1.4. Variedades**

Según el MINAGRI (2008), las siguientes variedades se encuentran comúnmente en el Perú y pueden trasladarse durante los meses de abril y mayo cuando se adaptan al clima de la costa peruana.

#### **2.1.4.1. Variedades de día corto**

Precisa fotoperíodos cortos con un rango de temperatura entre 14 y 18 °C. Adecuadas para aclimatarse al clima de la costa Adaptadas al clima de la costa peruana para trasplantar en abril-mayo. Las más extendidas en el país son (MINAGRI, 2008):

- **Chandler**

Conocida como Cañetana. Estos frutos tienen figura cónica, son de tono rojo brillante y de magnitud considerable. Alta productividad y una importante resistencia al transporte son rasgos característicos de esta variedad.

- **Tajo**

También llamada Holandesa. Frutos con magnitud grande, de tono rojo anaranjado, por lo general, son lobulados y de forma ligeramente circular. Cuanto con una alta productividad y son resistentes al traslado.

- **Pájaro**

Son provenientes de la Universidad de California. Posee un período de maduración más tardío y tiene una menor productividad a comparación de las demás.

- **Camarosa**

Son de madurez temprana, alto rendimiento durante toda la temporada, fruto grande de tono rojo brillante, exterior lustroso, además posee una figura que es tanto cónica como achatada, con sabor agradable y una textura firme. Ha reemplazado a Chandler en Estados Unidos debido a sus cualidades superiores.

#### **2.1.4.2. Variedades de día neutro**

Poseen la capacidad de dar frutos fuera de temporada. Las más extendidas en el país son (MINAGRI, 2008):

- **Sern**

Frutos cónicos oblongos, con tendencia a aplanarse, de tono rojo anaranjado, tamaño característico y textura firme. Su producción se puede dar en cualquier estación del año, aunque al no florecer de forma seguida, no se utiliza en cultivos exhaustivos.

- **Aromas**

Planta muy productiva con porte erguido. Los frutos son de buen color y tamaño uniforme. Tiene una amplia tolerancia a los cambios de temperatura.

#### **2.1.5. Propiedades y aspectos nutricionales**

La fresa, apreciada globalmente por su color, sabor y contenido nutritivo, destaca por su valor nutricional (Tabla 1). Según Chamorro y Pinta (2017), la fruta presenta un contenido de carbohidratos moderado y es una destacada fuente de vitamina C. También contiene una variedad de ácidos orgánicos, como el cítrico, málico, oxálico y salicílico, además de ser abundante en minerales como el potasio y el magnesio. En cuanto a sus componentes activos,

se ha observado la presencia de pigmentos, aceites esenciales, taninos y flavonoides en esta fruta.

Los frutos de la fresa representan una destacada fuente de fibra y una variedad de compuestos bioactivos, tales como carotenoides, fenoles, ácidos fenólicos, flavonoides y metabolitos endógenos. Según Gómez (2020), las antocianidinas, que son los polifenoles predominantes en la fresa, son los responsables de su característico color rojo intenso. Además, los ácidos fenólicos y sus derivados desempeñan un papel crucial en las variaciones genéticas y en la composición fitoquímica de la fresa, lo que incide directamente en su calidad, contribuyendo a sus propiedades sensoriales, así como a su valor nutricional y funcional.

**Tabla 1**

*Composición nutricional de la fresa*

Constituyente	Contenido (por 100 g de fruto)
Agua	80-85g
Proteínas	0,2-0,1g
Lípidos	0,5g
Carbohidratos	5-13g
Sacarosa	0,2-2,1g
Glucosa	0,8-3,5g
Fructosa	1,0-3,1g
Ácido Cítrico	321-1240 mg
Ácido Málico	100-680 mg
Fenoles	580-1200 mg
Vitamina C	25-120 mg
Potasio	164 mg
Fósforo	21 mg
Calcio	21 mg
Tiamina	0,02 mg
Riboflavina	0,04 mg
Equivalentes Niacina	0,6 mg
Vitamina B6	0,06 mg
Ácido fólico	20 µg

Vitamina E	0,2 mg
Carotenos	4 µg

*Nota.* Adaptado de Chamorro y Pinta (2017)

### **2.1.6. Calidad de la fresa**

#### **2.1.6.1. Índices de calidad**

Según Benavides et al. (2022), los criterios de evaluación de la calidad de las fresas se basan en parámetros organolépticos y aspectos físicos del fruto. Estos incluyen la apariencia, el color, el tamaño, la forma, la ausencia de defectos, el sabor y el aspecto nutricional, especialmente en términos de contenido de vitamina C. Además, para garantizar un sabor admisible se sugiere un valor inferior del 7 % de SST y un valor superior de 0.8 % de acidez. Por otro lado, Muñoz y Naranjo (2012) señalan que la calidad está estrechamente asociada con su composición química y su estado de desarrollo.

#### **2.1.6.2. Fisiología de la maduración y deterioro de la fresa**

Después de la cosecha, las frutas experimentan procesos fisiológicos que contribuyen a su deterioro, principalmente la respiración y la transpiración, los cuales se ven influenciados por las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad (Gómez, 2020).

La respiración es un proceso metabólico presente en las células vegetales, donde moléculas complejas como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos se descomponen por oxidación en moléculas más simples como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el agua (H<sub>2</sub>O), generando energía y moléculas intermedias necesarias para mantener las funciones celulares (Jami, 2021).

Por otro lado, la transpiración consiste en la pérdida de agua de las frutas por evaporación y difusión, un proceso de transferencia de masa donde el vapor de agua se mueve desde la superficie de la fruta hacia el aire circundante (Jami, 2021).

Por otro lado, con base en la tasa de respiración y producción de etileno, es posible categorizar las frutas en climatéricas y no climatéricas. Los frutos no climatéricos son aquellos que, tras ser cosechados, reducen su velocidad de respiración y maduran completamente en la planta, por lo que se recolectan en estado maduro. No hay una relación

consistente entre la capacidad de producción de etileno y la pérdida de calidad o la disminución de la vida útil de un producto. Sin embargo, la exposición al etileno acelera la senescencia, ablandamiento y cambios en compuestos como antocianinas y fenoles que causan oscurecimiento (Ocadiz, 2014).

Chamorro y Pinta (2017) explican que la fresa, siendo un fruto no climatérico, exhibe una notable susceptibilidad al deterioro debido a su rápida tasa de respiración. Se recolecta en un estado cercano a la madurez y la suavidad, lo que conlleva una disminución considerable de su vida útil después de la cosecha. La velocidad de respiración es especialmente elevada, registrando alrededor de 15 mg CO<sub>2</sub>/kg·h a 0°C, y aumentando de manera significativa hasta cuatro o cinco veces a 10°C, particularmente cuando sufre daños mecánicos durante el proceso de poscosecha y comercialización. A pesar de generar una cantidad mínima de etileno, menos de 0,1 µL/kg·h, lo que impide que responda a tratamientos poscosecha con etileno para estimular su maduración, se ha observado que la reducción del etileno en el entorno y la aplicación de atmósferas modificadas durante su almacenamiento pueden contribuir a mitigar el desarrollo de enfermedades asociadas.

### **2.1.6.3. Enfermedades poscosecha**

El problema central en la producción de fresas es la significativa pérdida poscosecha, que puede alcanzar hasta el 50% de la producción, principalmente debido a la acción de microorganismos. Las fresas son susceptibles a una variedad de enfermedades, incluidas las causadas por hongos, bacterias y virus, siendo la ocasionada por *Botrytis cinerea* conocido como moho gris (Figura 2), la causa más común de las pérdidas poscosecha en las fresas (Barrazueta-Rojas et al., 2018). Este patógeno agresivo común, activo en bajas temperaturas, tiene capacidad de infestar a más de 200 plantas huéspedes y ocasionar considerables pérdidas en cosechas almacenadas durante períodos prolongados (incluso a temperaturas entre 0 y 10 °C) (Matute, 2019). Esta forma de hongo, identificada por su micelio blanco que se torna gris durante la etapa de esporulación, impacta principalmente en las flores, los pecíolos de las hojas y, en particular, en la fruta. Los primeros indicios de su presencia en las frutas afectadas se presentan como manchas marrón claro, de las cuales emerge una capa pulverulenta gris debido a la liberación de esporas (Chávez, 2019). Su capacidad de infectar las fresas abarca cualquier fase de su desarrollo. Aunque es poco común que las esporas germinadas penetren directamente en tejidos en proceso de crecimiento activo, pueden

hacerlo a través de lesiones o una vez que han desarrollado micelio sobre pétalos de flores afectados por marchitez, follaje debilitado o escamas de bulbos muertos tras un periodo de tiempo (Matute, 2019).

## **Figura 2**

*Fresa con presencia de micelios y conidias generadas por Botrytis cinerea.*



*Nota.* Tomado de Argueta (2019)

Otro daño significativo en la fase poscosecha se relaciona con la pudrición de los frutos causada por el hongo *Rhizopus* (Figura 3). De manera análoga al moho gris, el micelio de *Rhizopus* ingresa en los frutos mediante lesiones, provocando pudrición blanda, exudación y la formación de eflorescencias negras compuestas por los esporangios del hongo. Una ventaja significativa de este hongo es su incapacidad para desarrollarse a temperaturas inferiores a 5°C, lo que sugiere que el enfriamiento puede ser efectivo para controlar la enfermedad (Chávez, 2019).

### Figura 3

*Fresa con presencia de filamentos blancos y negros producidos por *Rhizopus stolonifer**



*Nota.* Tomado de Argueta (2019)

#### 2.1.6.4. Manejo postcosecha

De acuerdo con Saraguro (2023), para un buen manejo poscosecha de la fresa, se debe cumplir con lo siguiente:

- **Cosecha:** Se realiza de forma manual separando y con mucho cuidado. Son recolectadas una vez que alcanzan la talla deseada, y son colocadas en un recipiente (figura 4).
- **Limpieza y desinfección:** Consiste en descartar materias extrañas. La desinfección se realiza para excluir microorganismos patógenos.
- **Empaquetado:** Consiste en empaquetar a las fresas que cumplen con las expectativas de calidad, en envases generalmente transparentes, con características de tamaño y ventilación.
- **Almacenamiento:** A temperatura de refrigeración, y en lugares limpios.
- **Transporte:** Para conservar los frutos es necesario el transporte en frigoríficos



## Figura 4

### *Cosecha de la fresa*



*Nota.* Adaptado de Saraguro (2023).

## 2.2. Almidón

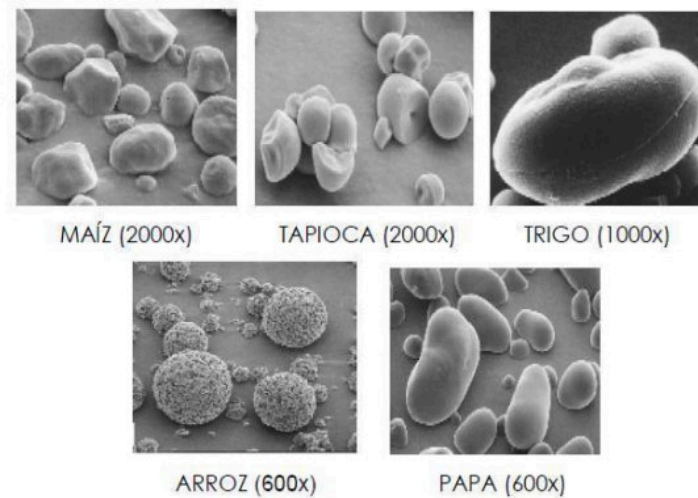
### 2.2.1. Generalidades

Los polímeros naturales, carbohidratos que pueden ser sintetizados por las plantas durante la fotosíntesis, tienen la función de aportar energía (Ortiz, 2019). Organizado en gránulos, la cual varía en longitud y forma según el vegetal. Están presentes en las semillas, tubérculos, raíces y tallos de las plantas, siendo la principal fuente de energía durante los periodos de germinación y crecimiento.

Se puede determinar una amplia gama de formas y tamaños de partículas, con un rango entre 0,5 y 100  $\mu\text{m}$ , lo que impacta en sus propiedades funcionales. (Holguin, 2019). Por otra parte, de acuerdo con Jiménez y Martínez (2016), los gránulos de almidón están disponibles de diferentes formas, ya sea redonda, ovalada, lenticular e irregular, donde los gránulos más grandes ( $<110 \mu\text{m}$ ) lo ocupan el almidón de papa. Según antecedentes, los gránulos de tamaño pequeño se dispersan más rápidamente, y tienen un mayor disposición de absorción de agua.

## Figura 5

### *Microfotografía de gránulos de almidón*



*Nota.* Adaptado de Holguin (2019)

Según Gutiérrez (2017), el almidón se utiliza en las empresas de alimentos debido a que logra brindar una variedad de propiedades funcionales. El almidón puede ser utilizado en la industria alimentaria, en la industria de textiles, papel, cosméticos, plásticos y farmacéutica.

### **2.2.2. Estructura química**

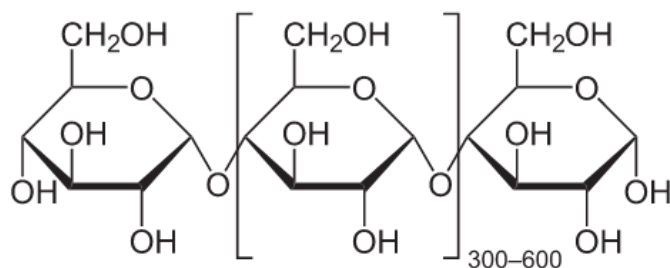
Conformado estructuralmente por: la amilosa, que presenta estructura lineal, además de amilopectina, con una estructura ramificada (Maya, 2017).

#### **■ Amilosa**

Presenta una estructura lineal, la cual está formada por monómeros de glucosa (Figura 6). Lo normal es que forme numerosos complejos insolubles con muchas moléculas que precipitan (Toro, 2019). Cabe mencionar, que su estructura lineal la convierte en el ingrediente clave de las películas de almidón (Anticono y Torres, 2020).

## Figura 6

*Estructura química de la amilosa*



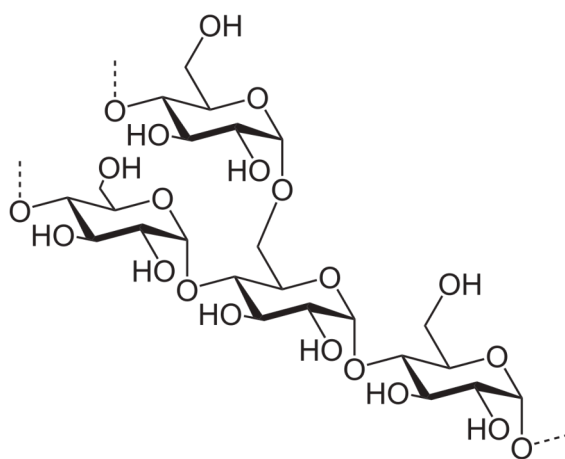
*Nota.* Tomado de León et al. (2020)

### ■ Amilopectina

Es un polisacárido con estructura en forma de ramas, y éstas se unen mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1,6) (figura 7) que se encuentran en cada 25-30 unidades lineales de glucosa (Toro, 2019).

## Figura 7

*Estructura química de la amilopectina*



*Nota.* Tomado de León et al. (2020).

### 2.2.3. Almidón nativo

Según Nizama (2021), es aquello que no ha sido alterado durante su obtención; logra obtenerse de cereales y vegetales, lo que mantiene así la estructura original que lo caracteriza. Según Gutiérrez (2017), el almidón de papa y yuca se hidrata muy fácilmente, lo que origina dispersiones con una mayor viscosidad y geles no resistentes. Las propiedades tecnológicas

del almidón nativo precisan en gran medida de su origen, así como de la relación amilosa-amilopectina (Nizama, 2021).

#### **2.2.4. Métodos de extracción de almidón**

##### **2.2.4.1. Método seco**

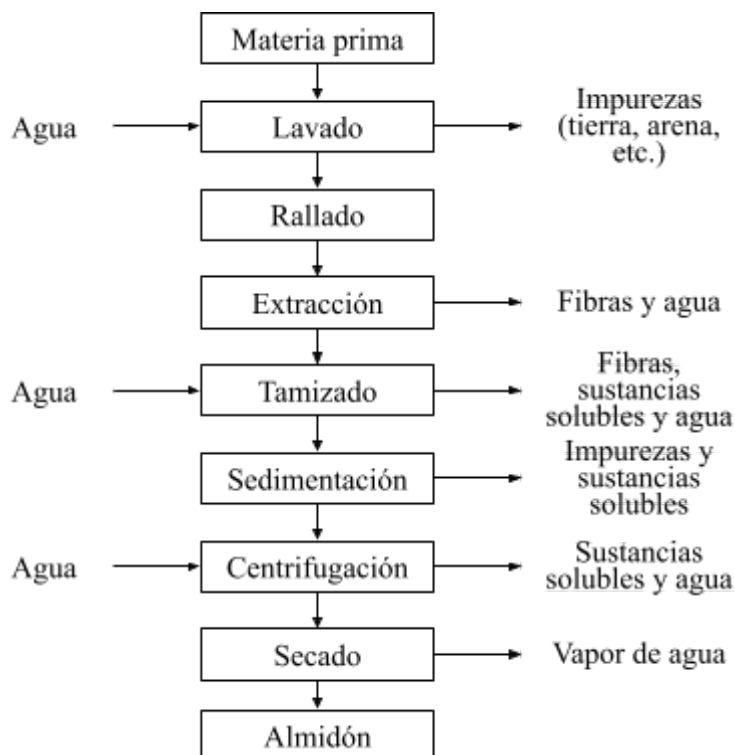
Nizama (2021) enfatizó que se basa en triturar la fruta y convertirla en harina, la cual posteriormente se tamiza. Este proceso se utiliza en pequeñas fábricas, lo que genera un producto terminado de calidad. Además, Astudillo y Sánchez (2019) mencionaron que con éste método, primero se secan los frutos, luego se muelen, y así obtener como producto intermedio la harina, la cual se tamiza para finalmente lograr almidón como producto final.

##### **2.2.4.2. Método húmedo**

La extracción del almidón implica en primera instancia la trituración y separación de los componentes de la celulosa en presencia de agua; luego se decanta la solución y se lava para eliminar diferencias, y finalmente se seca el almidón (Figura 8). Además, Nizam (2021) en su investigación demostró que este método primero reduce el tamaño de la fruta, luego las muelen, posteriormente se separa la fibra y la proteína. El material se decanta y finalmente se seca el almidón en la estufa.

**Figura 8**

*Diagrama de flujo para obtener almidón de tubérculos y semillas.*



*Nota.* Adaptado de Mongui y Quinteros (2021).

### **2.2.5. Almidón de semilla de mango**

De acuerdo con Ruiloba (2018), actualmente, hay pocos antecedentes sobre la determinación del almidón de semillas de mango y se han reportado resultados grandiosos para cultivares de mango africanos y asiáticos. De las cuales, indicaron que las propiedades del almidón, varían ligeramente entre diferentes variedades, pero la calidad del almidón es excelente y conlleva un buen potencial de procesamiento.

Floríndez y Floríndez (2009), cuantificaron las propiedades del almidón provenientes de semilla de mango (Tabla 2), determinando que la semilla de mango presentó un contenido superior de carbohidratos, que merece ser beneficiado industrialmente, convirtiéndolo así en materia prima apto para la fabricación de películas. Por otra parte Ortiz (2019), determinó el rendimiento del almidón de semilla de mango obtenido por método vía húmedo, oscilando los valores entre el 21% y 36% dando como promedio un valor de 28,1%.

**Tabla 2***Determinación química del almidón a partir de semilla de mango*

<b>Componente</b>	<b>Base Húmeda</b>	<b>Base seca</b>
Humedad	11,35	-
Proteína	2,15	2,96
Grasa	3,89	3,98
Carbohidratos	82,46	92,90
Ceniza	0,13	0,14
Fibra	0,02	0,02

*Nota.* Tomado por Floríndez y Floríndez (2009)

## **2.2.6. Propiedades funcionales del almidón**

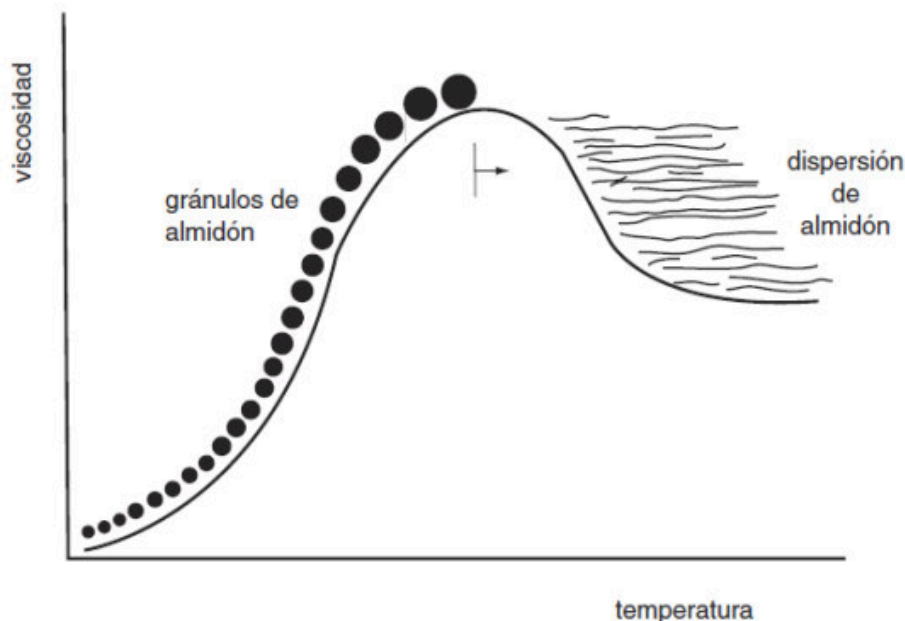
### **2.2.6.1. Gelatinización de almidón**

Técnica irreversible en el que la solución se disolverá en un disolvente orgánico durante el calentamiento. Un aumento exhaustivo de temperatura le da a la solución una alta viscosidad y forma una capa de polímeros sin forma suspendidos en el líquido, sin embargo, al llevarlo a altas temperaturas hace que la mezcla cambie y cambie. Cuando este fenómeno sea evidente, las partículas comenzarán a partirse a una determinada temperatura hasta destruir estructuralmente las propiedades químicas del almidón (Pérez, 2021).

Rojas (2017) afirmó que cuando la temperatura alcanza los 60-70°C, se pierde el orden molecular, lo que genera pérdida de cristalinidad y lenta absorción de agua. Cuando se genera la absorción de agua, la solubilidad y la viscosidad del almidón, éstos aumentan debido a cambios irreversibles y las estructuras cuasicristalinas. La Figura 9 resume el proceso en el que la viscosidad de la solución de almidón aumenta.

**Figura 9**

*Gelatinización del almidón.*



*Nota.* Adaptado de Rojas (2017)

Asimismo, según Chapuel y Reyes (2019), el almidón no se disuelven en agua fría ya que su organización es muy regular y tiene una alta estabilidad; caso contrario ocurre al calentarse, ya que se inicia un lento proceso de absorción de agua en las regiones no tan organizadas. Asimismo, se liberan amilosa y amilopectina. Bernal et al. (2017) afirmaron que la amilosa genera un gel más fuerte y estable que la última.

#### **2.2.6.2. Retrogradación de almidón**

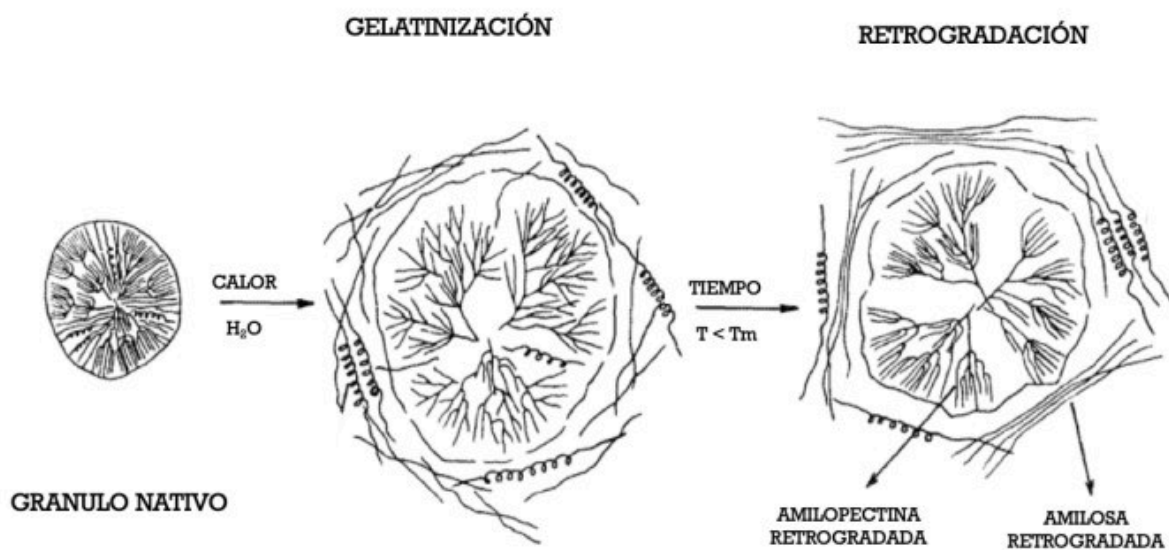
Según Pérez (2021), es un fenómeno de insolubilización y precipitación del almidón; asimismo, las relaciones moleculares dependen directamente de la concentración del almidón, la dispersión y una determinada temperatura. En cuanto a la temperatura, se pueden generar dos situaciones especiales: la primera cuando el almidón vuelve a su estado natural sin gelatinización; por otra parte, el otro se da cuando las limitaciones de temperatura hacen que el almidón se descompona.

Por otro parte, Rojas (2017) manifiesta que la retrogradación es un fenómeno que se llama como la insolubilidad y precipitación espontánea de moléculas excepcional de amilosa, ya que sus cadenas lineales se orientan en paralelo (figura 10). Esto se puede hacer de varias

formas, las que dependen de la concentración y temperatura del entorno. Además, la velocidad depende de diversos parámetros, el primero es la relación molecular amilosa-amilopectina, la estructura de ambas moléculas; los cuales están examinados por el origen botánica del almidón, temperatura, concentración; y por último, la asistencia y concentración de otros ingredientes (Pineda, 2019).

**Figura 10**

*Representación de la estructura del almidón durante la gelatinización y la retrogradación.*



*Nota.* Adaptado de Pineda (2019)

## 2.3. Quitosano

### 2.3.1. Obtención

Según Castro y González (2018), es un compuesto que se genera por desacetilación de la quitina, donde el grupo amino queda libre. Se conlleva casi en su totalidad debido a este proceso, implica la eliminación del grupo acetilo de la quitina. Además a ello, Quiroga (2019) determinó que se consigue de forma natural en las paredes celulares de algunas plantas y hongos; pero a nivel gran industrial, la más importante fuente de quitosano es la quitina.

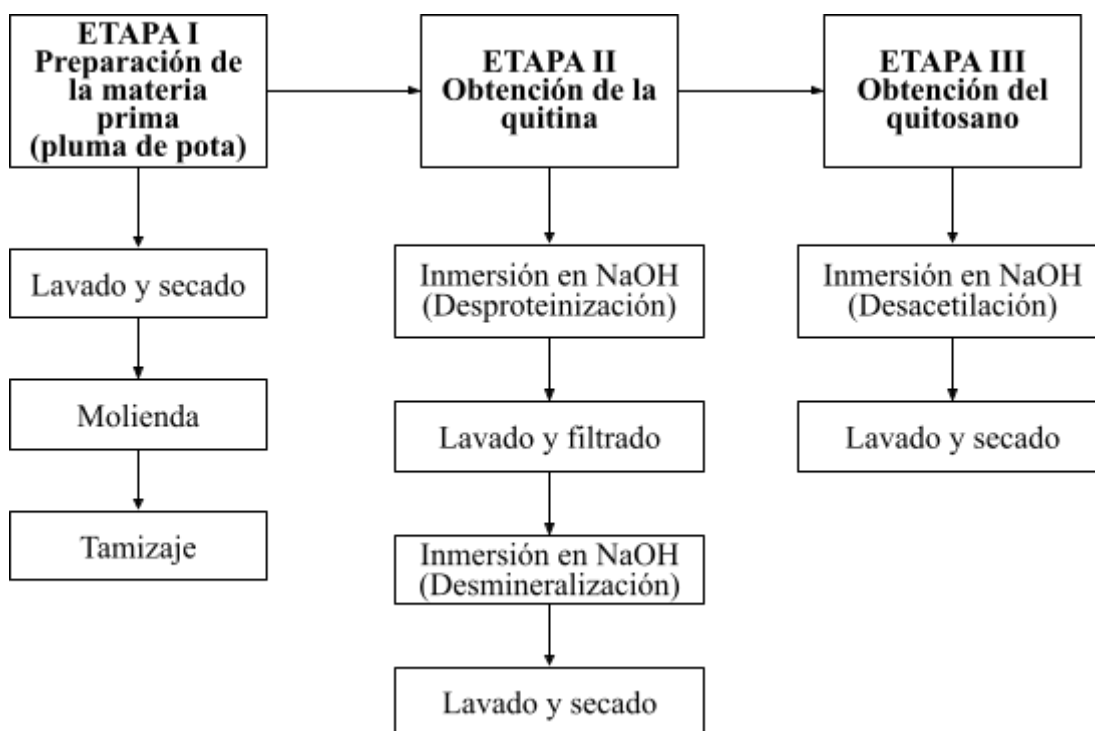
Escobar et al. (2011) determinaron que la obtención de quitina y luego quitosano consta de tres modos como se muestra en la Figura 11. En el primero, se clasifican utilizando grandes cantidades de agua para eliminar la materia orgánica añadida, luego se



muelen, se trituran y finalmente se tamizan. En la segunda etapa la quitina se obtiene en procesos de desproteínización y desmineralización. Finalmente, el tercer paso consiste en la desacetilación de la quitina obtenida para hidrolizar los grupos amino presentes para obtener quitosano.

**Figura 11**

*Metodología para la obtención de quitosano a partir de la pluma de pota*



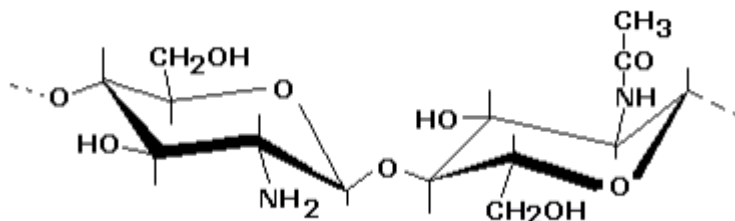
*Nota.* Adaptado de Escobar et al. (2011)

### 2.3.2. Estructura y propiedades químicas

Copolímero de 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa y 2-acetamido-2-desoxi-D-glucopiranososa unidos por enlace  $\beta$  (1,4) (Cusihuamán, 2017). En la figura 12, se presenta la estructura química:

## Figura 12

*Estructura química del quitosano*

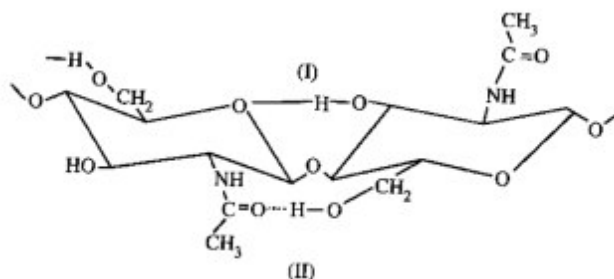


*Nota.* Adaptado de Cusihuamán (2017)

Forma una capa de doble hélice, con una estructura en forma de zigzag establecida por enlaces de hidrógeno (Figura 13).

## Figura 13

*Formación de puentes de hidrógeno (I) y (II)*



*Nota.* Adaptado de Cusihuamán (2017).

### 2.3.2.1. Peso molecular

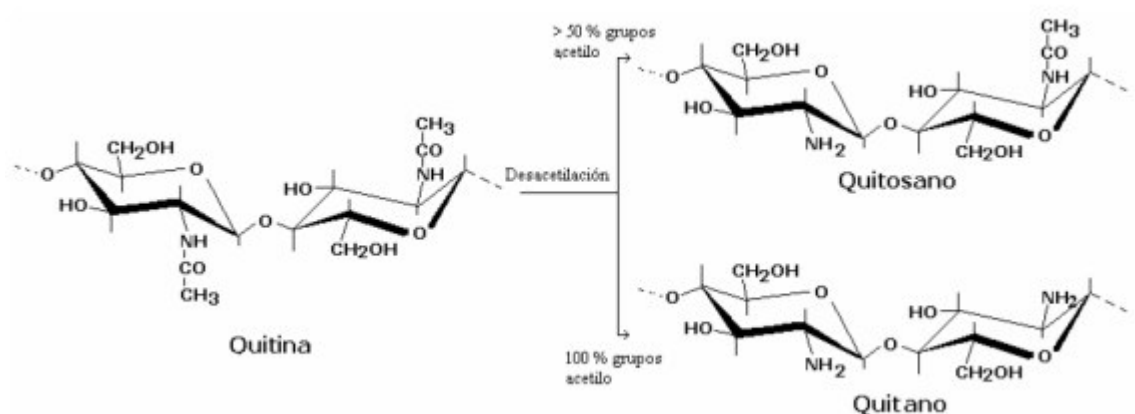
Según Cercedo (2018), esta es una propiedad clave del quitosano porque de ella dependen la solubilidad y la viscosidad, pero el efecto de esta propiedad también se extiende a las propiedades biológicas. Existen varios métodos para determinar el peso molecular, incluida la viscometría, la ionometría de membrana, la cromatografía molecular, la SEC o la GPC.

### 2.3.2.2. Grado de desacetilación

La desacetilación separa el quitosano de la quitina. Cabe señalar también que el GD del quitosano suele ser del 70-90% (Cicedo, 2018). De manera semejante, Huaracha (2016) determinó que es el porcentaje de grupos acetilo presentes en las cadenas de quitina (Fig. 14).

**Figura 14**

*Relación estructural entre la quitina, quitosano y quitano y el grado de desacetilación.*



*Nota.* Adaptado de Huaracha (2016)

### 2.3.2.3. Solubilidad

De acuerdo con Huaracha (2016), se disuelve en solución ácida, a causa de la presencia de grupos amino primarios que se protona según la siguiente ecuación [1]. :



Cuando la amina adquiere una carga positiva, el quitosano aumenta su hidrofobicidad y se disuelve fácilmente en soluciones ácidas. El quitosano se mezcla cuando el 50% de los grupos amino están protonados. Además, la solubilidad depende del GD y está manejada por interacciones con grupos N-acetilo y la naturaleza hidrófila de la glucosamina libre.

### 2.3.2.4. Viscosidad

Esta característica depende de la estructura química, las interacciones con el disolvente y el peso molecular, asimismo cabe mencionar que las soluciones en general de diferentes polímeros suelen ser muy viscosas. Por lo general, una molécula con un mayor PM

su viscosidad aumenta. En el caso de los polielectrolitos, el volumen hidrodinámico depende no sólo del PM, sino también del número y distribución de los grupos iónicos en la cadena polimérica (Huaracha, 2016).

### **2.3.3. Aplicaciones en la industria alimentaria**

#### **2.3.3.1. Agente antimicrobiano**

De acuerdo con Chavesta (2018), el mecanismo de acción del quitosano sobre los microorganismos está influenciado por factores intrínsecos y factores extrínsecos. Además, algunos investigadores relacionan la actividad antimicrobiana del quitosano con la formación de complejos polielectrolitos, puesto que sus grupos amino protonados probablemente se unen selectivamente a la superficie celular cargada negativamente de los microorganismos, alterando la actividad celular y la permeabilidad de la membrana, resultando en la pérdida de componentes intracelulares y, en consecuencia, inhibición microbiana. Según Saeed et al. (2022), el mecanismo antifúngico del quitosano implica la morfogénesis de la pared celular con moléculas de quitosano que interfieren directamente con el crecimiento de los hongos, de manera similar a los efectos observados en las células bacterianas; la intensidad de la acción de degradación del quitosano sobre las paredes celulares de los hongos depende de la concentración, el grado de desacetilación y el pH; estudios realizados en agar sobre cultivos de *R. solani* y *S. rolfisii* revelaron que el porcentaje de germinación del hongo disminuía al aumentar la concentración de quitosano en el medio, ya que el medio se desplaza hacia la alcalinidad, lo que reduce la eficacia del quitosano; sin embargo, se sabe que se produce una tasa de inhibición del orden del 80 % contra hongos vegetales como *Phomopsis asparagi* y hasta un 95 % contra *Fusarium oxysporum*, *Cucumerium owen* y *Rhizoctonia solani*, con concentraciones bajas de quitosano (20-150 mg/L). Por otra parte, Amiera et al. (2019), señala que la influencia del PM y el GD depende de las cepas, y en cuanto a la concentración de quitosano, valores entre 1% y 5% demostraron garantizar una actividad antifúngica óptima. De manera similar a la actividad antibacteriana, la actividad antifúngica del quitosano es mayor a valores de pH más bajos. Georgeta et al. (2021), determinó la actividad antifúngica *in vitro* del quitosano de bajo peso molecular contra *Candida spp.*, donde se demostró una actividad antifúngica significativa, puesto que el quitosano inhibió más del 89,9% de la cepa.

### **2.3.3.2. Agente antioxidante**

Las propiedades antioxidantes del quitosano frente a radicales libres como el 1,1-difenil-picril-hidrazilo (DPPH), hidroxilo, superóxido y peróxido han sido ampliamente estudiadas a lo largo del tiempo. Los grupos amino primarios en la estructura del quitosano desempeñan un papel importante al interactuar con los radicales libres, formando grupos  $NH_3^+$ . El quitosano particularmente desacetilado de bajo peso molecular tiene propiedades antioxidantes y puede considerarse un antioxidante natural (Georgeta et al., 2021). Los resultados obtenidos por Cahyo y Mohamad (2022), informaron que la actividad antioxidante del extracto de quitosano de concha de camarón y del quitosano comercial para eliminar los radicales DPPH osciló entre 18,80% y 42,27% con grado de desacetilación de 78,60% y 13,45% a 33,86% con grado de desacetilación de 73,46%, respectivamente. A causa de la existencia de más compuestos amino en su sistema, el quitosano que produce una mayor cantidad de grado de desacetilación (DD) tiene el potencial de tener una mayor actividad antioxidante, por lo tanto concluyó que, cuanto mayor era el DD de quitosano producido, mayor era el valor antioxidante. Asimismo Prabu y Natarajan (2012), informaron que la actividad antioxidante del quitosano osciló entre 18,37% y 79,58% en concentraciones variables de 0,1 a 10 mg/mL, la cual mostró una actividad antioxidante constante con una mayor concentración. Un mecanismo importante de los antioxidantes implica la eliminación de radicales de hidrógeno.

### **2.3.3.3. Inmovilización de enzimas**

Chavesta (2018) determinó que las fundamentales características de un material particular como portador de inmovilización enzimática son su alta afinidad por las proteínas y la disposición de grupos funcionales. Además, no es tóxico y está fácilmente disponible. En el estudio de Armani et al. (2022), mostraron que las nanofibras de quitosano/PVA son candidatas adecuadas para la inmovilización de la ureasa mediante métodos de adsorción y reticulación, con una proporción de quitosano a PVA de 40:60. Kaushal et al. (2018), señala que la inmovilización de catalasa en perlas de quitosano es una de las técnicas más utilizadas por ser sencilla y económica. El quitosano resulta atractivo para la inmovilización de enzimas debido a su naturaleza inerte; además es un material de soporte económico e hidrófilo y también es biocompatible, biodegradable y no tóxico, lo que lo convierte en uno de los

principales métodos de inmovilización. Los grupos amino que están presentes en el quitosano facilitan la unión covalente de la enzima al soporte.

## **2.4. Aceite esencial**

### **2.4.1. Generalidades**

Los aceites esenciales (AE), también conocidos como “aceites volátiles”, son mezclas complejas de compuestos volátiles que las plantas aromáticas producen como metabolitos secundarios (Valdivieso et al., 2019). Es conocido que las plantas generan aceites esenciales como parte de su respuesta a situaciones de estrés fisiológico, presencia de patógenos y diversos factores ambientales (Hashemi et al., 2017).

Los AE poseen olor característico, generalmente son menos densos que el agua, líquidos a temperatura ambiente e inmiscibles en solventes inorgánicos como el agua (Hashemi et al., 2017), pero son solubles en solventes orgánicos como el éter o alcohol (Malik, 2019). Pueden estar presentes en todos los órganos de las plantas, incluidos capullos, flores, hojas, semillas, tallos, flores, frutos, raíces, madera o corteza (Valdivieso et al., 2019).

Se caracterizan por la presencia de mezclas variables de compuestos bioactivos, principalmente terpenoides, especialmente monoterpenos y sesquiterpenos. Algunos de ellos también contienen compuestos no terpénicos biogenerados por la vía de los fenilpropanoides, como el eugenol, el cinamaldehído y el safrol (Valdivieso et al., 2019).

### **2.4.2. Extracción y aislamiento**

Han surgido diversas metodologías de extracción para obtener aceites esenciales. A continuación se mencionan algunas de estas técnicas:

#### **2.4.2.1. Extracción por arrastre con vapor**

De acuerdo con Armijo et al. (2012), esta técnica implica la vaporización de dos líquidos que no se mezclan entre sí a temperaturas más bajas que las temperaturas de ebullición individuales de cada componente volátil. Esto ocurre mediante una corriente de vapor de agua. El vapor tiene un doble propósito: primero, calienta la mezcla hasta que alcanza su punto de ebullición; segundo, reduce la temperatura de ebullición al añadir la presión del vapor generado, el cual se introduce, a la de los componentes volátiles presentes

en los aceites esenciales. Los vapores resultantes se enfrían hasta que condensan, y luego los dos líquidos inmiscibles, el agua y el aceite esencial, se separan naturalmente debido a la gravedad.

#### **2.4.2.2. Extracción con solventes**

Este método se emplea para materiales que no son tolerantes al calor de la destilación de vapor (Guillén, 2022). Las técnicas convencionales de extracción de materiales vegetales con disolventes dependen de la selección adecuada de los solventes, así como del empleo de calor y/o agitación para incrementar la solubilidad de los compuestos deseados y facilitar la transferencia de masa (Cerna y Torres, 2020). Se suelen utilizar solventes como hexano, etanol, acetona, éter de petróleo, metanol, entre otros.

Guillén (2022) señala que el procedimiento implica la combinación del solvente con el material vegetal, seguido de su calentamiento para la extracción del aceite esencial. Luego, se lleva a cabo un proceso de filtración, y el líquido filtrado se concentra mediante la evaporación del solvente. Estos solventes tienen la capacidad de disolver la esencia, pero también extraen otras sustancias como grasas y ceras, resultando en una esencia final que contiene impurezas (Cordova y Velasquez, 2021). Posteriormente, el concentrado se mezcla con alcohol puro para extraer el aceite, el cual luego se destila a temperaturas bajas. El alcohol absorbe los compuestos volátiles, y cuando se evapora, se obtiene el aceite esencial (Daniel, 2019). Este método se suele utilizar a nivel de laboratorio, ya que resulta muy costoso a nivel industrial debido al valor comercial de los solventes; además, su manipulación puede implicar diferentes riesgos (Eslava y Fajardo, 2020).

#### **2.4.2.3. Hidrodestilación**

La técnica de hidrodestilación consiste en llevar a ebullición una mezcla de agua y material vegetal para que los vapores resultantes sean luego condensados y recogidos en una fase fría, permitiendo así la separación del aceite esencial, el cual es inmiscible en agua (Bandoni, citado en Villamizar y Aular, 2022). Según lo indicado por Siancas (2021), los aceites esenciales tienen un punto de ebullición más alto que el agua, pero al mezclarse con esta última, su punto de ebullición disminuye, lo que posibilita su destilación. Este método, hasta cierto punto, protege los aceites esenciales, ya que el agua circundante actúa como una barrera que evita el sobrecalentamiento del material de extracción (Guillén, 2022).

#### **2.4.2.4. Extracción con fluidos supercríticos**

De acuerdo con Chemat et al. (2019), la parte integral de la extracción con fluidos supercríticos es llevar el fluido a un estado supercrítico, lo que se logra aumentando continuamente la presión y calentando el líquido antes de ingresar al extractor. Una vez se encuentra en la presión y temperatura óptimas, el fluido se filtra en el extractor creando un flujo ascendente o descendente. De esta forma, el fluido extrae los solutos presentes en la matriz. La separación de solutos se observa en un separador donde el fluido supercrítico vuelve al estado gaseoso y los solutos se separan por gravedad. Los extractos se recogen en el fondo del separador. Los gases de escape pueden reciclarse reinyectándolos en el sistema o liberarlos a la atmósfera, según el equipo y las condiciones de procesamiento.

Eslava y Fajardo (2020) afirman que este método ofrece algunas ventajas como el alto rendimiento, la facilidad para eliminar solvente y poder reutilizarlo; además que al ser un proceso de bajas temperaturas no afecta químicamente los componentes de la esencia. Por otro lado, una limitación de este método radica en su costo relativamente elevado, dado que demanda bombas de alta presión y sistemas de extracción que sean resistentes a elevadas presiones.

#### **2.4.3. Usos y aplicaciones**

Se utilizan ampliamente en la industria de la perfumería, la aromaterapia y los cosméticos (Malik, 2019). Numerosos aceites esenciales derivados de plantas encuentran aplicación como realzadores de sabor o aroma en cosméticos, aditivos alimentarios, jabones, resinas plásticas y perfumes (Pandey et al., 2017).

En los últimos años, se ha realizado con éxito investigación sobre el uso de aceites esenciales en la conservación de productos alimenticios para prolongar su vida útil (Pandey et al., 2017).

#### **2.4.4. Actividad antimicrobiana**

Los aceites esenciales son reconocidos por sus propiedades antimicrobianas naturales, ya que muestran una amplia gama de actividad biológica contra diversos microorganismos, incluidas bacterias y hongos (Torres, 2018).



Se atribuye el potencial inhibidor microbiano de los aceites esenciales a la presencia de varios compuestos biológicamente activos, como taninos, saponinas, compuestos fenólicos, flavonoides y los propios aceites esenciales, que exhiben actividad antimicrobiana (Condori y Vilcazan, 2019).

Saquina (2018) señala que los compuestos de cáscara de cítricos han tomado importancia en la industria debido a sus efectos antibacterianos, antifúngicos, antioxidantes, insecticidas y antiinflamatorios, siendo los aceites esenciales de limón, mandarina y pomelo algunos ejemplos de ello, ya que contienen bioflavonoides, entre los que se destaca el D-limoneno como componente principal, así como el citral. Estos actúan directamente sobre las células microbianas, provocando la ruptura de las membranas celulares, las paredes celulares, los sistemas enzimáticos, la síntesis de proteínas, afectando así su actividad e inhibiendo su crecimiento.

#### **2.4.5. Aceite esencial de cáscara de naranja**

El aceite esencial de naranja se caracteriza principalmente por contener un 96% de hidrocarburos terpénicos, siendo el limoneno el componente más abundante. Además, contiene aldehídos en un 1.6%, principalmente octanal y decanal, alcoholes en un 0.8%, especialmente linalool, ésteres en un 0.3%, como acetato de nerilo y acetato de octilo, y un 1% de compuestos no volátiles como carotenoides, tocoferoles, flavonoides, hidrocarburos, ácidos grasos y esteroides (Cerna y Torres, 2020).

Por otro lado, el aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis* L.) tiene una alta concentración de monoterpenos, siendo el limoneno el componente mayoritario con un 90%-96%, y otros monoterpenos oxigenados como linalol (1%-2%) y cineol (1%), que se encuentran en proporciones más reducidas (Marcillo y Villavicencio, 2021).

### **2.5. Plastificantes**

#### **2.5.1. Generalidades**

Son compuestos que se agregan para proporcionar flexibilidad a los recubrimientos alimentarios. En consecuencia, alteran la estructura, la movilidad y el coeficiente de difusión del agua (Cruz y Sarango, 2017). Asimismo, Chapuel y Reyes (2019), determinaron que son componentes de la película que se agregan para mejorar la estructura de la película, son

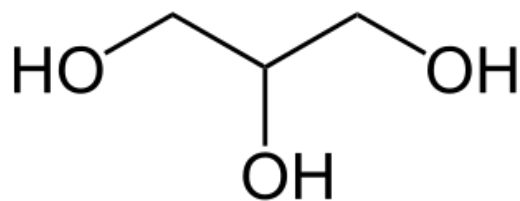
sustancias estables, y son muy significativos en el proceso de formación, algunas propiedades que influye son las mecánicas y permeabilidad, ya que origina cambios en la estructura, movilidad de la cadena y coeficientes de difusión del agua, al disminuir las fuerzas intermoleculares.

### 2.5.2. Glicerol

De acuerdo con Chapuel y Reyes (2019), el propan 1,2,3-triol ( $C_3H_8O_3$ ) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (-OH), tal como se observa en la figura 15, además es un líquido con viscosidad alta, es incoloro, pero si cuenta con un característico olor. Se sabe, que es el plastificante más conocido para reducir la fragilidad, ya que ayuda a aumentar la flexibilidad de la película, pero afecta la PVA debido a que es muy hidrófilo e higroscópico. Con peso molecular inferior, es un buen modulador de mezclas macromoleculares. La glicerina es un suavizante del almidón y mejora la flexibilidad del recubrimiento resultante.

#### Figura 15

*Estructura molecular del glicerol*



*Nota.* Adaptado de Chapuel y Reyes (2019)

### 2.5.3. Aplicaciones

Las aplicaciones del glicerol se encuentran en la industria alimenticia, farmacéutica, cuidado personal, anticongelantes, plásticos, detergentes y sirve de intermediario para muchos otros productos (Badillo, 2017).

Según Lafuente (2017), se utiliza en preparados medicinales y farmacéuticos, así como en cosméticos, principalmente como agente para aumentar su suavidad, para proporcionar lubricación y, al ser una sustancia higroscópica, puede usarse como humectante. Su sabor ligeramente dulce y la propiedad de no elevar los niveles de azúcar en sangre también lo hacen muy usado como aditivo alimentario como E422.

Por otra parte, Polich (2019), señala que en la industria alimenticia, es usada como extractos de té, café, jengibre y otros vegetales; fabricación de refrescos; aditivo para mejorar las características del producto.

Escobar (2020), menciona que a menudo se usan en formulaciones de polisacáridos y proteínas para aumentar el volumen libre, al reducir los enlaces puentes de hidrógeno entre las cadenas del polímero, mejorando así la flexibilidad del recubrimiento.

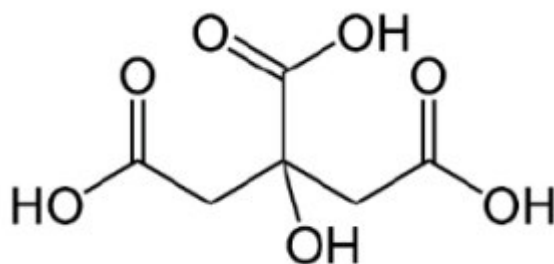
## 2.6. Ácido cítrico

### 2.6.1. Estructura química

Es un producto metabólico primario la cual es originado en el ciclo de Krebs y se encuentra en pequeñas cantidades (Piza, 2017). Presenta tres grupos funcionales carboxílicos y un grupo hidroxilo (Figura 16).

#### Figura 16

*Estructura química del ácido cítrico*



*Nota.* Adaptado de Piza (2017)

### 2.6.2. Propiedades físicas y químicas del ácido cítrico

El ácido cítrico se presenta como un sólido translúcido o blanco, generalmente en forma granular. Es inodoro, con un sabor ácido fuerte pero no desagradable, y exhibe fluorescencia en el aire seco (Hernández, 2019). Las propiedades físico-químicas del ácido cítrico se detallan en la Tabla 3.

#### Tabla 3

*Propiedades físico-químicas del ácido cítrico*

Propiedades físico-químicas del ácido cítrico
---

Aspecto	Sólido cristalino
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Masa molecular	192,12 g/mol
Punto de fusión	153 °C
Punto de inflamación	100°C
Solubilidad en agua (20°C)	59 g/100mL
Densidad (20°C)	1,54 g/mL

*Nota.* Basado en INSST (2018)

### 2.6.3. Aplicaciones en la industria alimentaria

En el ámbito de la alimentación, el ácido cítrico destaca como el acidulante más utilizado y versátil, manteniendo su posición dominante en el mercado gracias a su agradable sabor y su capacidad para realzar los aromas (Pérez et al., 2018).

Cuando se combina con citrato, este ácido exhibe una excelente capacidad amortiguadora, y su destacada capacidad para quelar iones metálicos lo hace especialmente adecuado para aplicaciones en alimentos, cosméticos, nutracéuticos y farmacéuticos . Además, su inclusión en los alimentos contribuye a reducir el pH, lo que ayuda a prevenir la proliferación de microorganismos. (Ciriminna et al., 2017)

En la Tabla 4 se muestran las distintas aplicaciones del ácido cítrico en la industria alimentaria.

**Tabla 4**

*Aplicaciones del ácido cítrico en la industria alimentaria*

<b>Campo de la industria</b>	<b>Aplicaciones</b>	<b>Usos</b>
Alimentos	Bebidas (vinos/jugos/refrescos /jarabes)	Como acidulante, se usa en bebidas carbonatadas y no carbonatadas para dar sabor y amortiguación, se usa en bebidas en polvo seco para controlar el sabor y el pH.
	Confitería	Antioxidante, aumenta la eficacia de los

(mermeladas/jaleas/ dulces)	conservantes antimicrobianos, controla la inversión del azúcar, proporciona acidez y mejora el sabor, controla el pH del producto para la gelificación óptima.
Productos lácteos	El citrato de sodio se usa en cremas para estabilizar la caseína, evita que las cremas se empañen cuando se agrega a bebidas calientes, el citrato de sodio funciona como sal emulsionante para estabilizar las fases de agua y aceite del queso y mejora el cuerpo y la textura.
Industria conservera	Actúa como agente quelante, ayuda conserva el color natural y previene la decoloración en champiñones enlatados, frijoles y maíz enlatados, actúa como un agente antimicrobiano sinérgico antioxidante que se puede aplicar a las superficies de los productos cárnicos curados antes del envasado.
Frutas/verduras congeladas	Junto con el ácido ascórbico, inhibe la oxidación catalizada enzimática y de metales traza reacciones que pueden causar el deterioro del color y el sabor.
Aceites	Se utiliza en el desgomado del aceite de canola en los pasos de desodorización e hidrogenación en el procesamiento del aceite para quelar metales traza que pueden catalizar reacciones de rancidez.
Mariscos	Previene el cambio de color y la formación de olores y sabores desagradables al unirse a metales traza a través del proceso de quelación.
Industria cárnica	El citrato de sodio se utiliza en los mataderos para evitar la coagulación o la coagulación de la sangre fresca.

*Nota.* Adaptado de Aghera y Bhatt (2019)

## 2.7. Recubrimientos

### 2.7.1. Generalidades

Son estructuras elaboradas a partir de lípidos, proteínas o carbohidratos, o combinaciones de estos componentes, los cuales les otorgan diversas propiedades. Los recubrimientos comestibles (RC) se definen como sustancias aplicadas en la superficie de los alimentos para hacerlos aptos para el consumo. Han sido empleados en la industria

alimentaria desde hace siglos, principalmente para disminuir la pérdida de humedad en los diferentes alimentos (Baldwin, 2012, citado en Osorio y Yáñez, 2018).

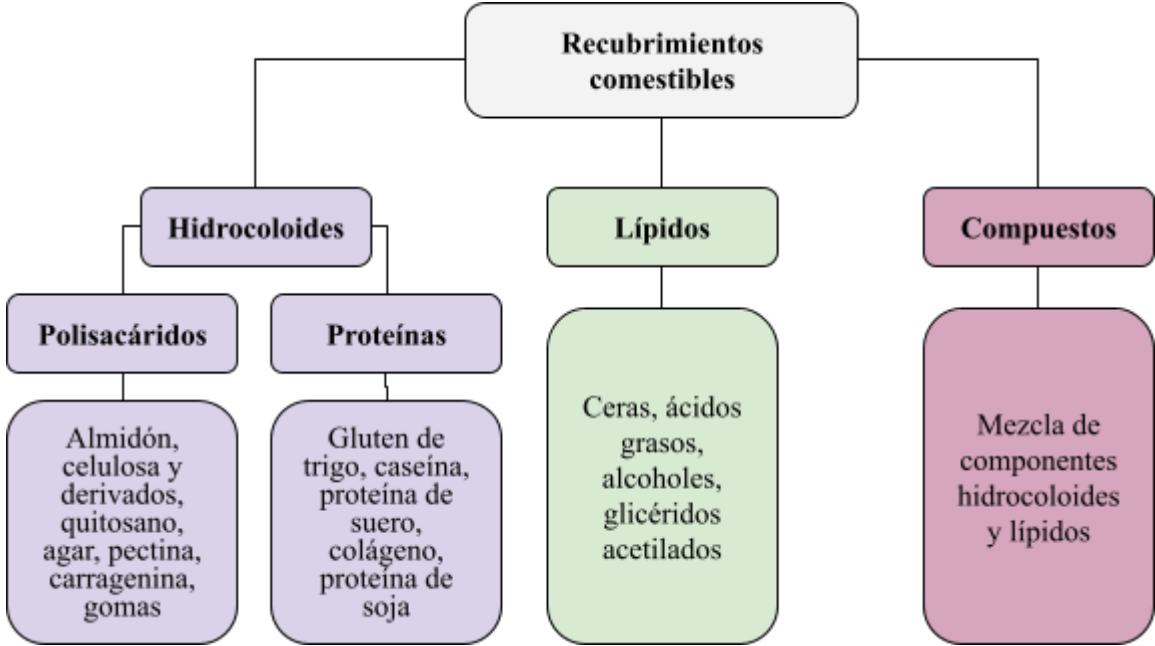
Además de proteger contra los daños mecánicos, físicos y químicos del entorno, los RC han ido adquiriendo importancia con el tiempo, especialmente debido al aumento en la demanda de alimentos frescos. Su aplicación y uso han evolucionado, y en la actualidad se encuentran disponibles una amplia variedad de productos recubiertos, como frutas, verduras, productos cárnicos y productos horneados (Osorio y Yáñez, 2018).

**2.7.2. Tipos de recubrimientos**

Muhammad et al. (2022) proponen una clasificación de los recubrimientos comestibles en tres categorías según el material formador de la película: a base de polisacáridos (como almidón, quitosano, celulosa, alginato, pectina, diversas gomas, entre otros), a base de proteínas (incluyendo proteína de suero, gluten de trigo, caseína, proteína de soja, albúmina de huevo, gelatina, entre otros), y a base de lípidos (como ceras y ácidos grasos), así como mediante la combinación de más de un material (Figura 17).

**Figura 17**

*Clasificación de los recubrimientos comestibles*



*Nota.* Adaptado de Muhammad et al. (2022)

### **2.7.2.1. Recubrimientos a base de polisacáridos**

Los recubrimientos comestibles elaborados a partir de polisacáridos muestran propiedades limitadas de barrera contra la humedad, debido a su naturaleza hidrofílica. No obstante, exhiben una permeabilidad al oxígeno moderadamente baja, ya que están compuestos por cadenas de polímeros con excelentes características de barrera contra gases, lo que resulta en una atmósfera modificada deseable que prolonga la vida útil de frutas y verduras sin inducir condiciones anaeróbicas (Manisha et al., 2021). El empleo de tales recubrimientos presenta varias ventajas, como un costo económico y una mayor disponibilidad (Muhammad et al., 2022).

Algunos de los materiales más comúnmente empleados en la fabricación de recubrimientos a base de polisacáridos incluyen almidón, celulosa, alginatos, carragenina, varias gomas de origen vegetal y microbiano, quitosano y pectinatos (Vaishali, 2019).

- Almidón y sus derivados

El almidón, un polímero natural que se extrae de diversas fuentes como el trigo, el maíz, las papas y el arroz, entre otros (Muhammad et al., 2022), está compuesto por gránulos de amilosa que, según Guaña et al. (2022), ofrecen propiedades sobresalientes para la formación de biopolímeros que son resistentes, isotrópicos, inodoros, insípidos y sin color.

- Celulosa y sus derivados

La celulosa es un polímero anhidro-glucosa que abunda en la naturaleza. Debido a que es insoluble en agua y posee una estructura cristalina estrechamente conectada, representa un desafío para ser utilizada como recubrimiento. Es por ello que, los derivados de celulosa suelen ser una alternativa que presentan excelentes propiedades formadoras de película superando las limitaciones de su forma original. Sin embargo, su aplicación a gran escala resulta altamente costosa (Manisha et al., 2021). Algunos de los derivados más comunes son la carboximetilcelulosa (CMC), la metilcelulosa (MC), la hidroxipropilcelulosa (HPC) y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Estos polisacáridos se caracterizan por ser hidrosolubles, no iónicos y compatibles con tensioactivos (Vaishali, 2019).

- Pectina

La pectina es un tipo de polisacárido derivado de la pared celular de las plantas que se encuentra, principalmente, en la cáscara de frutos cítricos (Muhammad et al., 2022). Se considera un polímero no tóxico, biocompatible, biodegradable y una de sus principales características es su flexibilidad, lo que le confiere a las biopelículas un amplio rango de deformación, similar a los polímeros sintéticos (Guaña et al., 2022). Es adecuada para recubrir frutas y verduras con baja humedad, sin embargo, no ofrece una buena barrera contra la humedad (Manisha et al., 2021).

- Quitosano

El quitosano es un biopolímero policatiónico intrínsecamente antimicrobiano debido a la interacción electrostática de los grupos amino presentes en su estructura con los grupos fosforilo presentes en la membrana celular de los microorganismos (Anaya et al. 2020). Se considera uno de los mejores materiales de recubrimientos y películas para la conservación de frutas y vegetales debido a sus excelentes propiedades de formación de película, actividad antimicrobiana y compatibilidad con otras sustancias como minerales, vitaminas y agentes antimicrobianos (Vaishali, 2019).

- Alginato

Los alginatos son polisacáridos estructurales derivados de algas pardas pertenecientes a la familia Pheophyceae. El alginato tiene distintas propiedades coloidales que ayudan en la estabilización de la emulsión y la preservación de la textura de la fruta (Muhammad et al., 2022). El alginato tiene aplicaciones potenciales en el campo de los recubrimientos comestibles por su capacidad formadora de película, transparencia y solubilidad en agua. Los alginatos presentan una permeabilidad reducida al aceite y las grasas, pero una permeabilidad elevada al vapor de agua (Vaishali, 2019). Así mismo posee algunas propiedades deseables que favorecen la reducción de la contracción, la retención de humedad, el color y el olor de los alimentos (Manisha et al., 2021)

#### **2.7.2.2. Recubrimientos a base de lípidos**

Las características mecánicas y la capacidad de barrera de los recubrimientos y películas comestibles están estrechamente relacionadas con la polaridad de los materiales que los componen; en ese sentido, debido a su carácter hidrofóbico y a su estructura, los componentes lipídicos, se suelen emplear como barrera contra la transferencia de vapor de



agua para el recubrimiento o la formación de películas. Además mejoran la apariencia del alimento al aportar un brillo atractivo (Yousuf et al., 2021). Sin embargo, los recubrimientos y películas a base de lípidos puros generalmente no se emplean, ya que no son fáciles de producir debido a que son mecánicamente menos fuertes; además de conferir un sabor rancio (Yousuf et al., 2021). Debido al espesor y a su naturaleza grasa y pegajosa, los recubrimientos a base de aceite, grasa y cera no se pueden aplicar con facilidad en las superficies de frutas y vegetales. Por otro lado, es conveniente la combinación de lípidos y polisacáridos para mejorar las propiedades de barrera del material de recubrimiento (Manisha et al., 2021).

Los materiales de recubrimiento a base de lípidos más comunes son las ceras, lacas, ácidos grasos y alcoholes, glicéridos acetilados, etc (Manisha et al., 2021). Algunos ejemplos de grasas vegetales empleados en recubrimientos son el aceite de girasol, aceite de oliva; respecto a grasas animales y ceras, están la cera de abejas, cera de carnauba, cera de parafina, etc (Seyedzade et al., 2022).

### **2.7.3. Características de los recubrimientos**

Según Vaishali (2019) y Fernández et al. (2015), las películas y recubrimientos comestibles deben cumplir con ciertos requisitos funcionales para controlar y retrasar las causas del deterioro de los alimentos. A continuación se mencionan las principales características que debe cumplir un recubrimiento para frutas:

- Deben ser inocuos y digeribles.
- Poseer buenas propiedades de barrera contra el agua para evitar la deshidratación y pérdida de calidad.
- Proporcionar una permeabilidad moderadamente baja al oxígeno y al dióxido de carbono para reducir la tasa de respiración y la actividad metabólica general del alimento mediante el equilibrio interno de los gases, con el fin de retardar el proceso de senescencia.
- Prolongar la vida útil mediante la reducción del crecimiento microbiano.
- Mejorar las propiedades mecánicas y preservar su textura.
- Poseer inercia sensorial o compatibilidad. No debe afectar las propiedades nutricionales y organolépticas del alimento.
- Ser económicamente viable y de fácil elaboración.

#### **2.7.4. Efecto de los recubrimientos en la calidad de la fruta**

Reddy y Singh (2020) mencionan que posterior a la cosecha de las frutas, se produce el proceso de transpiración, lo cual conlleva a la senescencia del fruto y a la pérdida de calidad afectando su comerciabilidad. Es por ello que, la aplicación de recubrimientos brinda una protección al alimento retardando la alteración en los cambios fisiológicos de la fruta y prolongando su tiempo de vida útil:

- El recubrimiento comestible ofrece una barrera física entre la superficie de la fruta y el entorno externo de los productos conduciendo a la preservación de la apariencia externa.
- Mantiene la firmeza de la fruta al reducir la actividad de enzimas como la polifenol oxidasa, que participan en el deterioro de la pared celular.
- Reduce la pérdida de peso al evitar la transpiración excesiva, ya que funciona como una barrera entre la superficie de la fruta y la atmósfera.
- Reduce la tasa de respiración al regular la entrada de oxígeno dentro de la fruta, lo cual controla la producción de etileno.
- Retrasa la alteración de la fisiología de la fruta que se ve afectada por factores como la respiración de la fruta, la tasa de producción de etileno, entre otros.
- Mejoran la retención de componentes bioquímicos asociados al sabor, color, ácidos, sólidos solubles totales, etc.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El desarrollo de la metodología experimental se llevó a cabo en el laboratorio de Producto Naturales de la Facultad de Química e Ingeniería Química y los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en el Departamento académico de Microbiología y parasitología básica aplicada de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

#### **3.2. Materia prima**

##### **3.2.1. Semilla de mango**

Las semillas de mango (*Mangifera indica*) variedad Kent fueron adquiridas de una empresa local ubicada en el departamento de Lima.

##### **3.2.2. Cáscara de naranja**

La cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Morocha fue adquirida de un punto de venta de jugo de naranja ubicado en el distrito de Lima, al frente de la puerta 2 de la UNMSM, Lima.

##### **3.2.3. Fresas**

Para la evaluación del efecto del recubrimiento se utilizaron 14 kg de fresas (*Fragaria Ananassa*) variedad Camarosa, provenientes del fundo San Isidro Labrador del distrito de Quilmaná ubicado en la provincia de Cañete, departamento de Lima.

#### **3.3. Materiales y equipos**

##### **3.3.1. Insumos**

- Quitosano de medio peso molecular, G.D:  $\geq 75$  %, procedente de la empresa Sigma-Aldrich
- Ácido cítrico grado alimentario, procedente de la empresa FRUTAROM S.A.C.
- Glicerol  $> 99.6$  % pureza, procedente de Oregon Chem Group S.A.C.
- Tween 80, procedente de Oregon Chem Group S.A.C.

### **3.3.2. Materiales de vidrio**

- Embudo
- Baguetas
- Beakers de 100 mL, 250 mL y 500 mL
- Matraces Erlenmeyer 250 y 500 mL
- Lunas de reloj
- Piseta
- Probeta
- Bureta graduada de 25 mL
- Balón aforado de 100 mL
- Pipeta graduada
- Pipetas Pasteur
- Picnómetro de 10 mL
- Tubos falcon de 15 y 50 mL
- Pera de decantación
- Frascos ámbar 125 mL
- Florentino
- Placas petri de plástico de 6 cm de diámetro

### **3.3.3. Utensilios y otros**

- Recipientes de plástico
- Cuchillos de acero inoxidable
- Desecador
- Tamiz de 100 Mesh
- Bandeja de acero inoxidable
- Espátula
- Cucharas de acero inoxidable
- Papel whatman 145 mm
- Papel aluminio
- Pinzas
- Propipeta
- Soportes universales

- Gradilla para tubos falcon
- Gradilla para tubos de ensayo
- Etiquetas

#### **3.3.4. Instrumentos**

- Termohigrometro, marca Coolbox
- Termómetro digital de alimentos, marca , modelo TP 300
- Micrómetro digital, marca Mitutoyo, modelo 293-240-30
- Refractómetro digital, marca KRÜSS, modelo DR301-95
- pH - metro

#### **3.3.5. Reactivos**

- Cloruro de sodio
- Carbonato de sodio
- Hidróxido de sodio
- Hidróxido de potasio
- Tiosulfato de sodio
- Ácido gálico
- Ácido acético glacial
- Ácido clorhídrico
- Etanol
- Metanol
- Folin ciocalteau 1N
- Tampón de cloruro de potasio pH 1
- Tampón de acetato de sodio pH 4,5
- Yoduro de potasio
- Cloroformo
- Yodo
- Agua peptonada
- Fenolftaleína
- Sílica de gel
- Agua destilada

### 3.3.6. Equipos

- Agitador magnético (marca DLAB, modelo MS-H-PRO+. Velocidad entre 0-1500 rpm).
- Agitador de varilla (marca Heidolph, modelo Hei-TORQUE Core).
- Autoclave (marca ALP, modelo MC-30LDP).
- Balanza analítica (marca ACCULAB, modelo ALC-0.4; sensibilidad 0,0001 g)
- Baño de ultrasonido (marca Elmasonic, modelo S 10 H. Capacidad 0.8 L)
- Baño termostático (marca LAUDA, modelo ECO RE 1050S)
- Centrífuga (marca GREETMED, modelo GT119-100T. Velocidad máx. 4000 rpm).
- Espectrofotómetro (marca KONICA MINOLTA, modelo CM-5)
- Equipo de destilación por arrastre de vapor
- Espectrofotómetro de infrarrojo (marca Thermo Scientific , modelo Summit)
- Espectrofotómetro UV-Vis (marca Thermo Scientific, modelo Genesys 10S)
- Estufa por convección forzada (marca MMM, modelo Venticell)
- Estufa por convección forzada (marca DLAB, modelo JSOF-050. Temperatura máxima 250° C).
- Secador de bandejas (marca METROTECH).
- Licuadora industrial
- Microscopio óptico (marca ZEIZZ)
- Microscopio (marca FYI, modelo YG002C2)
- Refrigeradora (marca LG, modelo GT28WPPX)
- Texturómetro (marca INSTRON, modelo 3365)
- Viscosímetro vibratorio (marca AND, modelo SV-10)

### 3.4. Metodología experimental

El presente estudio se realizó en cuatro etapas: la primera etapa consistió en la extracción y caracterización de almidón y aceite esencial, a partir de semillas de mango y cáscara de naranja respectivamente; la segunda etapa, consistió en la evaluación de la actividad antifúngica *in vitro* del quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja, para determinar las concentraciones adecuadas para aplicarse en las diferentes formulaciones a base de quitosano, almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja; la

tercera etapa consistió en la determinación de la mejor formulación, en base a las variables respuestas: permeabilidad al vapor de agua y actividad antifúngica, siendo los factores a evaluar: las proporciones de Q:quitosano - A:almidón de semilla de mango (50%Q:50%A, 75%Q:25%A y 100%Q:0%A) y concentración de aceite esencial (0,5%, 1% y 1,5%); finalmente la cuarta etapa involucró la evaluación del efecto de la mejor formulación como recubrimiento en la conservación de fresas, en base a las características físico-químicas, compuestos bioactivos, análisis microbiológico y sensorial, comparando con una muestra control.

#### **3.4.1. Extracción del almidón de la semilla de mango**

En la figura 18, se presenta el método de extracción a escala de laboratorio en base a Ortiz (2019) y Sánchez (2016).

##### **❖ Acondicionamiento de la materia prima**

**Recepción:** Se recibieron las semillas de mango en cajas de cartón.

**Selección:** Se descartaron aquellas semillas que se encontraban en mal estado.

**Lavado:** Se realizaron lavados con agua.

**Secado de semillas:** Se secaron en un secador de bandejas durante 6 horas a 50 °C.

##### **❖ Obtención de almidón**

**Extracción de almendras:** Con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable se removió el endocarpio fibroso y la testa; seguidamente, se retiró el tegumento de manera manual para obtener la almendra pelada.

**Pesado:** Una vez extraídas las almendras fueron pesadas.

**Selección de las almendras:** Consistió en descartar aquellas que presentaran signos de descomposición.

**Cortado:** Se redujo el tamaño de los cotiledones con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable.

**Maceración:** Las partículas de almendras se sumergieron en agua con sal marina con concentración de 5% durante 5 minutos, para inactivar enzimas.

**Lavado:** Se efectuaron varios lavados con agua destilada.

**Primer Licuado:** Las partículas se trituraron por 3 minutos con agua destilada utilizando una licuadora industrial.

**Filtrado 1:** La pasta obtenida se tamizó utilizando un tamiz N°100 de abertura de malla 150  $\mu\text{m}$  para separar la fibra y se realizó tres lavados con agua destilada.

**Segundo licuado:** A la fibra obtenida del Filtrado 1, se le realizó un segundo licuado por 3 minutos con el fin de obtener la mayor cantidad de almidón. Para ello, se suspendió la fibra en agua en una relación 1:2.

**Filtrado 2:** La pasta obtenida se tamizó nuevamente a través de la malla 150  $\mu\text{m}$  (100 Mesh) y se realizó tres lavados con agua destilada.

**Decantación:** La suspensión se dejó reposar por 2 horas para luego eliminar el sobrenadante.

**Centrifugado:** El almidón sedimentado se suspendió en agua destilada y se centrifugó a 5000 rpm por 30 minutos para luego eliminar el sobrenadante. Se descartó la capa no blanca superior del sedimento con una microespátula y se resuspendió el sedimento de almidón en agua destilada. Este proceso se realizó dos veces obteniendo un sobrenadante transparente.

**Secado:** El almidón recolectado se colocó en una bandeja de acero inoxidable y se secó en una estufa a 40°C durante 16 horas.

**Pulverizado:** El almidón se pulverizó empleando un mortero.

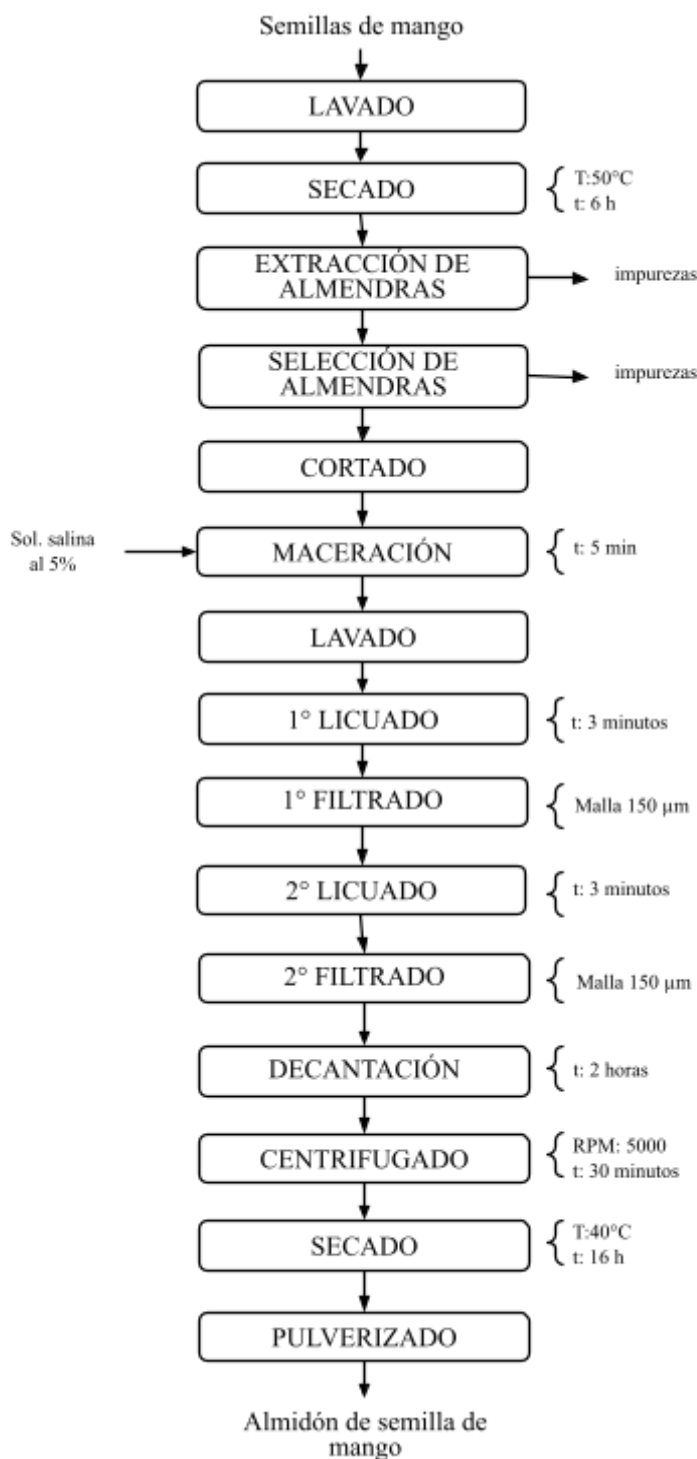
**Pesado:** Se pesó el almidón seco para calcular el rendimiento.

**Almacenamiento:** El almidón fue almacenado a condiciones ambientales en un envase de plástico hermético hasta su posterior análisis.



**Figura 18**

*Proceso de extracción del almidón a partir de semillas de mango mediante el método húmedo*



*Nota.* Elaboración propia

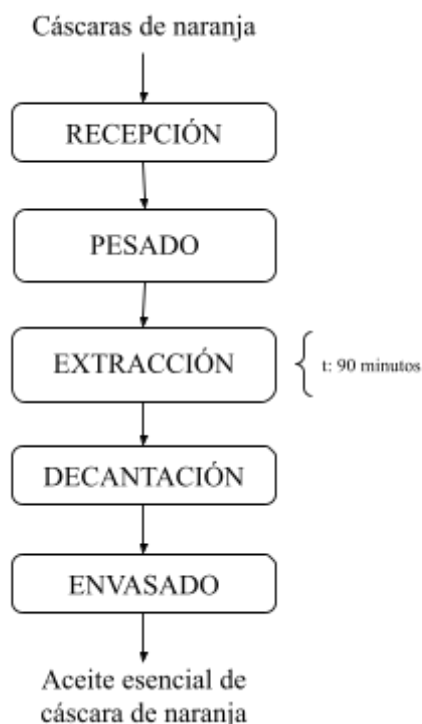
### 3.4.2. Extracción de aceite esencial de cáscara de naranja

Se empleó el método de destilación por arrastre con vapor según Armijo et al. (2012). El aceite esencial fue extraído a partir de 15 kg de cáscara de naranja variedad Morocho que fue adquirida de un punto de venta de jugo de naranja ubicado en el distrito de Lima, al frente de la puerta 2 de la UNMSM.

El proceso de extracción se muestra en la figura 19, la cual inició con la adición de agua como disolvente en la caldera y se calentó hasta los 90 °C. El vapor de agua generado pasó por el alambique donde se colocaron las cáscaras de naranja. De esta manera, el aceite extraído fue arrastrado por el vapor de agua hacia el condensador donde fue condensado y recolectado en un florentino. Posteriormente, se vertió en una pera de decantación y se dejó reposar hasta observar la separación del agua y el aceite para luego eliminar el agua por decantación. El tiempo de destilación fue de 90 minutos. El aceite esencial obtenido fue envasado y herméticamente cerrado en un frasco de vidrio color ámbar. Finalmente, se almacenó en refrigeración a 4°C hasta su uso.

**Figura 19**

*Proceso de extracción del aceite esencial de cáscara de naranja*



*Nota.* Elaboración propia

### 3.4.3. Elaboración de diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja

La elaboración de las formulaciones se detalla en la figura 20, la cual se realizó mediante el método descrito por Zavaleta et al. (2020). Primero se preparó la solución de quitosano a 1% (p/v) en ácido cítrico al 4% (p/v) a 500 RPM durante 6 horas a temperatura ambiente hasta que el quitosano se disuelva por completo; luego se preparó la solución de almidón de semilla de mango al 2% (p/v) a una temperatura de 75°C con una agitación de 800 rpm durante 30 minutos. Posteriormente se mezcló la solución de quitosano con la solución de almidón, se agregó glicerina (0.5%) como plastificante, el aceite esencial de cáscara de naranja y Tween 80 al 0,1% (v/v), respecto al aceite esencial, como emulsionante para facilitar la incorporación de este en el recubrimiento. La solución se agitó a 800 rpm durante 15 min, finalmente se homogeneizó a 15000 rpm durante 3 minutos.

**Figura 20**

*Proceso de elaboración de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja*



*Nota.* Elaboración propia

#### **3.4.4. Formación de las películas comestibles**

Se siguió el método propuesto por Nassar et al. (2019). Se vertieron 12 mL de las soluciones en placas de 6 cm de diámetro. Posteriormente fueron secadas en una estufa a 40 °C por 48 horas.

#### **3.4.5. Efecto de la mejor formulación en la conservación de las fresas**

En la figura 21, se detallan los pasos que se siguieron para aplicar el recubrimiento a las fresas, siguiendo la metodología propuesta por Escalante (2015).

**Recepción:** Las fresas variedad Camarosa se adquirieron del fundo San Isidro Labrador del distrito de Quilmaná ubicado en la provincia de Cañete, departamento de Lima, y fueron transportadas en cajas de madera a condiciones ambientales.

**Selección:** Se seleccionaron las fresas que no presentan daño físico o microbiológico. Asimismo se seleccionaron a las que presentaron un color rojo en tres cuartas partes de su superficie, con un tamaño semejante, con el fin de dar condiciones similares en el procesamiento.

**Lavado y desinfectado:** Las fresas fueron lavadas con agua y luego se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio de 50 ppm durante 5 minutos.

**Ecurrido:** Las fresas se escurrieron a temperatura ambiente por 2 horas.

**Recubrimiento:** Las fresas se sumergieron en la solución del recubrimiento durante 30 segundos a temperatura ambiente.

**Secado:** Las fresas recubiertas fueron colgadas con ganchos desde las hojas dentro de una campana de flujo laminar, para evitar cualquier tipo de contaminación, durante 2 horas a condiciones ambientales.

**Envasado:** Las fresas recubiertas se colocaron en bandejas PET.

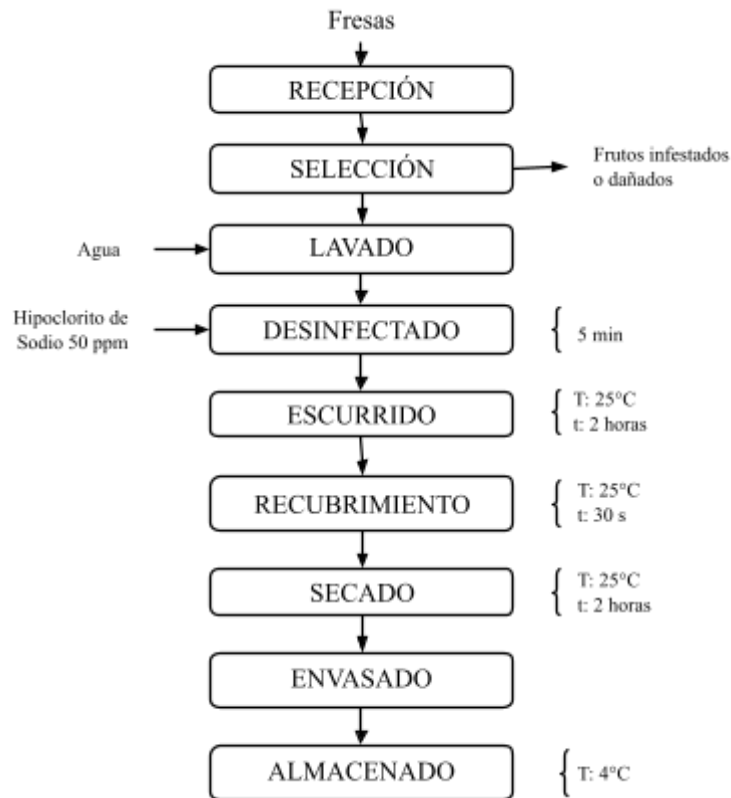
**Almacenamiento:** Las fresas recubiertas se almacenaron a 4°C durante 15 días y se evaluarán cada 1, 5, 8, 12 y 15 días.

Se utilizó una muestra control (sin recubrimiento), la cual consistió en realizar el mismo procedimiento antes mencionado, con la única diferencia de que ya no se sumergirá en

la solución de recubrimiento, sino que en agua destilada por 30 segundos, para finalmente ser almacenadas a 4°C.

**Figura 21**

*Diagrama de flujo de operaciones para el recubrimiento de fresas*



*Nota.* Elaboración propia

### 3.5. Métodos de análisis

#### 3.5.1. Caracterización del almidón de semilla de mango

##### 3.5.1.1. Tamaño de partícula

Se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Tesfaye y Sithole (2020). Se colocaron dos gotas de agua destilada en un portaobjetos limpio y se dispersaron 2 mg de almidón en el agua mientras se aseguraba de que los granos de almidón se asienten y se esparcieran sobre el portaobjetos. El portaobjetos se examinó con aumentos desde 4 a 20x utilizando un microscopio óptico. Se tomaron muestras aleatorias de veinte gránulos y se midieron las longitudes del ancho y largo.

### **3.5.1.2. Propiedades fisicoquímicas**

#### **3.5.1.2.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina**

El análisis se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Ortiz (2019). Se comenzó pesando 0,1 g de almidón, luego se adicionó 1 mL de etanol al 99% y 9 mL de NaOH 1 N, posteriormente se calentó hasta que la solución gelatinizara. Después de enfriarse, se aforó en un matraz a 100 mL. Se extrajo una alícuota de 5 mL, y se añadió 1 mL de ácido acético 1 N y 2 mL de solución de yodo al 2%; se aforó a 100 mL y se leyó la absorbancia a 620 nm. Como blanco, se utilizó el agua destilada.

Para la determinación de amilosa (%) se utilizó la ecuación 2.

$$\text{Contenido de amilosa (\%)} = 3,06 \times \text{Absorbancia} \times 20 \dots\dots\dots [2]$$

Para la determinación de amilopectina (%) se utilizó la ecuación 3 (Santa y Perez, 2019).

$$\text{Amilopectina (\%)} = (100 - \% \text{ de amilosa}) \dots\dots\dots [3]$$

#### **3.5.1.2.2. Viscosidad**

Se preparó una solución de almidón al 5% y se calentó hasta obtener su temperatura de gelatinización, luego se dejó enfriar hasta temperatura de 25°C y se midió la viscosidad en el viscosímetro (ISI, 2002).

### **3.5.1.3. Propiedades funcionales**

#### **3.5.1.3.1. Temperatura de gelatinización**

Se siguió la metodología descrita por Arce y Hernández (2022). Se disolvió 2,5 g de almidón y se aforó a 50 mL de agua en un vaso de 100 mL. Posteriormente, se llevó a calentamiento en un agitador magnético hasta que la mezcla tome una consistencia gelatinosa y, enseguida, se tomó lectura de la temperatura a la cual había llegado.

#### **3.5.1.3.2. Capacidad de absorción de agua**

Se siguió la metodología descrita por Usman et al. (2022). Se colocó una muestra de 1 g de almidón en cada uno de los tres tubos plásticos de centrifuga de 15 mL, se agregó 10 mL de agua y se mezcló durante 2 minutos. Posteriormente, la mezcla se mantuvo durante 10

minutos en reposo y luego se centrifugó instantáneamente a 3000 rpm por 15 minutos. El sedimento se midió después de eliminar completamente el sobrenadante. La capacidad de absorción de agua se estimó mediante la ecuación 4.

$$CAA (\%) = \frac{\text{Peso de gel (g)} - \text{Peso de la muestra inicial(g)}}{\text{Peso de la muestra inicial(g)}} \times 100 \dots\dots\dots [4]$$

### 3.5.1.3.3. Solubilidad y Poder de hinchamiento (PH)

El poder de hinchamiento y la solubilidad de los almidones se evaluaron mediante el método descrito por Vellaisamy et al. (2021). Se añadieron 0,2 g de muestra de almidón a 20 mL de agua destilada. La suspensión se agitó y se sumergió en un baño de agua durante 30 min a 60°C, 70°C, 80°C y 90°C. Luego, las muestras se sometieron a una centrifugación de 3000 rpm durante 15 min. Se tomó el sobrenadante y se secó en estufa a 110°C por 24 h para determinar la solubilidad, y por último se pesó el gránulo resultante. La solubilidad y el poder de hinchamiento se determinaron mediante las ecuaciones 5 y 6 respectivamente.

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{\text{Peso de sólidos solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \dots\dots\dots [5]$$

$$PH (g/g) = \frac{\text{Peso de gel (g)}}{\text{Peso de la muestra(g)} - \text{peso de sólidos solubles(g)}} \times 100 \dots\dots\dots [6]$$

## 3.5.2. Caracterización del aceite esencial de cáscara de naranja

### 3.5.2.1. Rendimiento

Se calculó el porcentaje de rendimiento propuesto por Castañeda et al. (2018) mediante la ecuación 7.

$$\%R = \frac{V_{AO}}{P} \times 100 \dots\dots\dots [7]$$

**Donde:**

% R: Porcentaje de rendimiento

$V_{AO}$ : Volumen de aceite obtenido (mL)

P: Peso de la muestra a destilar (g)

### 3.5.2.2. Propiedad físico-química

#### 3.5.2.2.1. Densidad

Se llevó a cabo el procedimiento de acuerdo con la Norma Técnica Peruana ISO 279:2011 (revisada en 2016). Para determinar la densidad a 20°C, se pesó el picnómetro, el cual fue previamente enjuagado, lavado con etanol y acetona, y secado meticulosamente. Luego, se llenó el picnómetro con agua destilada a una temperatura aproximada de 20°C y se colocó en un baño maría a 20°C durante un período de 15 minutos. Seguidamente, se registró el peso del picnómetro con el contenido. Posteriormente, se lavó el picnómetro con etanol y acetona. Una vez seco el picnómetro, se repitió el procedimiento con la muestra de aceite esencial. La evaluación se realizó por triplicado y el resultado se expresó como el promedio de los valores obtenidos. La densidad (g/mL) se calculó mediante la ecuación 8.

$$\rho_{20} = 0,99718 \frac{P_2 - P}{P_1 - P} \dots\dots\dots [8]$$

**Donde:**

P: peso del picnómetro vacío (g)

P<sub>1</sub>: peso del picnómetro con agua destilada a 20°C (g)

P<sub>2</sub>: peso del picnómetro con aceite esencial a 20°C (g)

### 3.5.2.3. Propiedades químicas

#### 3.5.2.3.1. Índice de refracción

El procedimiento se llevó a cabo siguiendo las especificaciones de la Norma Técnica Peruana ISO 280:2011, utilizando un refractómetro. Este dispositivo se calibró con agua destilada a una temperatura de 20°C y se realizó la lectura por triplicado colocando una gota del aceite esencial en el prisma, según lo descrito por Huanca (2021). El índice de refracción se calculó mediante la ecuación 9.

$$n^t D = n^t D + F(t' - t) \dots\dots\dots [9]$$

**Donde:**

D: valor de la lectura obtenida a temperatura 20 °C o aquella a la que se ha efectuado la determinación

F: factor de corrección 0,0004



t': temperatura a la que se efectuó la lectura

t: temperatura a 20 °C

### 3.5.2.3.2. Índice de acidez

El índice de acidez se expresó como el número de mg de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos libres contenidos en 1 g de aceite esencial. En un matraz de capacidad adecuada se pesó 1 g de aceite y se añadió 5 mL de etanol (95%), más tres gotas de fenolftaleína. Se agitó y valoró con una solución de KOH estandarizado (0,08 N) hasta coloración ligeramente rosada. Luego se anotó los mililitros gastados y se efectuó los cálculos según la ecuación 10 (Pacheco, 2021).

$$IA = \frac{5.61 \times V}{P} \dots\dots\dots [10]$$

**Donde:**

IA: índice de acidez

P: peso en gramos de la muestra ensayada

V: volumen en mililitros de hidróxido de potasio utilizado

### 3.5.2.3.3. Índice de Peróxido

Se pesaron 5g de aceite en un matraz previamente tarado, luego se añadió 25 mL de la mezcla de ácido acético glacial y cloroformo (3:2) se tapó y agitó. Luego se añadió 0,5mL de solución saturada de yoduro de potasio, se agitó y se dejó en reposo por 5 min fuera de la luz. Posteriormente, se añadieron 30 mL de agua destilada, unas gotas del engrudo de almidón y se tituló con tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,093N hasta la desaparición del color azul. Paralelamente también se realizó el blanco y se anotaron los gastos (Delgado, 2018).

Para realizar el cálculo se utilizó la ecuación 11.

$$IP = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{m} \dots\dots\dots [11]$$

**Donde:**

IP = Índice de peróxido (meq de Oxígeno activo / Kg de muestra.)

S = mL de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  gastado en titular la muestra

B = mL de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  gastado en titular el blanco

N = Normalidad de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

m = Peso de muestra (g)

#### **3.5.2.4. Cromatografía de gases/masas (GC-MS)**

Esta prueba fue llevada a cabo en el laboratorio de cromatografía de la UNSAAC siguiendo la metodología de Neves et al. (2020). Se utilizó un cromatógrafo Agilent 6890N con un detector espectrómetro Agilent 5975B. La columna empleada fue Agilent HP-5MS 5% Fenil Metil Siloxano, con una relación de Split de 100:1. La temperatura inicial fue de 250°C y el flujo utilizado fue de 1 mL/min.

#### **3.5.3. Actividad antifúngica**

##### **3.5.3.1. Activación de la cepa *Botrytis sp.***

La cepa de *Botrytis sp.* aislada de fresas fue brindada por el laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM. Se usó una pequeña cantidad de micelio del cultivo madre para inocular múltiples placas de agar papa dextrosa fresco. Estos cultivos fueron incubados a 25°C por 7 días para, posteriormente, realizar su caracterización.

##### **3.5.3.2. Caracterización morfológica**

La observación microscópica se realizó según la metodología de Moreno y Sotelo (2020) con modificaciones. Para ello, se tomó con mucho cuidado una pequeña muestra de la colonia del hongo a estudiar con un asa de siembra, después se adicionó una gota de agua destilada sobre un portaobjetos y se mezcló. Se secó con ayuda del mechero y se aplicó una gota de safranina; pasado 1 minuto se enjuagó y se dejó secar para luego ser observado en el microscopio con un aumento de 40x. Las características observadas fueron la morfología de los conidióforos y la forma de los conidios.

Para identificar el hongo a nivel macroscópico, se examinaron las características morfológicas de su crecimiento, considerando los parámetros descritos en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Pautas para la descripción macroscópica de un hongo*

<b>Parámetro</b>	<b>Características</b>
------------------	------------------------

Reverso

Color	Colonia
Apariencia	Correosa
	Aterciopelada
	Algodonosa
	Granulosa
	Polvorienta
	Cremosa

*Nota.* Basado en Moreno y Sotelo (2020).

### 3.5.3.3. Efecto inhibitorio *in vitro* del aceite esencial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y quitosano

La actividad antifúngica se evaluó *in vitro* por el método del medio envenenado propuesto por Oliveira Filho et al. (2021) y Guédez et al. (2014). Con respecto al efecto antifúngico del quitosano, primero se preparó una solución madre del 2% en 4% de ácido cítrico, con el objetivo de obtener las concentraciones finales de 1% y 1,5% en el medio fundido de agar papa dextrosa. Para el caso del aceite esencial las concentraciones en el medio fueron 0,4%, 0,7% y 1%, además se agregó Tween 80 (0,1% v/v) como emulsificante para su adecuada homogeneización. Posteriormente, el agar homogeneizado con las diferentes concentraciones de quitosano y aceite esencial, se vertieron en placas Petri y una vez solidificado, se sembró un fragmento de micelio de *Botrytis spp.* al centro de la placa y se dejó incubar por 7 días. Como control se usó el medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA) sin concentraciones de quitosano y aceite esencial, y una vez solidificado se sembró el hongo *Botrytis spp.* El porcentaje de inhibición se evaluó midiendo los diámetros de crecimiento tanto en las placas control como en las placas tratadas, mediante la ecuación 12.

$$\%I = \frac{\theta_{Testigo} - \theta_{Tratamiento}}{\theta_{Testigo}} \times 100 \dots\dots\dots [12]$$

**Donde:**

%I: Porcentaje de inhibición.

$\theta_{Testigo}$ : Diámetro de placas control.

⊖ *Tratamiento*: Diámetro de placas con aceite esencial o quitosano.

### 3.5.4. Evaluación de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja

#### 3.5.4.1. Permeabilidad al vapor de agua

La evaluación de la permeabilidad al vapor de agua en las películas se llevó a cabo mediante el método desecante de la técnica gravimétrica de la ASTM E96/E96M-16, con ciertas adaptaciones. Para ello, se utilizaron tubos de ensayo de 10 mm de diámetro y 75 mm de altura como celdas de permeación. Estas celdas se llenaron con sílica de gel previamente activada, hasta 6 mm por debajo del borde. Se colocaron películas de 2 x 2 cm en la boca de los tubos, y para asegurar un ambiente hermético, cada tubo se selló con parafilm. Además, se cubrieron los restos sobrantes de las películas con papel aluminio para evitar interferencias con la medición, y se ajustó con cinta adhesiva. Luego, se registró el peso inicial de cada celda y se colocaron en gradillas. Estas gradillas, junto con las celdas, se introdujeron en un desecador previamente equilibrado con una solución saturada de Cloruro de sodio (NaCl) para mantener una humedad relativa del 75% a temperatura ambiente ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ). Esto provocó un aumento en el peso de las celdas debido a la absorción de vapor de agua. Se tomaron registros de los cambios de peso cada 60 minutos durante un período de 8 horas, registrando una tendencia lineal. La pendiente de esta línea, medida en unidades de (g/h), indica la cantidad de vapor que se transmitió por unidad de tiempo. Los resultados se obtuvieron como el promedio y la desviación estándar de tres repeticiones por formulación. Los valores de permeabilidad al vapor de agua se calcularon mediante las ecuaciones 13, 14 y 15.

$$WVT = dm/dt \times 1/A \dots\dots\dots [13]$$

**Donde:**

*WVT*: Índice de transferencia al vapor de agua o coeficiente de transmisión de vapor de agua.

*dm/dt*: Diferencia de masa a través del tiempo.

*A*: área expuesta de la película.

$$Permeanza = \frac{WVT}{S(R_1 - R_2)} \dots\dots\dots [14]$$

S: presión de vapor de saturación del agua a la temperatura experimental, Pa.

R1: humedad relativa de la cámara, en fracción.

R2: humedad relativa interna del tubo de ensayo de prueba, en fracción.

$$\text{WVP (g/Pa.m.s)} = P \times G \dots\dots\dots [15]$$

WVP = Permeabilidad al vapor de agua (g/Pa.m.s)

P = Permeanza (g/sm<sup>2</sup>Pa).

G = Grosor (m).

#### **3.5.4.2. Actividad antifúngica**

Se aplicó la metodología descrita por Cortes (2019), con algunas adaptaciones. Se llevó a cabo el método de difusión en pozos de agar. Para cada tratamiento, se realizaron 5 perforaciones (una al centro y las otras alrededor de esta) en placas con medio PDA solidificado utilizando un sacabocado de 9 mm de diámetro. La evaluación se realizó por duplicado, es decir, se añadieron 270 µl de solución de tratamiento en 2 perforaciones del agar. Posteriormente, se agregó la misma cantidad de hipoclorito de sodio al 0,1% como control positivo y agua estéril como control negativo en las perforaciones restantes. Con ayuda de una pinza, se insertó un fragmento del micelio del hongo *Botrytis sp.* perforado con el sacabocado, al centro de la placa. Las placas se incubaron a temperatura ambiente por 7 días. Finalmente, se midió el diámetro de los halos formados para cada uno de los tratamientos.

#### **3.5.5. Caracterización de la mejor formulación**

##### **3.5.5.1. Determinación de humedad**

El contenido de humedad se determinó utilizando el método gravimétrico descrito por Zapata (2019). Se cortaron las películas en trozos de 2 cm x 2 cm, se pesaron inicialmente y luego se introdujeron en una estufa de convección a 105°C durante 24 horas. Después del periodo de secado, se volvió a determinar el peso de cada una de las muestras. El contenido de humedad se expresó como el porcentaje de agua con respecto al peso total, utilizando la ecuación 16.

$$\%Humedad = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100 \dots\dots\dots [16]$$

**Donde:**

$P_o$  : Peso inicial

$P_f$  : Peso final

### **3.5.5.2. Opacidad**

Se llevó a cabo según la metodología descrita por Ayquipa (2018). La opacidad de las películas se midió utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. La absorbancia medida se sustituyó en la ecuación 17.

$$Opacidad = \frac{Absorbancia}{Espesor} \dots\dots\dots [17]$$

### **3.5.5.3. Solubilidad (%)**

El porcentaje de solubilidad se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Malquichagua (2022). Este método implica la medición de la materia seca disuelta. Para ello, se cortaron piezas de películas de 6 cm<sup>2</sup>. Estas piezas se sometieron a secado a 105 °C durante 2 horas, y se registró el peso del recubrimiento seco ( $M_i$ ). Luego, se sumergieron en 50 mL de agua destilada durante 2 horas, manteniendo una agitación constante a temperatura ambiente. Después de filtrar y secar nuevamente en una estufa a 105 °C durante 2 horas, se pesó el recubrimiento comestible seco sin diluir ( $M_f$ ), y se calculó el porcentaje de solubilidad utilizando la ecuación 18.

$$\% \text{ solubilidad en agua} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \dots\dots\dots [18]$$

### **3.5.5.4. Espectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier (FTIR)**

Se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Ayquipa (2018). Se examinó los espectros infrarrojos de las películas, utilizando el espectrofotómetro infrarrojo FTIR, y se trabajó en la región medio entre 400 y 4000  $cm^{-1}$ .

### **3.5.6. Evaluación de la aplicación de la mejor formulación en la conservación de fresas**

#### **3.5.6.1. Propiedades físico-químicas**

##### **3.5.6.1.1. Pérdida de peso**

La pérdida de peso se determinó gravimétricamente siguiendo el método descrito por Restrepo y Aristizábal (2010). Se calculó como la diferencia entre los pesos, tomando el peso inicial ( $P_i$ ) menos el peso del fruto al final del almacenamiento ( $P_f$ ). El valor resultante se expresó como porcentaje de pérdida de peso (%PP) utilizando la ecuación 19.

$$\%PP = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \dots\dots\dots [19]$$

##### **3.5.6.1.2. Textura**

Para determinar la textura, se empleó el método descrito por Cuatín y López (2015), con algunas adaptaciones. Se utilizó un texturómetro y se leyeron los datos mediante el software Bluehill 3, aplicando una carga inicial de 10 gf y una velocidad de 1 mm/s. Se realizó una penetración de 5 mm de diámetro en el centro de la muestra, midiendo la fuerza de compresión. Se llevaron a cabo 3 réplicas por tratamiento.

##### **3.5.6.1.3. Sólidos Solubles Totales**

Para determinar este parámetro, se empleó un refractómetro de mano. Inicialmente, los frutos fueron triturados con un mortero y el jugo resultante se filtró. Posteriormente, se aplicaron una a dos gotas del jugo filtrado en el equipo y se procedió a realizar la lectura, siguiendo el método descrito por Vásquez (2019).

##### **3.5.6.1.4. pH**

Para la medición de éste parámetro se pesó 10 gramos de fruto y se homogeneizó con 100 mL de agua (Piedrahita y Villegas, 2016). El pH se determinó mediante el uso de un potenciómetro portátil, previamente calibrado con solución Buffer de 9.4.

##### **3.5.6.1.5. Acidez titulable (%ácido cítrico)**

Una muestra de 10 g del fruto fue triturada con la adición de 10 mL de agua, seguido de la incorporación de 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Luego, se procedió a la

titulación utilizando hidróxido de sodio (0,1N) hasta que la solución alcanzó un color rosado persistente, registrando el volumen de hidróxido de sodio utilizado. La acidez titulable se expresó en porcentaje (%) de ácido cítrico, conforme al método descrito por Vásquez (2019). El porcentaje de acidez se calculó mediante la ecuación 20.

$$\% \text{ acidez} = \frac{A^* \times N \text{ del NaOH} \times \text{gasto (mL) de NaOH}}{\text{volumen de la solución (mL)}} \times 100 \dots\dots\dots [20]$$

**Donde:**

A\* : Peso en gramos de un mili equivalente de ácido cítrico: 0,064

### 3.5.6.1.6. Determinación de color

Para determinar la variación del color ( $\Delta E$ ) producido en la fresa se empleó un colorímetro realizando dos mediciones en el área ecuatorial de una muestra por tratamiento durante 15 días de almacenamiento utilizando el espacio de color CIE-Lab. Se registró la lectura de los parámetros L\* que indica la medida de luminosidad y varía de 0 (negro) a 100 (blanco), a\* que indica la variación de color verde (-) a rojo (+) y b\* que indica la variación de color azul (-) a amarillo (+), a partir de las cuales se calculó la diferencia de color ( $\Delta E$ ) aplicando la ecuación 21 (Restrepo y Aristizábal, 2010):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots [21]$$

**Donde**  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$  representan las diferencias entre los parámetros de color de las frutas recubiertas y las frutas control, tomando como referencia el día uno (inicio del almacenamiento).

### 3.5.6.2. Compuestos bioactivos

#### 3.5.6.2.1. Determinación de Vitamina C (% ácido ascórbico)

Se siguió la metodología descrita por Than (2017). Se disolvió 2 mL de jugo de fresa con 10 mL de agua destilada, y se añadió 1mL de  $H_2SO_4$  al 10%. Luego, se adicionó 0,25 mL de almidón (1%) y se tituló con yodo 0,1 N hasta que la coloración se torne azul.

El % de vitamina C se determinó mediante la ecuación 22.

$$\% \text{ Vitamina C} = \frac{\text{mL yodo} \times N \times 176}{\text{mL solución}} \times 100 \dots\dots\dots [22]$$

**Donde:**



N: Normalidad del yodo (0,09)

### 3.5.6.2.2. Compuestos fenólicos y antocianinas

#### 3.5.6.2.2.1. Extracción de antocianinas y compuestos fenólicos

Se llevó a cabo la metodología de Elrasheid et al. (2018), con algunas modificaciones. Se mezclaron aproximadamente 5 g de fruta con 10 mL de metanol acidificado (HCl al 0,1%), se sónico durante 5 min, luego la mezcla se envolvió con papel de aluminio y se mantuvo en el refrigerador durante 1 hora a 4°C. Se centrifugó a 4000 rpm por 30 min. Finalmente, los extractos preparados se utilizaron para la determinación del contenido de fenoles totales (TPC) y el contenido de antocianinas totales (TAC).

#### 3.5.6.2.2.2. Contenido de antocianinas totales

Se llevó a cabo la metodología propuesta por Elrasheid et al. (2018). El contenido de antocianinas totales se determinó por el método de diferencial de pH. Se prepararon dos diluciones de muestra colocando 0,4 mL de extracto, uno con 3,6 mL de tampón de cloruro de potasio a pH 1 y el otro con 3,6 mL de tampón de acetato de sodio a pH 4,5. Luego de homogeneizar, se analizaron con el espectrofotómetro utilizando agua destilada como blanco. El contenido total de antocianinas se calculó con la ecuación 23.

$$A = (A_{vis\ máx} - A_{700})_{pH=1} - A = (A_{vis\ máx} - A_{700})_{pH=4.5} \dots\dots\dots [23]$$

Donde  $A_{vis\ máx}$  es el valor del pico más alto a pH 1 y pH 4,5, y  $A_{700}$ , es el valor de la absorbancia a una longitud de onda de 700 nm a pH 1 y pH 4,5. El valor de la concentración de antocianinas totales se calculó con la ecuación 24.

$$Antocianina = \frac{A * PM * FD * (V/W)}{\epsilon * L} * 100 \dots\dots\dots [24]$$

**Donde** A es la absorbancia, PM es el peso molecular (449,2 g/mol), FD es el factor de dilución, V es el volumen de extracción, W es el peso de la muestra,  $\epsilon$  es el coeficiente de extinción molar (26900 L/mol\*cm), y L es la longitud de la celda (1 cm). Los resultados se expresaron como mg de cianuración-3-O-glucósido/100 g de muestra fresca.

#### 3.5.6.2.2.3. Contenido de compuestos fenoles totales

Se tomaron 50  $\mu$ L del extracto, se adicionaron 50  $\mu$ L de  $Na_2CO_3$  de concentración del 20% (p/v), 800  $\mu$ L de agua destilada y 100  $\mu$ L del reactivo Folin-Ciocalteu 1 N, se dejó una

hora en reposo, se leyó absorbancia a 760 nm. Como blanco de reacción se tomaron los mismos reactivos, reemplazando los 50 µL de extracto por 50 µL de solución extractante correspondiente (Márquez et al., 2014).

- **Curva estándar con ácido gálico**

A partir de la solución patrón de ácido gálico de 0,1 g/L, se procedió a realizar una serie de diluciones con agua destilada para obtener concentraciones de 1, 1,5, 2, 3 y 4 mg/L. Para ello se colocó en distintos viales protegidos de la luz 20, 30, 40, 60 y 80 µL de la solución patrón antes descrita. A cada vial se le adicionó 250 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1 N, se agitó y luego se agregó 0,75 mL de carbonato de sodio al 20%. La mezcla se llevó a volumen final de 2 mL usando agua destilada y se dejó reposar por 2 horas. Finalmente, se tomó la lectura en el espectrofotómetro UV a 760 nm. El blanco tuvo los mismos componentes excepto el ácido gálico (Cruzado et al, 2013).

### **3.5.6.3. Análisis microbiológico**

#### **3.5.6.3.1. Recuento de mohos y levaduras**

Diez gramos de muestra se transfirieron asépticamente a 90 mL de agua con peptona al 0,1 % y se homogeneizaron. Se prepararon diluciones decimales por duplicado de cada muestra en agua de peptona y se añadió 1 mL de cada dilución sobre placas de papa dextrosa acidificado con ácido tartárico al 10% (p/v) para inhibir el crecimiento bacteriano. Se incubaron por 5 días a 25°C. Posteriormente, se procedió a realizar el contaje de colonias, para ello se seleccionaron las placas que contenían entre 15 y 150 colonias. Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo de muestra fresca (UFC/g) (Marques et al., 2020).

#### **3.5.6.4. Evaluación sensorial**

Se siguió la metodología propuesta por Dussán et al. (2023). Los atributos a evaluar fueron el color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general. Se emplearon 50 panelistas no entrenados, hombres y mujeres entre 18 y 25 años, todos estudiantes de la Escuela Profesional de Química de la FQIQ. La evaluación se realizó en un mismo día comparando la muestra control y la muestra recubierta almacenadas hasta el día 5 y 12, respectivamente, por medio de una escala hedónica afectiva de cinco puntos que define el grado de satisfacción,

donde: 1 = me disgusta mucho, 2 = me disgusta, 3 = ni me gusta ni me disgusta, 4 = me gusta y 5 = me gusta mucho.

### 3.5.6.5. Determinación del tiempo de vida útil

El tiempo de vida útil de la fresa se determinó mediante el método propuesto por Oñate (2018). El cálculo del tiempo de vida útil de las fresas recubiertas con el mejor tratamiento y fresas control, se llevaron a cabo usando la cinética aplicada de primer orden que se muestra en la ecuación 25, en base al recuento de mohos y levaduras.

$$\ln C = \ln C_0 + kt \dots\dots\dots [25]$$

Despejando, se tiene la ecuación 26.

$$t = \frac{\ln C - \ln C_0}{k} \dots\dots\dots [26]$$

**Donde:**

C=Parámetro escogido como límite de tiempo de vida útil

$C_0$ =Concentración inicial

K=Constante de velocidad de reacción (Pendiente de ln A vs tiempo)

t=Tiempo de reacción

### 3.6. Diseño experimental

Para la elección de la mejor formulación se utilizó un diseño factorial  $3^2$ . En la Tabla 6 se presentan los factores a considerar en este estudio, cada uno con un nivel mínimo (-1), máximo (+1) y punto central (0); así como las variables respuesta. Se consideró conveniente codificar los niveles de las proporciones de quitosano y almidón con valores de 50, 75 y 100 correspondiendo a las proporciones de quitosano en la mezcla, debido a que el diseño utilizado no permite el uso de niveles alfanuméricos. La selección de los niveles en cada factor se decidió en base a experimentos preliminares.

**Tabla 6***Variables y niveles del estudio*

Variables independientes	Niveles		
	-1	0	+1
Factor A: Proporción de quitosano:almidón	a <sub>1</sub> = 50% (50 Q: 50 A)	a <sub>2</sub> = 75% (75 Q: 25 A)	a <sub>3</sub> = 100% (100 Q: 0 A)
Factor B: Concentración de aceite esencial	b <sub>1</sub> = 0,5%	b <sub>2</sub> = 1%	b <sub>3</sub> = 1,5%
Variables dependientes	Permeabilidad al vapor de agua (g/Pa.s.m)		
	Efecto antifúngico (mm)		

*Nota.* Elaboración propia

En la Tabla 7 se presentan las 9 formulaciones con sus respectivos factores.

**Tabla 7***Diseño factorial 3<sup>2</sup> utilizado para la elección de la mejor formulación*

Tratamientos	Factor A: Proporción de quitosano:almidón	Factor B: Aceite esencial (%)
F1	50	0,5
F2	50	1,0
F3	50	1,5
F4	75	0,5
F5	75	1,0
F6	75	1,5
F7	100	0,5
F8	100	1,0
F9	100	1,5

*Nota.* Elaboración propia

Para determinar si la mejor formulación tuvo un efecto sobre la conservación de las fresas se comparó con un tratamiento control (Tabla 8).

**Tabla 8**

*Comparación mediante Prueba T-Student al 95% utilizado en la elaboración del recubrimiento*

<b>Tratamientos</b>	<b>Variables respuestas</b>
Fresa recubierta con la mejor formulación	Pérdida de peso Firmeza Sólidos solubles totales Color pH Acidez titulable Vitamina C (% ácido ascórbico)
Fresa control	Contenido de fenoles totales Contenido de antocianinas Recuento de mohos y levaduras Evaluación sensorial

*Nota.* Elaboración propia

### **3.7. Análisis de la información**

Para la elección de la mejor formulación, los datos fueron analizados mediante la prueba de análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias entre las formulaciones fueron evaluados utilizando una comparación de medias con la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% ( $P \leq 0,05$ ), empleando el software STATGRAPHICS Centurion XVI.I con 3 repeticiones por tratamiento.

Para comparar estadísticamente las medias de los 2 grupos (fresa recubierta con la mejor formulación y fresa control) se utilizó la prueba t de Student al 95% mediante el software INFOSTAT v.2020.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización del almidón de semilla de mango

En la Tabla 9 se presentan los resultados del rendimiento, tamaño de partícula, análisis fisicoquímicos y funcionales, del almidón extraído a partir de semillas de mango mediante el método vía húmeda.

**Tabla 9**

*Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón de semilla de mango*

Propiedad	Unidad	Valor
Rendimiento	%	19,8
Tamaño de partícula	Largo	$30,89 \pm 0,54$
	Ancho	$18,82 \pm 0,23$
Amilosa	%	$32,52 \pm 0,04$
Amilopectina	%	$67,48 \pm 0,04$
Viscosidad	mPa.s	$415 \pm 0,01$
Temperatura de gelatinización	°C	$75,5 \pm 0,06$
Capacidad de absorción de agua	%	$73,67 \pm 2,52$

*Nota.* Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación estándar de análisis por triplicado.

#### 4.1.1. Rendimiento

El rendimiento del almidón obtenido a partir de semillas de mango fue 19,80%. Este valor fue superior a lo reportado por Pérez (2021) y Ruiloba et al. (2018), quienes obtuvieron un rendimiento del 16% y 4,67% respectivamente. Mielles et al. (2023) menciona que la variabilidad en los rendimientos podría estar asociada a factores como el origen de la fruta, la genética del fruto, las condiciones ambientales, los requisitos del suelo y la gestión de los recursos del suelo. No obstante, al compararlo con Ordu y Asuoma (2021), éstos lograron un rendimiento del 24,6%. Según Chiquiza et al. (2016), el rendimiento en la extracción de almidón puede ser influenciado por diversos factores, tales como las condiciones de secado de las materias primas, el tiempo de la cosecha y el almacenamiento de la raíz.

#### 4.1.2. Tamaño de partícula

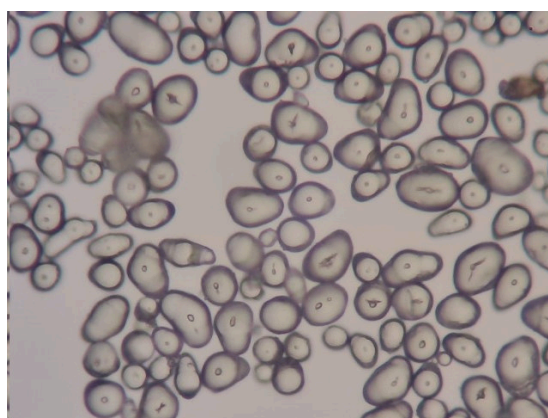
La longitud y la anchura de los gránulos de almidón de la semilla de mango midieron 30,89  $\mu\text{m}$  y 18,82  $\mu\text{m}$ , respectivamente (figura 22), estas medidas caen dentro del intervalo informado por Marques et al. (2020), que varía de 11,4 a 59  $\mu\text{m}$ . Asimismo, ambas longitudes están dentro de los rangos indicados por Bet et al. (2017), que abarcan desde 10,9 a 33,2  $\mu\text{m}$  para el largo y desde 10,5 a 20,3  $\mu\text{m}$  para el ancho. Ordu y Asuoma (2021) también informaron una medida cercana de 19,01  $\mu\text{m}$  para el ancho de los gránulos de almidón, categorizándolos como de tamaño mediano.

Según Falade et al. (2019), el tamaño de gránulo es un atributo importante en la interacción de partículas, puesto que cuanto más pequeña es la partícula, mayor es la cantidad por unidad de masa y mayor el potencial de homogeneidad. De igual manera Marques et al. (2020), manifiesta que los gránulos pequeños y medianos, pueden absorber una mayor cantidad de agua en comparación con los grandes, debido al aumento del área de contacto. Las partículas más pequeñas tienen más energía superficial para atraerse con otras partículas y tienden a adherirse entre sí creando más resistencia al flujo (Tesfaye y Sithole, 2020).

Thory y Singh (2017), señalaron que el tamaño de los gránulos de almidón varía según la especie y variedad de plantas.

#### **Figura 22**

*Tamaño de partícula con un aumento de 20X*



### **4.1.3. Propiedades fisicoquímicas**

#### **4.1.3.1. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina**

El contenido de amilosa y amilopectina del almidón de semilla de mango fue 32,52% y 67,48% respectivamente, donde estos valores están de acuerdo con lo reportado en otros estudios. Marques et al. (2020), obtuvo un 30,45 % de amilosa, y mencionó que esta concentración podría hacer que el almidón de semilla de mango tenga un alto potencial como recubrimiento, ya que la amilosa desempeña un papel crucial en la formación de recubrimientos, puesto que cuanto menor sea la cantidad de los demás constituyentes y mayor sea la cantidad de amilosa, mejor será la formación de la película y el recubrimiento, esto debido a que la amilosa está directamente relacionada con las características químicas y físicas de la película. Asimismo Bahal y Bhardwaj (2017), determinaron un contenido de amilosa del 35.06%, considerado muy alto. De igual manera, en el estudio realizado por López et al. (2020), se registró un 31,40% de amilosa y 68,60% de amilopectina.

#### **4.1.3.2. Viscosidad**

La viscosidad del almidón de semilla de mango fue de 415 mPa·s o 415 cP. Este resultado coincide con lo mencionado por Saavedra (2000) para el almidón de almendra de mango (*Mangifera indica* L.) variedad criolla, que presentó un valor de 252 cP a una temperatura de 50°C. El autor indica que a medida que la temperatura desciende durante el enfriamiento hasta alcanzar los 50°C, la viscosidad experimenta un aumento progresivo, y la pasta exhibe un incremento en su firmeza y opacidad. El resultado, además, se encuentra dentro del intervalo de viscosidades obtenidas a 25°C para el almidón de chirivía de 333 cP (Rodríguez, 2022), almidón nativo de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L de diferentes variedades con valores de 556,5 mPa·s, 543,9 mPa·s, 548 mPa·s y 567,0 mPa·s (Martínez et al., 2015), almidón de cáscara de yuca de 625,83 cP (Yautibug, 2021), almidón de cáscara de mango de 645,9 mPa·s (Proaño, 2021), almidón de semilla de frutipan de 658,4 cP (Mera, 2022).

Según Saavedra (2000), el aumento de viscosidad durante el enfriamiento es un indicador de la propensión del almidón a la retrogradación. Entre los diversos factores que influyen en este proceso, los tres más significativos son la concentración de amilosa, la longitud de las cadenas de amilosa y el grado de dispersión de las cadenas lineales. Además,



las características de la pasta de cualquier tipo de almidón están determinadas por factores intrínsecos, como el tamaño de los gránulos, la relación entre amilosa y amilopectina, la cantidad de grasa y proteína, el método de aislamiento, la condición física del grano y la proporción de almidón a agua. Las diferencias en las propiedades de la pasta entre variedades podrían ser resultado de la longitud de la cadena de amilopectina, la existencia de proteínas superficiales, grasas y las características morfológicas distintivas de los gránulos de almidones diversos (Bharti et al., 2018).

#### **4.1.4. Propiedades funcionales**

##### **4.1.4.1. Temperatura de gelatinización**

La temperatura de gelatinización del almidón de semilla de mango fue de 75,5°C, temperatura que proporciona estabilidad interna al gránulo de almidón; lo cual se relaciona con la mayor presencia de zonas semicristalinas (Oñate, 2018). Este valor se encuentra en el rango reportado por Bharti et al. (2018), de 72°C - 76°C para almidón de semillas de mango variedad Tommy. Por otra parte, Arévalo et al. (2018) identificó la temperatura de gelatinización de 70°C.

Según Arce y Hernández (2022), al calentarse en presencia de exceso de agua, los almidones sufren una transición llamada gelatinización, debido a que se expanden al absorber agua a tal punto que se pierde la estructura ordenada (pérdida de birrefringencia).

##### **4.1.4.2. Capacidad de absorción de agua**

La capacidad de absorción de agua del almidón de semilla de mango fue de 73,67%. En un estudio previo realizado por Usman et al. (2022), se obtuvo un valor cercano del 75,20%. Por otro lado, Ordu y Osuoma (2022) lograron una mayor capacidad de absorción del 82%, mientras que Mendes et al. (2015) obtuvo un valor inferior del 69%.

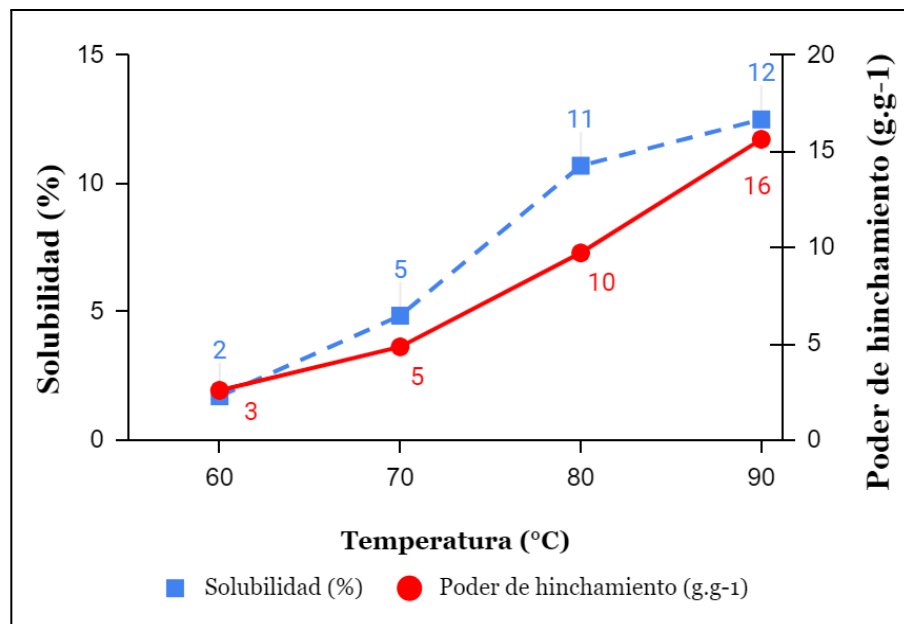
Según Ji et al. (2022), la absorción de agua depende del tamaño y la forma de los gránulos; Cuanto más pequeños sean los gránulos, mayor será la capacidad de absorción de agua. Esto se explica por la retención física del agua en la estructura del almidón (Wani et al., 2015).

#### 4.1.4.3. Solubilidad y Poder de hinchamiento

Como se puede apreciar en la figura 23 la solubilidad (%) y el poder de hinchamiento ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) del almidón de semillas de mango, aumentaron a medida que la temperatura se elevó. Donde se evidencia que los gránulos de almidón no se hinchan apreciablemente a  $60^\circ\text{C}$ , mientras que, a temperaturas superiores a  $70^\circ\text{C}$ , se muestra una mayor capacidad de hinchamiento, indicando así el comienzo del proceso de formación de una pasta. Marques et al. (2020), reportaron que a  $60^\circ\text{C}$ , el almidón mostró un poder de hinchamiento de  $2\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ , mientras que a  $70^\circ\text{C}$  alcanzó  $4\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Por otra parte, en el estudio de Lopez et al. (2020), se encontró que a  $60^\circ\text{C}$  el almidón presentó un índice de solubilidad en agua del 1,43% y un poder de hinchamiento de  $3,87\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ . De acuerdo con Tesfaye y Sithole (2020), a temperaturas entre  $50^\circ\text{C}$  y  $60^\circ\text{C}$ , la amilosa crea cristales con lípidos de almidón de mango, lo que limita la hinchazón excesiva de los gránulos, sin embargo a temperaturas por encima de  $75^\circ\text{C}$ , estos cristales se derriten, lo que provoca un aumento en el poder de hinchamiento.

**Figura 23**

*Solubilidad (%) y poder de hinchamiento ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) del almidón de semilla de mango*



*Nota.* Elaboración propia

Las diferencias en la solubilidad y el poder de hinchamiento durante el calentamiento, se deben a la estructura granular, el tamaño de partícula, la fuente botánica, la relación amilosa/amilopectina y el grado de asociación entre sus cadenas (Gomez et al., 2023).

Generalmente, cuanto mayor es el contenido de amilosa, más compacto se vuelve el almidón y más difícil es exudar en gránulos hinchados, lo que reduce la solubilidad e indica un comportamiento de lixiviación durante la gelatinización.

La solubilidad indica la cantidad de componentes de almidón lixiviados en el sobrenadante (Marques et al., 2020). Según Arruda et al. (2021), el poder de hinchamiento indica la capacidad del almidón para hidratarse a diferentes temperaturas y bajo exceso de agua. En este contexto, el incremento del poder de hinchamiento con la temperatura, se relaciona con el aumento en la movilidad de las moléculas de almidón, lo que favorece la entrada de agua. Asimismo, Bharti et al. (2018), menciona que el aumento de temperatura de los gránulos de almidón en una cantidad excesiva de agua conduce a la disminución de la resistencia de la estructura cristalina, lo que provoca un incremento en la propensión a la formación de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa y amilopectina con las moléculas de agua.

#### 4.2. Caracterización del aceite esencial de cáscara de naranja

Los resultados del rendimiento y los análisis físico-químicos del aceite esencial obtenido de cáscara de naranja mediante el proceso de destilación por arrastre de vapor se detallan en la Tabla 10.

**Tabla 10**

*Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cáscara de naranja*

Propiedad	Unidad	Valor
Rendimiento	%	2,26
Densidad (20°C)	g/mL	0,8406 ± 0,0001
Índice de refracción (20°C)	nD	1,4674 ± 0,0010
Índice de acidez	mg KOH/g	1,3090 ± 0,3239
Índice de peróxido	meq de O <sub>2</sub> / Kg	1,8692 ± 0,0000

*Nota.* Elaboración propia

#### **4.2.1. Rendimiento**

El porcentaje de rendimiento del aceite esencial obtenido fue del 2,26%, en línea con los resultados de otros investigadores respecto al rendimiento de aceite esencial extraído de cáscaras de naranja: 1,26 - 4,4% (Giwa et al., 2018), 1.3% (Casado, 2018), 0,57 - 3,24% (Fakayode y Abobi, 2018), 2,68% (Cordova y Velasquez, 2021). Por lo tanto, este valor se encuentra dentro del rango de valores reportados por la literatura. Según Zambrano (2019), las disparidades en el rendimiento pueden ser influenciadas por diversas variables como los métodos agrícolas, factores geográficos y botánicos como el clima, la altitud, la composición del suelo, la intensidad lumínica, la cantidad de lluvia, la temperatura, así como también por el momento de la cosecha y la madurez de las plantas.

#### **4.2.2. Propiedad físico-química**

##### **4.2.2.1. Densidad**

La densidad del aceite esencial a 20°C fue de 0,8406 g/mL. Este valor es similar a lo reportado por Llontop y Nunura (2015), quienes obtuvieron una densidad de 0,8418 g/mL; Zambrano (2019) obtuvo un valor de 0,84 g/mL y Aruna et al. (2022) reportaron un valor de 0,83 g/mL.

#### **4.2.3. Propiedades químicas**

##### **4.2.3.1. Índice de refracción**

El índice de refracción mide la refracción de los rayos de luz a medida que estos atraviesan el aceite; es decir, verifica cómo cambia la velocidad de la luz al pasar por el aceite (Fakayode y Abobi, 2018). El resultado del índice de refracción obtenido fue 1,4674, lo cual es comparable al valor reportado en aceite esencial de cáscara de naranja por Cerna y Torres (2020) de 1,4696; Delgado (2018) con un valor de 1,471; Llontop y Nunura (2015), de 1.473 y Zambrano (2019), de 1,47. El resultado de la densidad obtenida en este estudio está en el promedio de valores en comparación con los diferentes autores, lo cual reflejaría la calidad y pureza del aceite extraído.

##### **4.2.3.2. Índice de acidez**

El índice de acidez se considera un marcador de calidad que indica la cantidad de ácidos grasos libres presentes en un aceite esencial, lo que puede influir en su susceptibilidad

a la oxidación y otros tipos de deterioro (Annou et al., 2023). En este estudio, se registró un índice de acidez de 1,309 mg KOH/g de muestra, lo que sugiere una buena calidad del aceite, similar al valor reportado por Llontop y Nunura (2015) de 1,318 mg KOH/g. Además, este resultado se encuentra dentro del rango reportado por la literatura, siendo mayor a lo obtenido por Annou et al. (2023) de 0,45 mg KOH/g y menor a lo reportado por Giwa et al. (2018) quienes obtuvieron un valor de 3,88 mg de KOH/g y, Fakayode y Abobi (2018) que reportaron un valor de 3,71 mg de KOH/g. Por tanto, comparando el resultado del presente estudio con estos valores encontrados en la literatura, el bajo valor de índice de acidez indicaría que el aceite está menos oxidado, reflejando su buena calidad.

#### **4.2.3.3. Índice de peróxido**

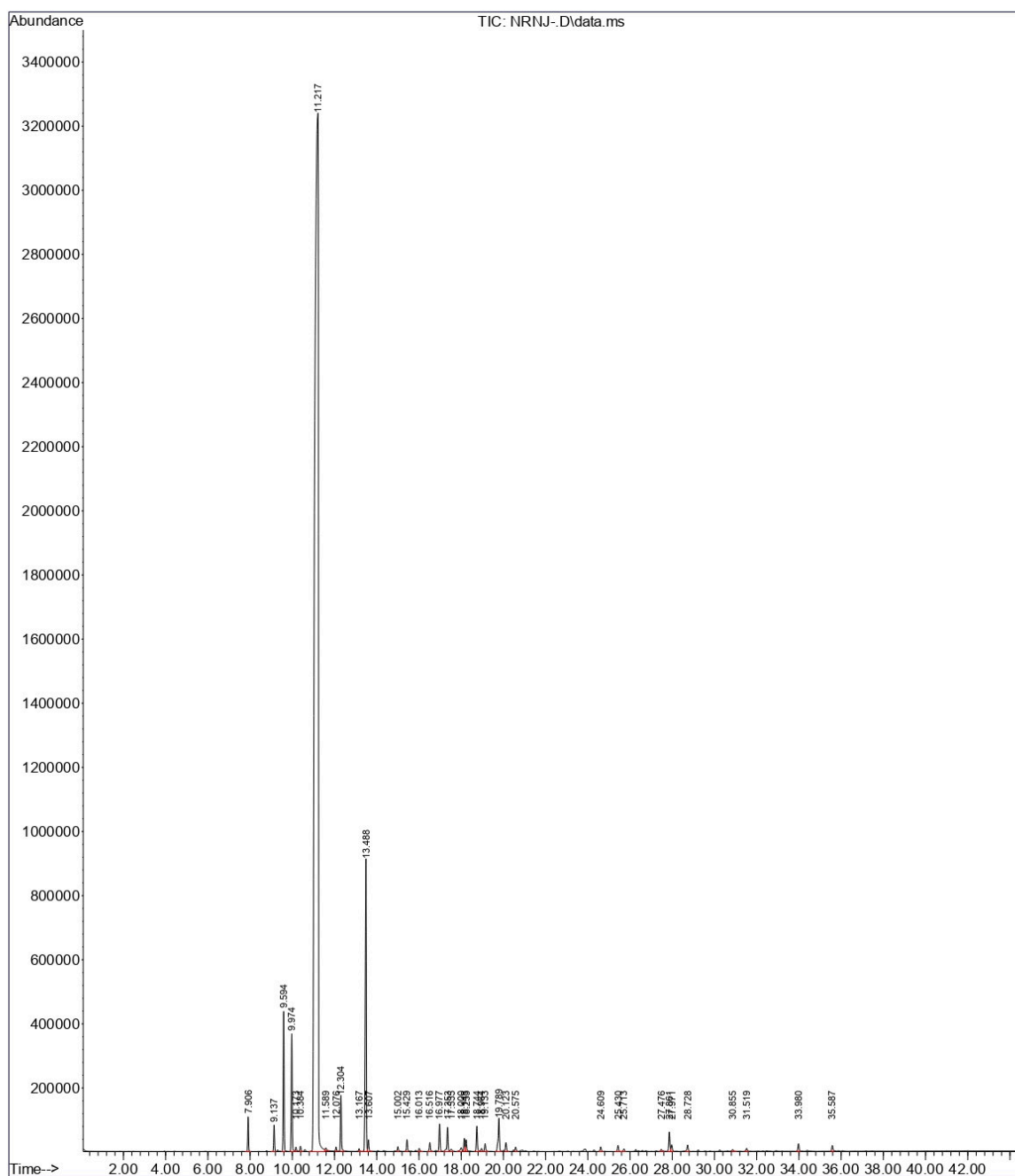
El índice de peróxido establece la cantidad de hidroperóxido presente, el principal resultado del proceso de oxidación. Un valor de índice de peróxido más elevado señala una mayor generación de hidroperóxidos en el aceite, en contraste, un valor menor denota una alta calidad del aceite (Aruna et al., 2022). El valor de peróxido obtenido del aceite esencial de cáscara de naranja fue de 1,87 meq O<sub>2</sub>/kg de muestra. Este valor es comparable con el resultado reportado por Aruna et al. (2022) de 2,2 meq/kg, Giwa et al. (2018) quienes obtuvieron un índice de peróxidos de 12,06 meq/kg y, Fakayode y Abobi (2018) con 16 mEq O<sub>2</sub> /kg. Por tanto, el bajo contenido de peróxidos en el aceite esencial del presente estudio indicaría que este es fresco, lo que demuestra su alta calidad.

#### **4.2.4. Cromatografía de gases/masas (GC-MS)**

En la Figura 24 se presenta el cromatograma del aceite esencial de cáscara de naranja, extraído por destilación por arrastre con vapor, a un intervalo de tiempo de 1 a 44 minutos. Se muestran un total de 40 picos donde sobresalen los de 11,217 y 13,488 minutos. El primero corresponde a un hidrocarburo monoterpénico identificado como D-limoneno y el segundo corresponde a un alcohol monoterpénico identificado como Linalool.

**Figura 24**

*Perfil cromatográfico del aceite esencial de cáscara de naranja*



De los 40 componentes encontrados, en la Tabla 11 se destacan 10 componentes más abundante del aceite esencial de cáscara de naranja, con porcentaje mayor a 0,5%, los cuales representan el 95,07% de la composición relativa. El contenido mayoritario corresponde a D-limoneno, de fórmula molecular  $C_{10}H_{16}$ , con 79,17%. Este componente normalmente se considera mayoritario en la composición del aceite esencial de las cáscaras de cítricos como el limón y la naranja. Además se observan otros componentes en concentraciones menores,

tales como Linalool (6,71%),  $\beta$ -Mirceno (2,56%), octanal (2,24%), 1-octanol (1,10%), E-citral (0,93%),  $\alpha$ -terpineol (0,61%), decanal (0,59%), Z-citral (0,58%) y  $\alpha$ -Pino (0,58%).

**Tabla 11**

*Constituyentes mayoritarios del aceite esencial de cáscara de naranja identificados por Cromatografía de Gases acoplado a masas (mayores a 0,5%)*

Componente	Porcentaje de abundancia	RT (min)
D-Limoneno	79,17%	11,217
Linalool	6,71%	13,488
$\beta$ -Mirceno	2,56%	9,594
Octanal	2,24%	9,974
1-Octanol	1,10%	12,304
E-Citral	0,93%	19,789
$\alpha$ -Terpineol	0,61%	16,977
Decanal	0,59%	17,353
Z-Citral	0,58%	18,744
$\alpha$ -Pino	0,58%	7,906

*Nota.* Elaboración propia

De acuerdo con Castañeda et al. (2018), el aceite esencial de cáscara de naranja obtuvo como componentes mayoritarios: D-Limoneno 85,93%,  $\beta$ -Mirceno 2,23% y  $\alpha$ -Pino 0,58%. Por otra parte, Muñoz (2018) empleó la extracción asistida por hidrodestilación y ultrasonido para obtener aceite esencial de cáscara de naranja, donde se identificaron 5 compuestos mayoritarios, entre ellos destacan limoneno (50,9 - 65,30%), p-cimeno (7,74-7,75%), mirceno (6,67 - 6,69%),  $\beta$ - pino (5,67-5,69%) y  $\alpha$ -pino (5,39-5,30%).

Según Delgado (2018), los componentes predominantes en el aceite esencial extraído de la cáscara de naranja son los monoterpenos, que son unidades terpénicas compuestas por 10 átomos de carbono (C-10). Entre estos, el limoneno (91,65%), el  $\beta$ -mirceno (2,7%), el  $\alpha$ -pino (0,78%) y el linalol (2,85%) destacan como los más significativos, contribuyendo en conjunto con aproximadamente el 98% del total del aceite.

El aceite esencial de naranja tiene una composición variable influenciada por factores como la ubicación geográfica de cultivo, el clima y la estación. Además, la técnica utilizada para extraer el aceite esencial también afecta su composición, resultando en diferencias en la composición del aceite obtenido (Ayala et al., 2017).

### 4.3. Efecto inhibitorio del aceite esencial de cáscara de naranja y quitosano

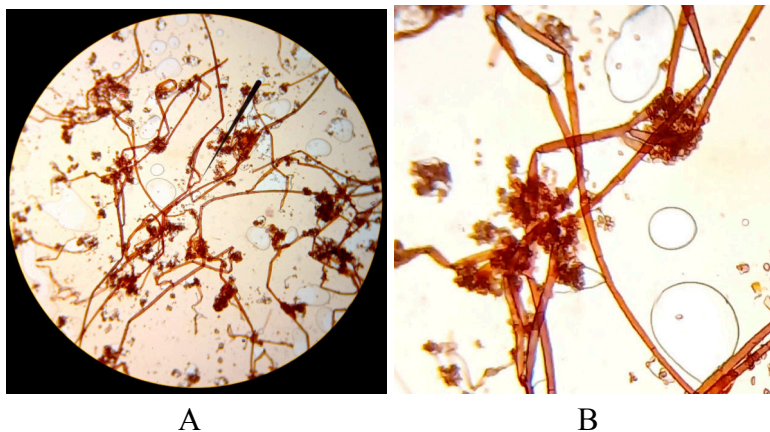
#### 4.3.1. Caracterización morfológica del hongo *Botrytis sp.*

##### 4.3.1.1. Caracterización microscópica

En la figura 25 se muestra la estructura a nivel microscópico del hongo *Botrytis sp.* con un aumento de 40x (Figura 25A). Se puede observar la presencia de conidióforos ramificados los cuales agrupan conidias unicelulares lisas de forma ovoide o elipsoidal que se encuentran en un extremo de las hifas, asemejándose a un racimo de uvas; además el micelio presenta hifas hialinas septadas (Figura 25B).

#### Figura 25

*Botrytis spp.* visualizado microscópicamente a un aumento de 40x



Nota. A) *Botrytis sp.* Objetivo: 40x. B) Hifas y conidióforos de *Botrytis sp.*

De acuerdo con Estacio (2019), el conidióforo crece en línea recta con ramificaciones en su parte superior que finalizan en hinchamientos conocidos como cabezuelas o ampuelas. Estas estructuras generan conidias, de forma elipsoidal y superficie lisa, mediante gemación a partir de pequeños dentículos o esterigmas.



#### 4.3.1.2. Caracterización macroscópica

De acuerdo con la Tabla 12, la colonia de *Botrytis sp.* presentó un crecimiento moderado, cuyo micelio fue de color gris con apariencia algodonosa. Según lo señalado por Rojas (2016), las colonias de *Botrytis sp.* inicialmente son de un tono gris, posteriormente se tornan gris verdoso y, con el paso del tiempo, adquieren una tonalidad marrón grisácea. Estas características pueden ser muy variables, dependiendo en gran medida de las condiciones de desarrollo del micelio.

**Tabla 12**

*Descripción macroscópica de Botrytis sp.*

Colonia	Características macroscópicas		
	Color		Textura
	Anverso	Reverso	
<i>Botrytis sp.</i>	Gris	Gris oscuro	Algodonosa

*Nota.* Elaboración propia

#### 4.3.2. Efecto inhibitorio del aceite esencial de cáscara de naranja

Es conocido que la actividad fungicida de los aceites esenciales y sus componentes está asociada con la alteración de la estructura y función de las membranas celulares, lo que provoca despolarización y cambios tanto físicos como químicos, desestabilizando el metabolismo de los hongos (Ruiz, 2018). Basak y Guha (2018) indica que la citotoxicidad de los aceites esenciales y sus componentes además se debe a su capacidad para coagular el contenido citoplasmático y, en consecuencia, ocasionar daños en los orgánulos celulares y la liberación de macromoléculas. Diversos autores han reportado el potencial antifúngico in vitro del aceite esencial extraído de las cáscaras de *C. sinensis* sobre el crecimiento de hongos como *A. flavus*, *A. niger*, *A. alternata* (Anwar et al., 2023). Guédez et al. (2014) reportaron que el aceite esencial de cáscara de naranja en una concentración del 1% mostró un efecto inhibitorio in vitro superior al 80% sobre el crecimiento micelial de los hongos *Colletotrichum gloeosporioides*, *Penicillium indicum*, *Fusarium solani*, *Rhizopus stolonifer* y *Aspergillus avus*.

En la Tabla 13 se presenta el porcentaje de inhibición del aceite esencial de cáscara de naranja sobre el crecimiento micelial de *Botrytis* sp. a concentraciones del 0,4 (12,2%), 0,7 (77,2%) y 1% (100%). Se notó que a medida que aumentaba la concentración, resultaba en una mayor inhibición del crecimiento del hongo. Similar a ello, Zhang y Chen (2022) determinaron que los aceites esenciales mostraron la capacidad de desencadenar la apoptosis celular al reducir la biomasa micelial y el proceso de crecimiento, la tasa de germinación de esporas y aumentar la permeabilidad celular de *Botrytis cinerea* cuando se incrementan las concentraciones. Los autores concluyeron que los aceites esenciales de frutas cítricas, particularmente aquellos con alto contenido de limoneno, tienen potencial como agentes antifúngicos naturales contra este hongo y que el aceite destilado tuvo una mejor actividad antifúngica en comparación con el aceite esencial extraído con solventes. Adicionalmente, se constató que también puede inhibir de manera efectiva el crecimiento de este hongo en la fruta de fresa. Sin embargo, de acuerdo con McKay et al. (2021), la actividad antifúngica del aceite esencial proveniente de la cáscara de naranja dulce no parece estar exclusivamente relacionada con el limoneno, ya que otros componentes del aceite esencial también desempeñan un papel importante y el limoneno puede mostrar una actividad fungistática limitada. Algunos autores sugieren que existe una correlación altamente significativa entre las cantidades de monoterpenos distintos al limoneno, específicamente monoterpenos oxigenados, que serían los responsables principales de la actividad antifúngica del aceite esencial, como el citral oxigenado. Xu et al. (2019) evidenciaron que el linalool inhibe el crecimiento micelial del hongo *B. cinerea* causando daños a las hifas y esporas. Los autores sugieren que su actividad antifúngica se debe a que este componente daña las membranas celulares y mitocondriales de las células fúngicas y causa estrés oxidativo. El linalool puede provocar una disminución de la cantidad de ergosterol en la membrana celular (principal componente esteroide de las membranas celulares de los hongos, esencial para mantener la función e integridad celular), afectando su integridad. Así mismo, es capaz de colapsar el potencial de la membrana mitocondrial y disminuir la producción de ATP al dañar las mitocondrias y reducir la oxidasa respiratoria, lo cual ralentizaría la transcripción y la traducción. El daño causado por el linalool a las mitocondrias, provocaría la inactivación de enzimas, alteración de la membrana e incluso muerte celular.

**Tabla 13**

*Porcentaje de inhibición de crecimiento del hongo Botrytis sp. con aceite esencial de cáscara de naranja*

Concentración de aceite esencial (%)	Inhibición del crecimiento (%)
Control	0,0 ± 0,0
0,4	12,2 ± 1,2
0,7	77,2 ± 1,1
1	100,0 ± 0,0

*Nota.* Los valores se presentan como media ± desviación estándar de análisis por triplicado.

#### **4.3.3. Efecto inhibitorio del quitosano**

La Tabla 14 muestra el porcentaje de inhibición del quitosano sobre el crecimiento micelial de *Botrytis sp.* a concentraciones de 1% y 1,5%. Se observa una ligera diferencia en los resultados. Sin embargo, ambas concentraciones superan el 50% de inhibición, lo que demuestra la eficacia del quitosano contra el hongo *Botrytis sp.* Investigaciones anteriores han demostrado que el quitosano tiene la capacidad de frenar el desarrollo de diversos hongos, como *B. cinerea*. Esto sugiere que este biopolímero, caracterizado por su naturaleza policatiónica, impacta la membrana celular de los hongos a través de interacciones electrostáticas con fosfolípidos con carga negativa, resultando en la liberación del contenido citoplasmático. (Sandoval et al., 2018). Asimismo, según Pizato et al. (2022), la eficacia antifúngica del quitosano siempre ha estado vinculada a la interacción entre los grupos amino con carga positiva de este compuesto y los fosfolípidos presentes en la pared celular de los hongos. Este proceso ocasiona daño al modificar la permeabilidad de la membrana, lo que permite el transporte activo del quitosano, conllevando un gasto energético. De este modo, al ingresar al citoplasma, el quitosano perturba la función del ARN, afectando la síntesis de proteínas y generando, además, estrés oxidativo a través de especies reactivas de oxígeno (ROS).

**Tabla 14**

*Porcentaje de inhibición de crecimiento del hongo Botrytis sp. con quitosano*

Concentración de quitosano (%)	Inhibición del crecimiento (%)
--------------------------------	--------------------------------

Control	0,0 ± 0,0
1	53,5 ± 0,1
1,5	58,4 ± 0,1

*Nota.* Los valores se presentan como media ± desviación estándar de análisis por triplicado.

Se ha comprobado que el quitosano es una herramienta valiosa para el control de hongos fitopatógenos, y su efectividad varía según la especie de hongo. El grado de inhibición se relaciona con varios factores, como el grado de desacetilación, el peso molecular y la concentración del quitosano. Se ha informado previamente que a medida que disminuye el peso molecular, aumenta el efecto antifúngico in vitro del quitosano sobre *Botrytis cinerea* (Ayala et al., 2017). Por lo tanto, en este estudio, el uso de quitosano con un medio peso molecular podría haber influido positivamente en la inhibición de *Botrytis sp.*

Varios investigadores en otros estudios han sugerido que el quitosano exhibe una función biológica más efectiva cuando su grado de desacetilación supera el 70%. En el presente estudio, el quitosano tenía un grado de desacetilación del 75%, que concuerda con el grado recomendado.

#### **4.4. Evaluación de las diferentes formulaciones a base de almidón de semilla de mango, quitosano y aceite esencial de cáscara de naranja.**

##### **4.4.1. Efecto de las variables de proporción de almidón de semilla de mango - quitosano y concentración de aceite esencial de cáscara de naranja**

La propiedad fundamental de las películas comestibles utilizadas en el envasado de alimentos es su capacidad para controlar la transferencia de agua entre los alimentos y su entorno. La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es un indicador clave de la calidad de estas películas al reducir la pérdida de peso de los alimentos, como las frutas y verduras. Esta pérdida de peso suele ser causada por la evaporación del agua durante el almacenamiento debido al proceso de respiración de los alimentos. Si la película comestible tiene una alta WVP, no puede minimizar eficazmente esta pérdida de agua, lo que resulta en una rápida degradación de los alimentos. Por lo tanto, es esencial que el valor de WVP sea lo más bajo posible (Sondari et al., 2021). Asimismo, el valor de WVP va estar influenciada por diversos factores como el grosor de la película, la concentración de glicerol, la concentración de

almidón, entre otros, según han indicado investigaciones previas. Además, de acuerdo con lo mencionado por García (2019), la calidad de las fresas se ve mayormente influenciada por las pudriciones provocadas por *Botrytis sp.* En este contexto, la aplicación del recubrimiento se presenta como una opción para extender la vida postcosecha, al prevenir el desarrollo del hongo.

Como se puede apreciar en la Tabla 15, se presenta el promedio de las mediciones de PVA y actividad antifúngica para cada tratamiento empleado. Esto se realiza considerando los efectos interdependientes de las variables de proporción de almidón:quitosano y concentración de aceite esencial. Los valores promedios de PVA se ubicaron dentro de un intervalo  $1,09 \times 10^{-10}$  hasta  $2,10 \times 10^{-10}$ , mientras que los valores de actividad antifúngica variaron entre 7 mm y 11,3 mm.

**Tabla 15**

*Valores experimentales promedio de PVA y actividad antifúngica en cada tratamiento*

T	Proporción de quitosano:almidón	Aceite esencial (%)	PVA (g/Pa.s.m) experimental	Actividad antifúngica (mm) experimental
1	50	0,5	$1,88 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$7 \pm 0,0$
2	50	1	$1,31 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$8,5 \pm 0,71$
3	50	1,5	$1,09 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$10,6 \pm 0,07$
4	75	0,5	$1,73 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$8 \pm 0,0$
5	75	1	$1,56 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$9 \pm 0,0$
6	75	1,5	$1,38 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$10,8 \pm 0,35$
7	100	0,5	$2,10 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$8 \pm 0,0$
8	100	1	$1,84 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$9 \pm 0,0$
9	100	1,5	$1,48 \times 10^{-10} \pm 0,0$	$11,3 \pm 0,35$

*Nota.* Los valores se presentan como media  $\pm$  desviación estándar de análisis por triplicado.

El análisis de varianza (ANOVA) de la proporción de almidón de semilla de mango - quitosano y concentración de aceite esencial de cáscara de naranja sobre la permeabilidad al vapor de agua y actividad antifúngica se muestran en el Anexo 38 y 39 respectivamente.

En el ANOVA, se pudo observar que, con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , se encontraron efectos altamente significativos en la respuesta de permeabilidad al vapor de agua. Los efectos significativos fueron la proporción de almidón:quitosano y la concentración de aceite esencial, siendo el factor más relevante la concentración de aceite esencial, ya que presentó el valor más alto de Razón-F. Para actividad antifúngica, el efecto significativo fue la proporción de almidón:quitosano. Sin embargo, no se evidenció interacción significativa entre las variables, lo cual indica que los factores son independientes entre sí.

La respuesta de la permeabilidad al vapor de agua frente a los efectos se muestra en la figura 26. Los hallazgos de este estudio se sitúan dentro de los rangos de valores informados por Bordagaray et al. (2020) para biopelículas con aceite esencial de pomelo blanco y almidón de almidón de maíz:quitosano (50:50), con un rango de respuesta de  $0,6279 \times 10^{-10}$  a  $2,314 \times 10^{-10}$  g/m.Pa.s. De igual manera, en la investigación de Bof (2018), se reportó valores cercanos, que oscilaban entre  $2,165 \times 10^{-10}$  y  $3,378 \times 10^{-10}$  g/m.Pa.s, para biopelículas que contenían diferentes proporciones de almidón de maíz y quitosano con medio peso molecular. Valencia et al. (2017), también obtuvo un intervalo de  $1,715 \times 10^{-10}$  a  $4,141 \times 10^{-10}$  g/m.Pa.s, para películas de almidón de maíz, quitosano y sus mezclas. En consecuencia, los valores obtenidos en los distintos tratamientos se encuentran en el rango de valores que ha sido reportado en la literatura.

Como se puede apreciar en la figura 26 (a), la permeabilidad al vapor de agua (PVA) experimentó una disminución a medida que aumentaba la proporción de almidón en la película comestible elaborada a base de quitosano. Este fenómeno se debe principalmente a las interacciones que se desarrollan entre ambos polímeros, lo que reduce la disponibilidad de los grupos hidrofílicos. Similares resultados fueron reportados por Bof (2018), donde la proporción 50:50 (quitosano:almidón), tuvo una menor permeabilidad comparado a la película de solo quitosano, el cual lo atribuyó al efecto sinérgico de ambos polímeros. Asimismo, Akter et al (2014), atribuye ese resultado, al aumento de la tortuosidad de ambos

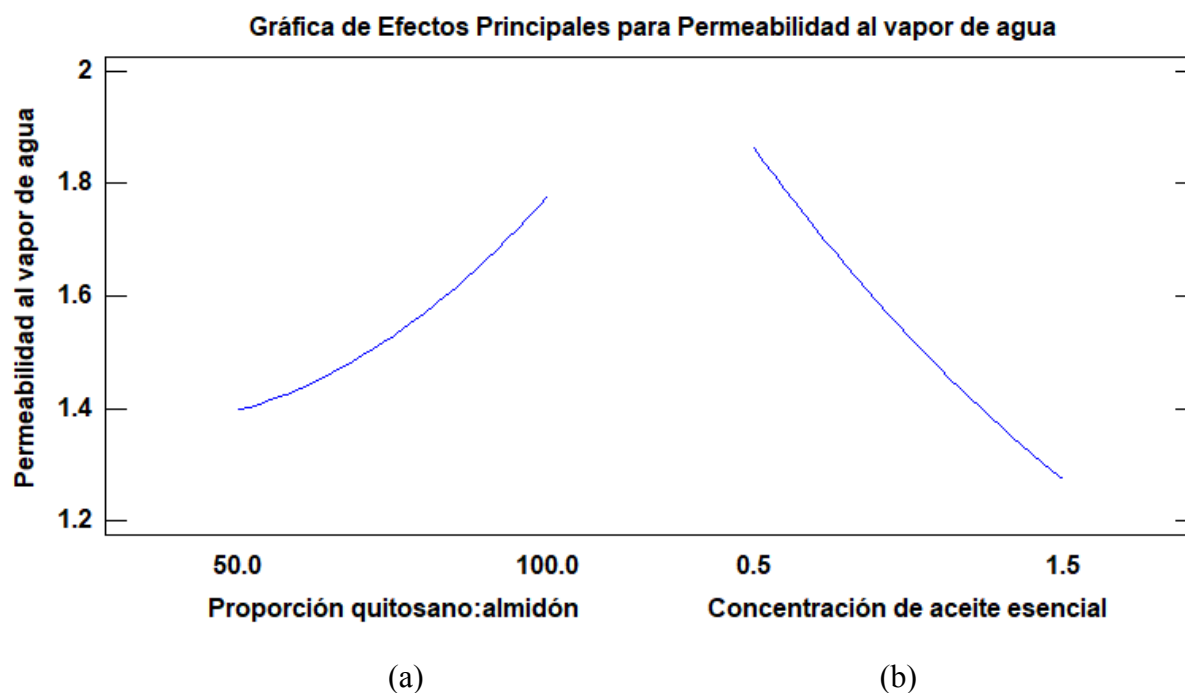
polímeros, lo que resulta en una difusión más lenta y, como resultado, en una menor permeabilidad

Morey y Quinde (2012) observaron que las películas elaboradas con almidón exhiben una mayor permeabilidad al vapor de agua, atribuible a su naturaleza hidrófila. Sin embargo, al integrar quitosano, esta característica tiende a equilibrarse debido a los grupos acetilos residuales presentes en la cadena del biopolímero, los cuales le confieren un comportamiento hidrófobo. Además, la formación de enlaces de hidrógeno entre el almidón y el quitosano puede disminuir la cantidad de grupos hidrofílicos, lo que, a su vez, disminuye su afinidad por las moléculas de agua, lo que resulta en una disminución en la velocidad de transferencia de vapor de agua (Sondari et al., 2021).

En la figura 26 (b), también se observa que la permeabilidad al vapor de agua disminuye conforme se incrementa la concentración de aceite esencial en los niveles de 0.5% y 1.5%, este comportamiento se asemeja a lo indicado por Grande-Tovar et al. (2018) películas de quitosano y glicerol con incorporación de aceite esencial de *Thymus capitatus* (TCEO) en distintas concentraciones (0,5, 1,0 y 1,5%). Los resultados mostraron una reducción significativa de la permeabilidad cuando se aumentaron los niveles de TCEO al 1,0% y 1,5% en comparación con películas de quitosano puro. Esta disminución en la permeabilidad podría estar relacionada con las interacciones covalentes que ocurren entre la estructura de la red de la película y los componentes del EO, especialmente los terpenos oxigenados, lo que da lugar a una reacción de reticulación. Se argumentó que al disminuir la disponibilidad de grupos hidrofílicos, se reduce la afinidad de la matriz con el agua, lo que resulta en una película que es más impermeable al agua. Además, la fase dispersa hidrofóbica provoca un aumento en el factor de tortuosidad, lo que reduce la facilidad de transferencia de masa, dando como resultado una disminución en la permeabilidad.

**Figura 26**

*Efectos principales para la Permeabilidad al vapor de agua*



Como se puede apreciar en la figura 27 (a), se observa que, para la relación de quitosano:almidón, la actividad antifúngica disminuye a medida que aumenta la proporción de almidón en la película elaborada a base de quitosano, esta tendencia mencionada estuvo de acuerdo con los hallazgos de Sondari et al. (2021), quienes observaron una reducción de la capacidad antimicrobiana del quitosano contra *Penicillium chrysogenum*, cuando se añadió almidón de yuca al recubrimiento comestible, exhibiendo la solución de quitosano un diámetro de zona de inhibición significativamente mayor que la solución de recubrimiento de quitosano:almidón de yuca, con diámetros de 17 mm y 8 mm respectivamente. Atribuyeron esta tendencia a la reducción de la disponibilidad de la posición  $NH_3^+$  del quitosano para interactuar con la membrana celular.

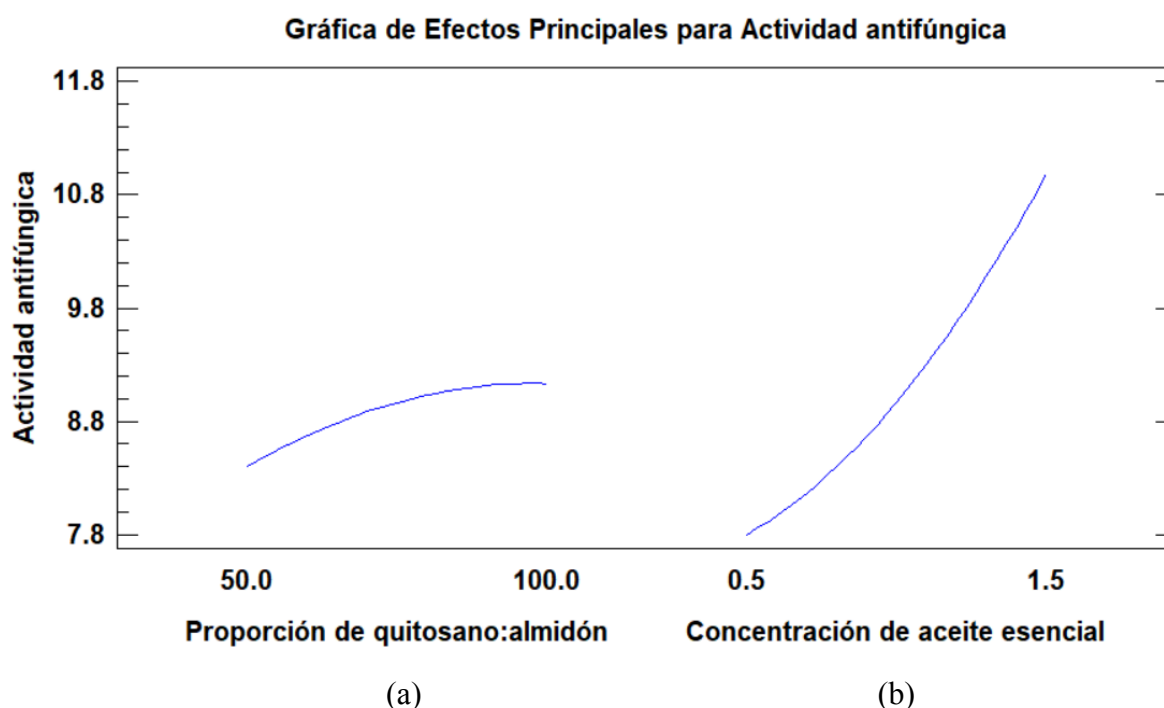
Por otro lado, en la figura 27 (b) se observa una mayor actividad antifúngica a medida que se incrementa la concentración de aceite esencial. Esta tendencia es comparable con lo reportado por Muñoz et al. (2022) quienes observaron un incremento significativo en el diámetro de los halos y, por ende, el porcentaje de inhibición del crecimiento de los hongos *Aspergillus sp.* y *Penicillium sp.* a medida que se incrementaron las concentraciones (0,1%, 1% y 1,5% v/v) de aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) y ajedrea (*Satureja*



*montana*) en películas de mucílago de chíá. De acuerdo con Rezende et al. (2020), la posible acción antifúngica del aceite esencial obtenido de la cáscara de naranja podría estar vinculada principalmente a su componente químico predominante, que es el limoneno. Asimismo, afirma que la capacidad antifúngica potencial demostrada por los aceites esenciales derivados de *C. sinensis* podría estar relacionada con la concentración significativa de limoneno.

**Figura 27**

*Efectos principales para la Actividad antifúngica*



#### 4.4.2. Elección de la mejor formulación en base a la permeabilidad al vapor de agua y actividad antifúngica

La selección del mejor tratamiento se basó en los experimentos llevados a cabo y en la investigación científica. Se busca elegir un tratamiento que exhiba un bajo valor de permeabilidad al vapor de agua (PVA) y una mayor actividad antifúngica (mm). En los análisis de varianza presentados en la Tabla 16 y la Tabla 17, se evidencia que el valor p es menor que 0,05. Esto indica que, con un nivel de confianza del 95%, existen diferencias significativas, es decir que con un nivel de confianza del 95%, existen diferencias significativas entre las medias poblacionales del PVA y la actividad antifúngica de los tratamientos analizados.

**Tabla 16***Análisis de Varianza para Permeabilidad al vapor de agua por tratamiento*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2,45387	8	0,306734	62,18	0,0000
Intra grupos	0,0888	18	0,00493333		
Total (Corr.)	2,54267	26			

*Nota.* Elaboración propia (2023).**Tabla 17***Análisis de Varianza para actividad antifúngica por tratamiento*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	33,31	8	4,16375	49,63	0,0000
Intra grupos	0,755	9	0,0838889		
Total (Corr.)	44,065	17			

*Nota.* Elaboración propia (2023).

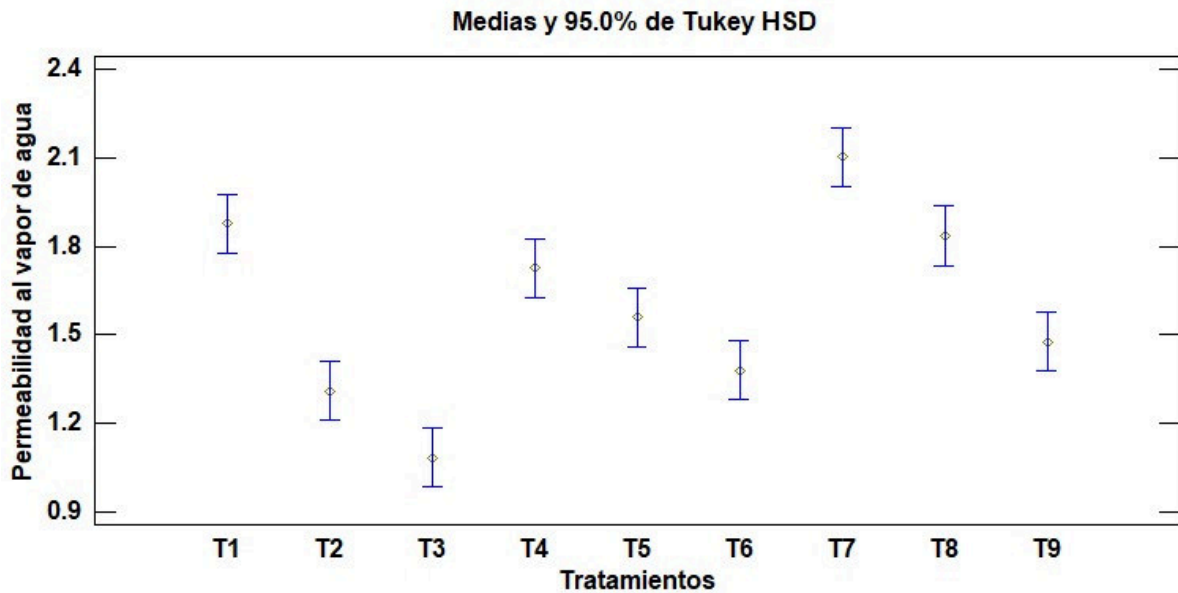
Esto se verifica en la figura 28, donde se observa que la media de menor valor estadísticamente es la del tratamiento 3 con  $1,09 \times 10^{-10}$  g/m.Pa.s. Por otro lado, para la actividad antifúngica que se aprecia en la figura 29, las medias de mayor valor son las del T9 con 11,3 mm, seguido de T6 con 10,8 mm y T3 con 10,6 mm, donde se observa que los intervalos de confianza de estos tratamientos se traslapan, lo que indica que son estadísticamente iguales en cuanto a su media.

Basándonos en estos resultados y con la expectativa de lograr las condiciones adecuadas para la elaboración del recubrimiento, se opta por elegir el tratamiento 3. Este tratamiento se selecciona debido a su menor valor de permeabilidad al vapor de agua y a la mayor actividad antifúngica. En consecuencia, los niveles seleccionados del tratamiento 3 son

una proporción de almidón de quitosano:almidón de semilla de mango de 50:50 y una concentración al 1.5% de aceite esencial de cáscara de naranja.

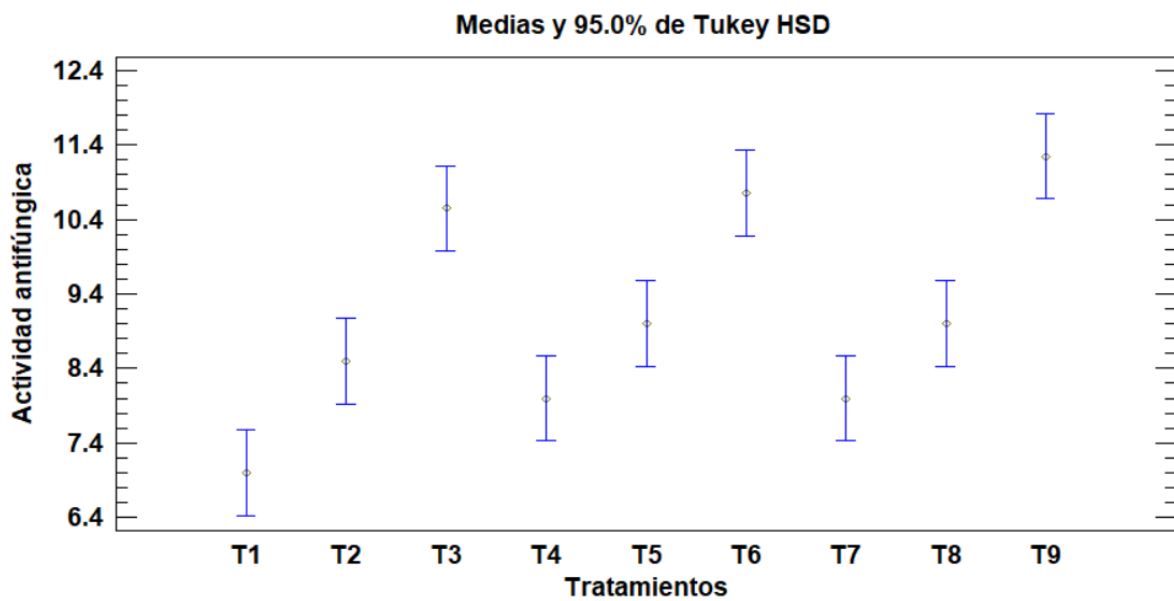
**Figura 28**

*Pruebas de Múltiple Rangos para Permeabilidad al vapor de agua por Tratamiento*



**Figura 29**

*Pruebas de Múltiple Rangos para actividad antifúngica por Tratamiento*



#### 4.5. Caracterización de la formulación

En la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos para las propiedades físicas del mejor tratamiento.

**Tabla 18**

*Propiedades físicas del mejor tratamiento*

Propiedad	Valor
Humedad	14,88 ± 0,07 %
Opacidad	6,33 ± 0,08 mm <sup>-1</sup>
Solubilidad	35,11 ± 0,79 %

*Nota.* Los valores se presentan como media ± desviación estándar de análisis por triplicado.

##### 4.5.1. Humedad

El contenido de humedad del mejor tratamiento fue de 14,88%. Este valor es semejante a lo reportado por García et al. (2015) en películas a base de una mezcla de almidón de plátano (3%) con quitosano (1%) y glicerol (0,5%) obteniendo una humedad de 10,37%. Long et al. (2022) reportaron un contenido de humedad entre 11,08 y 23,17% en películas compuestas elaboradas con quitosano, aceite esencial de semilla de hinojo, octenilsuccinato de sodio y almidón. De acuerdo con García et al. (2015), la concentración de almidón y la presencia de glicerol pueden influir en el contenido de humedad de las películas. El glicerol tiene la capacidad de absorber agua, lo que proporciona sitios activos en la matriz de la película al exponer sus grupos hidroxilo (OH), permitiendo la absorción y retención de moléculas de agua a través de enlaces tipo puente de hidrógeno. Además, según Long et al. (2022), al ser el glicerol una molécula pequeña, tiene la capacidad de incorporarse entre las cadenas de polímeros, interrumpiendo la formación de enlaces de hidrógeno entre polímeros y aumentando el espacio libre en el polímero para absorber mayor cantidad de agua. Por lo tanto, el glicerol se revela como el factor principal que influye en el contenido de humedad de las películas. Por otro lado, según Grande-Tovar et al. (2018), la formación de enlaces covalentes entre los grupos funcionales del quitosano y los componentes del aceite esencial disminuye la disponibilidad de grupos funcionales para interactuar con las moléculas de agua a través de enlaces de hidrógeno.

#### 4.5.2. Opacidad

El valor de opacidad obtenido para el mejor tratamiento fue de  $6,33 \text{ mm}^{-1}$ . Este valor se encuentra en el rango de  $5,35$  a  $6,74 \text{ mm}^{-1}$  reportado por Santacruz et al. (2015) en películas a base de almidón y quitosano. Long et al. (2022) reportaron valores de opacidad más altos ( $5,38$  y  $5,20 \text{ mm}^{-1}$ ) a medida que se incrementaba la concentración de aceite esencial en películas compuestas elaboradas con quitosano, aceite esencial de semilla de hinojo, octenilsuccinato de sodio y almidón.

Se ha observado que la presencia de almidones con alto contenido de amilosa, que son compuestos de bajo peso molecular, conduce a la formación de agregados densos, lo que resulta en una baja transmitancia de luz en los geles de almidón (Santacruz et al., 2015). Por otro lado, Long et al. (2022) señalan que la opacidad de las películas aumenta con la concentración de aceite esencial. A medida que aumenta el contenido de aceite esencial, aumenta la presencia de gotas de aceite en las películas de almidón, lo que mejora la dispersión de la luz y aumenta la opacidad. En consecuencia, la adición de aceite esencial hace que las películas parezcan más oscuras y exhiban una mayor opacidad.

#### 4.5.3. Solubilidad

La solubilidad en agua del mejor tratamiento fue de  $35,11\%$ . Este valor es similar a lo encontrado por Reyes (2015), quien registró  $32,02\%$  para películas que contenían quitosano y almidón acetilado. Se atribuyó este valor a la naturaleza hidrofóbica del quitosano, según lo señalado por García et al. (2015). Por otra parte, Bof (2018) y Vázquez y Guerrero (2017), reportaron valores de solubilidad altos, alcanzando el  $58,72\%$  para películas que consistían en una combinación de almidón de maíz y quitosano en una proporción de  $50:50$ , y  $42,76\%$  para películas a base de quitosano y aceite esencial de *Cymbopogon citratus*, respectivamente.

De acuerdo con Ulfah (2018), la solubilidad es influenciada por componentes hidrofílicos e hidrofóbicos. Un criterio particular para los recubrimientos comestibles diseñados para frutas, es su resistencia al agua, asegurando que permanezcan intactos y proporcionen una cobertura adecuada al aplicarse. Según Palacios (2022), a medida que los valores aumentan, la capacidad del recubrimiento para resistir al agua disminuye, mientras que valores bajos indican un material altamente eficaz. Asimismo, Vázquez y Guerrero (2017), indican que la solubilidad de las películas comestibles es una cualidad crucial, ya que

puede verse afectada en entornos húmedos. Cuando se emplean como recubrimientos, existe el riesgo de que se disuelvan rápidamente, lo que podría dar lugar a un sistema no apto para alimentos listos para el consumo.

Brandelero et al., (2019), determina que la reducción de la solubilidad sólo podría lograrse para cantidades específicas de quitosano; ya que cuando se añade en altas proporciones, la solubilidad de la película no se reduce. Por otra parte, según Lovera (2014), la incorporación de glicerol a una solución formadora de película a base de almidón, contribuye con una menor retrogradación y por lo tanto, disminuye la formación de agregados cristalinos en los geles de almidón, por lo que hace que aumente el agua fácilmente, la película se hinche y se desintegre, obteniendo una la solubilidad en agua mayor.

Por lo tanto, debido a su naturaleza hidrofóbica, el quitosano y el aceite esencial de cáscara de naranja podrían contribuir a una menor solubilidad. Sin embargo, es importante destacar que este efecto puede verse influenciado por la presencia de glicerol, ya que este último es hidrofílico.

#### **4.5.4. Espectroscopia infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR)**

La Figura 30 y 31 muestra los espectros IR de la película (quitosano + almidón + aceite esencial + glicerol) y quitosano puro, respectivamente, en el rango de longitud de onda de  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ . Este análisis se utilizó para determinar las interacciones moleculares entre los componentes de la película. Se observa una banda ancha entre los  $3309,67$  y  $3322,72 \text{ cm}^{-1}$  para la película con todos los componentes y quitosano puro respectivamente, indicando la formación de enlaces de puente de hidrógeno entre los componentes que constituyen la muestra, donde se asume la interacción de los grupos  $-OH$  y  $NH_2$  del quitosano y los grupos  $-OH$  del almidón, lo que conlleva una serie de intercambios de hidrógeno. En el estudio realizado por Yusof et al. (2019), se identificaron picos característicos en el rango de  $3390 \text{ cm}^{-1}$  a  $3180 \text{ cm}^{-1}$ . Estos picos se atribuyen al estiramiento de los enlaces  $-OH$  del quitosano y el almidón. Además, se observó en esta misma región el pico correspondiente al estiramiento de los enlaces  $-NH$  del quitosano.

**Figura 30**

*Espectro IR de la película comestible*

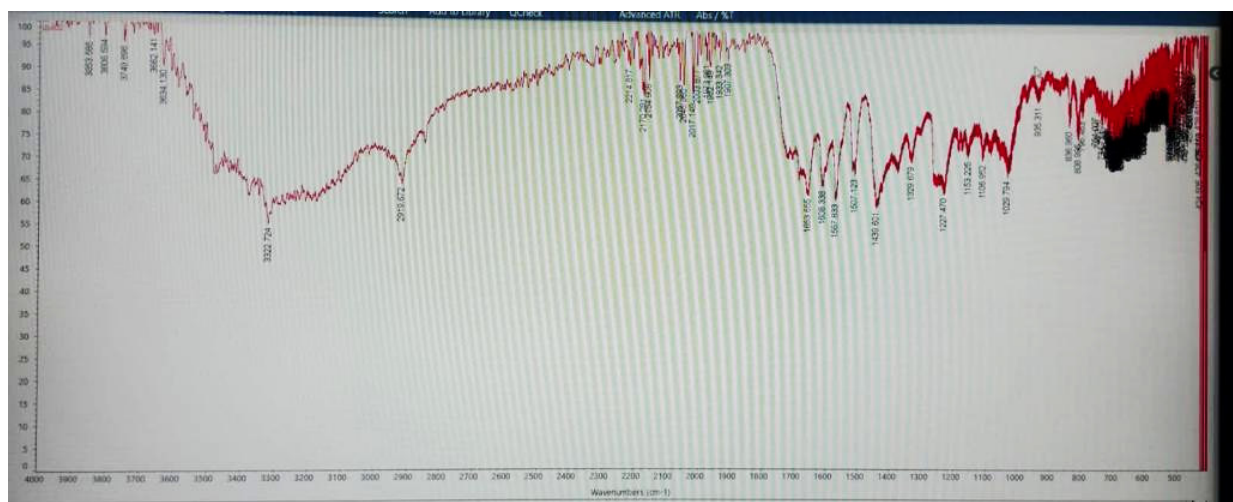


*Nota.* Elaboración propia

Se encontró un enlace tipo carbonilo en la película (quitosano + almidón + aceite esencial + glicerol) con un pico de  $1712,92\text{ cm}^{-1}$ . De igual manera en el estudio de Sánchez et al. (2016), se identificó fácilmente bandas intensas de las membranas porosas a partir de policaprolactona (PCL) y quitosano (CS), como el enlace carbonilo (C=O) en modo de estiramiento a  $1723\text{ cm}^{-1}$ .

**Figura 31**

*Espectro IR del quitosano puro*



*Nota.* Elaboración propia

## **4.6. Evaluación de la aplicación de la mejor formulación en la conservación de fresas**

### **4.6.1. Propiedades físico-químicas**

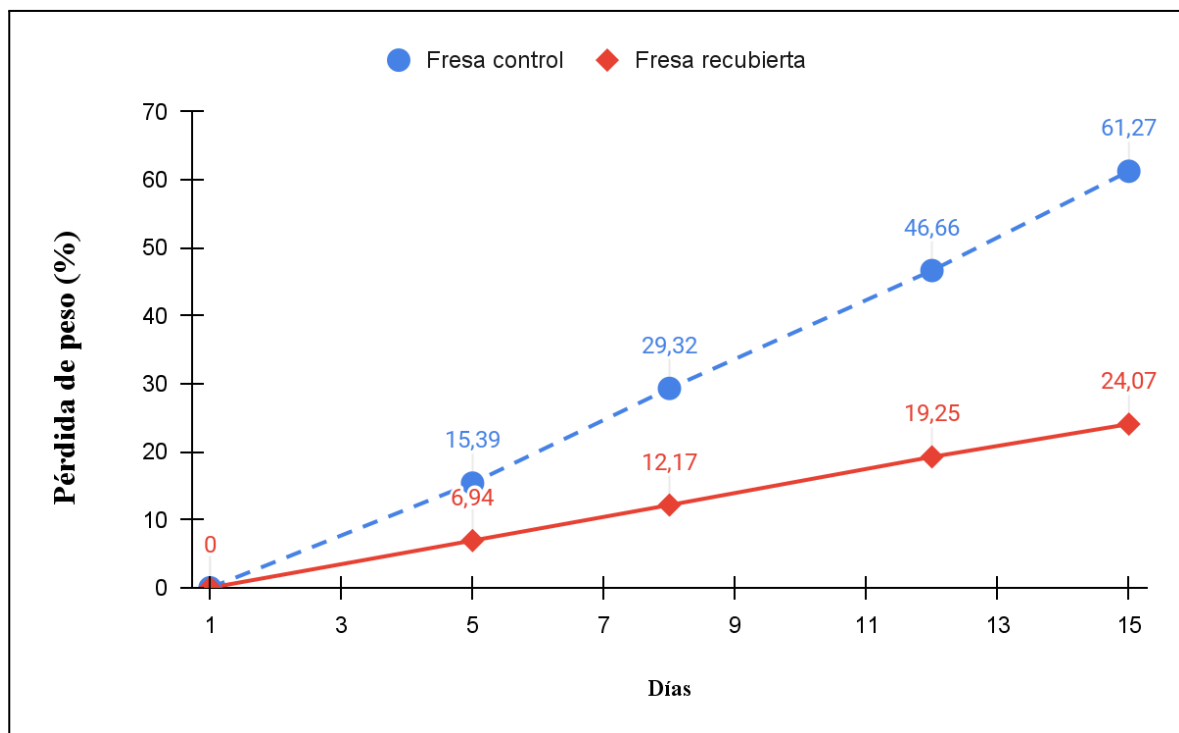
#### **4.6.1.1. Pérdida de peso**

En la Figura 32 se presentan las tendencias del porcentaje de pérdida de peso registrado en los tratamientos evaluados a lo largo de los 15 días de almacenamiento en condiciones de refrigeración. El grupo de fresas con recubrimiento se destacó desde el día 5 de evaluación en comparación con el grupo control; no obstante, los frutos tratados con los recubrimientos comestibles lograron una reducción significativa en la pérdida de peso en comparación con el grupo de control. Se observa que la fresa control experimentó la mayor variación con una reducción del 61,27% de peso, mientras que la fresa con recubrimiento presentó una reducción de 24,07% a los 15 días de almacenamiento. Comportamientos similares se reportaron por Gil et al. (2018) donde el recubrimiento a base de quitosano, glicerina y ácido cítrico demostró ser más eficaz en la reducción de la pérdida de peso (14,51%) a los 12 días de evaluación en comparación con el control. Falconí (2016) reportó valores de pérdida de peso de 22 - 41% en grupos de fresas con recubrimiento (gelatina, cera o pectina) durante 12 días de almacenamiento a condiciones de refrigeración en comparación con fresas control (43,43%). Así mismo, en el estudio realizado por Caudillo (2016) se evidenció un valor mínimo de pérdida de peso en las fresas recubiertas con una formulación de quitosano-quínoa y aceite esencial de naranja el 5to día de almacenamiento (8,37%) en comparación con el control (19,04%), y se mostró una tendencia similar a los resultados obtenidos en el presente trabajo para el día 15 de almacenamiento con una pérdida menor al 40% del peso para las frutas recubiertas y una reducción del peso de aproximadamente 60% en las muestras control.



**Figura 32**

*Variación de la pérdida de peso (%) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



La pérdida de peso en las fresas se debe principalmente a su piel delgada y su alta tasa de transpiración, lo que las hace propensas a perder agua rápidamente (Lan et al., 2019). Esto a su vez tiene consecuencias desfavorables en la apariencia de la fruta, causando alteraciones en la textura (ablandamiento), color y aroma, acelerando el proceso de envejecimiento, la proliferación de patógenos, la formación de arrugas y los daños debidos al frío, lo que resulta en pérdidas económicas (De Bruno et al., 2023). Utami et al. (2023) indican que en el proceso de respiración, se requiere oxígeno para la descomposición de compuestos complejos presentes en las células, como los carbohidratos. Estos compuestos complejos se descomponen en moléculas más simples, incluyendo dióxido de carbono, energía y vapor de agua, que se evaporan desde la superficie de la piel de la fruta, lo que conlleva a una pérdida de peso. Por lo tanto, la disminución en la pérdida de peso también puede ser resultado del proceso de transpiración, que es la liberación de agua en forma de vapor a través de la superficie de la piel durante el período de almacenamiento.

El uso de recubrimientos de quitosano actúa como una barrera semipermeable que crea una atmósfera adecuada para las fresas, retrasando así la disminución de agua. Además, los recubrimientos con aceite esencial también ayudan a reducir la pérdida de agua en varias

frutas y verduras gracias a su carácter hidrofóbico (Pizato et al., 2022). De acuerdo con Palacios (2022), las variadas capacidades observadas para reducir la pérdida de peso están relacionadas con las distintas tasas de permeabilidad al vapor de agua del polímero utilizado en la preparación de los recubrimientos comestibles. Por lo tanto, esta tendencia podría explicarse porque el recubrimiento crea una capa con una menor tasa de permeabilidad al vapor de agua, lo que favorece una disminución en la pérdida de peso del fruto. Según García-Mateos et al. (2023), a medida que se aumenta la concentración de aceite esencial de *Citrus spp* en un recubrimiento compuesto por quitosano y glicerol, se observa una disminución en la pérdida de peso de los frutos de papaya. Esto se atribuye a que el aumento del contenido de aceite esencial aumenta la hidrofobicidad en el recubrimiento, lo que a su vez reduce la transpiración y, en consecuencia, la pérdida de agua.

La Tabla 19 muestra que, con un nivel de confianza del 95%, existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos. Esto indica que el tratamiento con recubrimiento tiene un impacto significativo en el % de pérdida de peso.

**Tabla 19**

*Variación de la pérdida de peso (%) en las fresas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	0 <sup>a</sup>	6,94±0,85 <sup>a</sup>	12,17±0,46 <sup>a</sup>	19,25±0,85 <sup>a</sup>	24,07±1,52 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	0 <sup>a</sup>	15,39±1,29 <sup>b</sup>	29,32±2,01 <sup>b</sup>	46,66±1,95 <sup>b</sup>	61,27±0,86 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

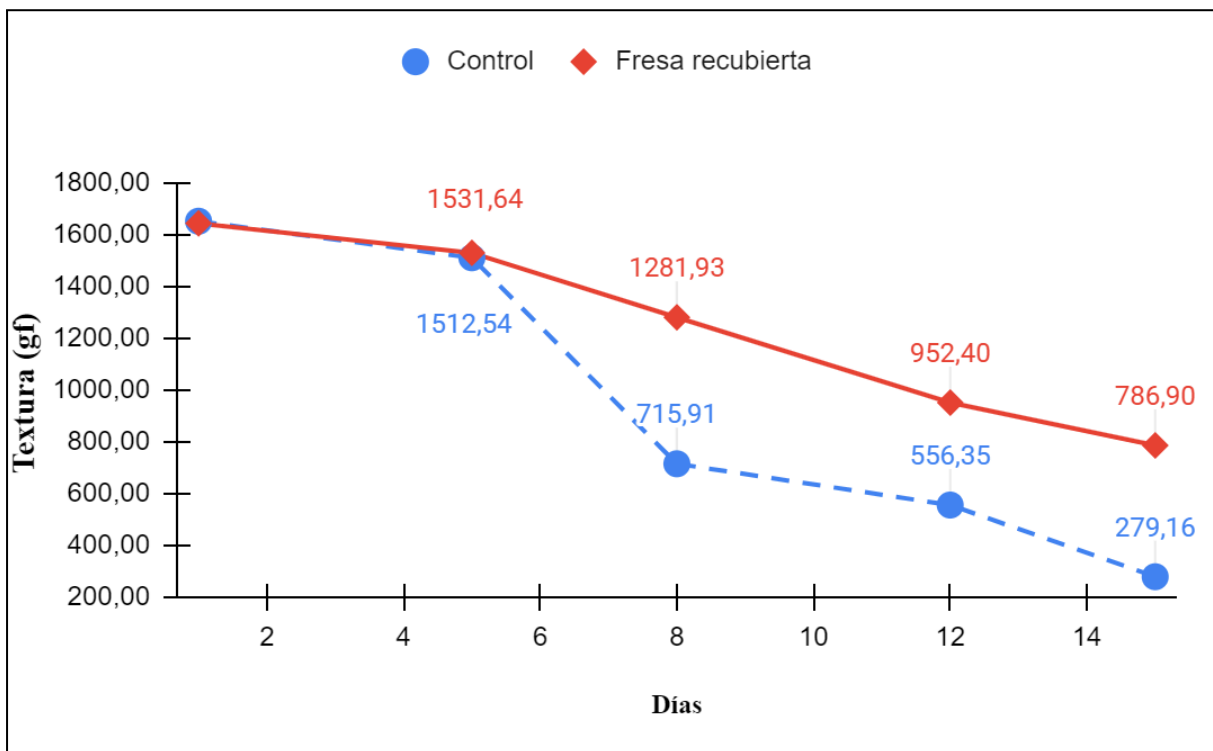
#### 4.6.1.2. Textura

La figura 33 muestra el comportamiento descendente de la textura en la fresa control y fresa recubierta durante los 15 días de evaluación, aunque la fresa control a partir del día 8 tuvo una disminución más pronunciada. La firmeza desciende de 1653,92 gf a 279,16 gf para la fresa control y de 1645,91 gf a 786,90 gf para la fresa recubierta, similar resultado fueron encontrados por De Bruno et al. (2023), donde observaron una disminución de la firmeza durante los 14 días de almacenamiento tanto en la fresa recubierta como sin recubrir, sin embargo las muestras recubiertas con goma arábica, extracto antioxidante y aceite esencial de

bergamota mostraron los valores de textura más altos (1029,91 gf a 438,47 gf) en comparación con las muestras control (1029,91 gf a 157,03 gf). Asimismo Gil et al. (2018), evidenció que el recubrimiento a base de quitosano, glicerol y ácido cítrico fue el más efectivo para reducir la pérdida de textura de la fresa durante los 12 días de almacenamiento presentando valores de 1243,52 gf a 915,74 gf, conservando esta propiedad y atributo de calidad, mientras que la textura de la fresa sin recubrir presentó 1131,88 gf a 489,46 gf. Escalante (2015), también encontró que las fresas recubiertas con goma de tara, cera de abeja y glicerol preservó mejor la textura del fruto, ya que ésta fue mayor a la del control durante los 9 días de almacenamiento, presentando la fresa recubierta una pérdida total de textura de 18,24 %, mientras que el control evidenció una pérdida total de 20,72 %.

**Figura 33**

*Variación de la textura (gf) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



Ruiz (2015) manifiesta que el descenso de la textura se debe a la disminución de los constituyentes químicos como las protopectinas y pectinas solubles de la pared, que disminuye la turgencia de la fruta. Asimismo según Escalante (2015), la disminución de la firmeza en las fresas posiblemente se origina por la descomposición de la lamela media de las células en el parénquima cortical. Esto conlleva a un aumento drástico en la solubilización de la pectina, con modificaciones leves en el peso molecular de la pectina y reducciones

mínimas en el contenido de hemicelulosa, lo cual resulta en el ablandamiento. De acuerdo con Ibrahim et al. (2017), durante la maduración del fruto se produce la despolimerización o acortamiento de la pectina y otras sustancias pécticas, con un aumento de las actividades pectinesterasa y poligalacturonasa. Las bajas concentraciones de oxígeno y las altas concentraciones de dióxido de carbono en el medio ambiente, reducen potencialmente la actividad de estas enzimas y permiten la retención de la textura de las frutas durante el almacenamiento. Por ello, se podría explicar los cambios de textura más lentos en las fresas recubiertas, puesto que el recubrimiento comestible al modificar la composición del gas interno del fruto, reduce las concentraciones de oxígeno y eleva la concentración de dióxido de carbono.

En la Tabla 20 se muestra que con un nivel de confianza del 95%, existe una clara diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras en todos los días de evaluación, evidenciándose que la aplicación del recubrimiento a base de quitosano - almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja afectó significativamente y fue más efectivo para reducir la pérdida de textura de la fresa, conservando esta propiedad y atributo de calidad durante su almacenamiento.

**Tabla 20**

*Variación de la textura (gf) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	1653,56 ± 0,79 <sup>a</sup>	1512,54 ± 0,58 <sup>a</sup>	715,91 ± 0,66 <sup>a</sup>	556,35 ± 0,54 <sup>a</sup>	279,16 ± 0,55 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	1653,91 ± 0,59 <sup>a</sup>	1531,64 ± 0,70 <sup>b</sup>	1281,93 ± 0,68 <sup>b</sup>	952,40 ± 0,58 <sup>b</sup>	786,90 ± 0,71 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

Farida et al. (2023) recubrieron fresas con quitosano y aloe vera, y manifestaron que el recubrimiento actuó como una barrera contra los gases, lo que disminuyó la tasa de respiración y la degradación de los compuestos de la pared celular. Asimismo, en el estudio de Yusof et al. (2020), se elaboró diferentes recubrimientos a base de quitosano y almidón

enriquecidos con diferentes concentraciones de aceite esencial de cúrcuma (50, 100, 150 y 200 ppm), logrando conservar la textura de las fresas debido a que la estructura celular fue protegida durante el tiempo de almacenamiento, lo que indica que el tratamiento poscosecha con el recubrimiento inhibió significativamente el ablandamiento de la fresa.

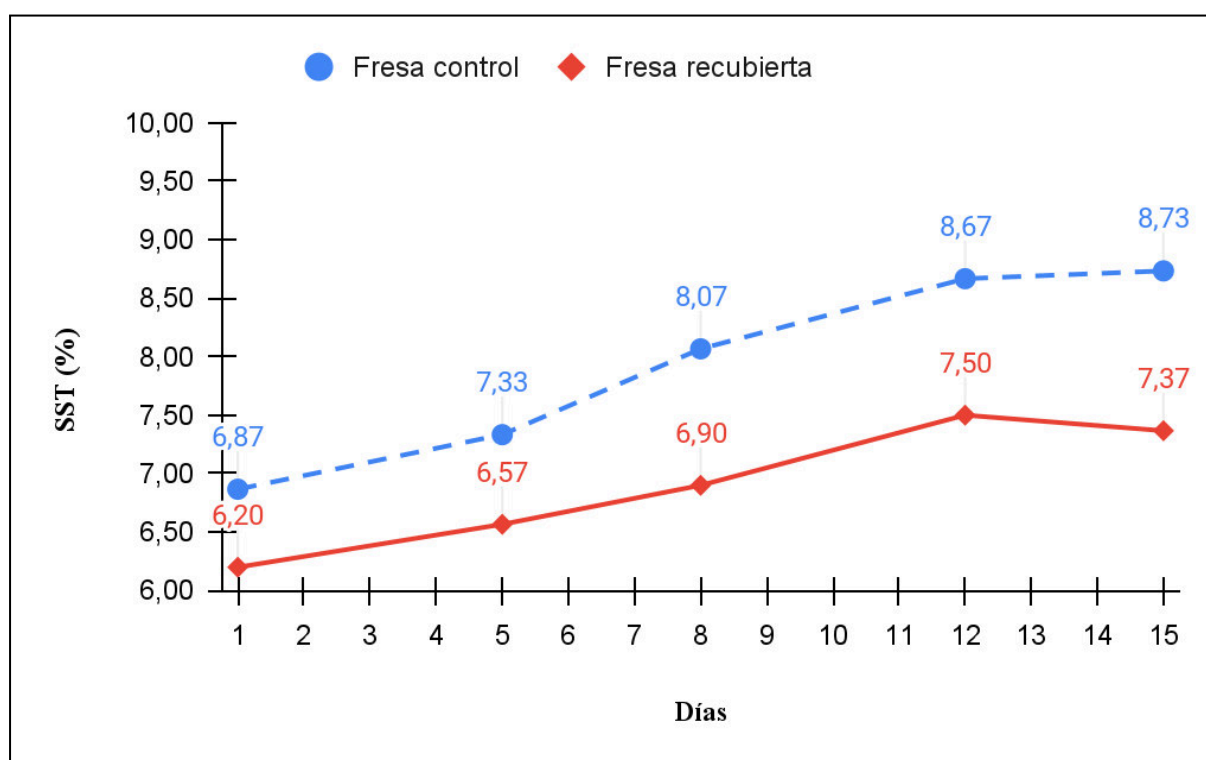
#### **4.6.1.3. Sólidos Solubles Totales (SST)**

Los sólidos solubles totales presentes en las fresas están compuestos principalmente por azúcares y ácidos orgánicos, los cuales tienen un impacto significativo en el sabor (Ali et al., 2022). En la Figura 34 se puede apreciar un comportamiento ascendente en ambos tratamientos a lo largo de los 15 días de almacenamiento. El contenido de SST de las muestras osciló entre 6,87% y 8,73% para la fresa control, mientras que para el grupo con recubrimiento se obtuvo valores entre 6,20% y 7,37%. Este patrón se asemeja a lo observado por Utami et al. (2020), quienes evaluaron el efecto de un recubrimiento comestible a base de alginato de sodio con diferentes concentraciones de aceite esencial de cáscara de mandarina en fresas. Tanto las fresas control como las recubiertas mostraron un aumento en los sólidos solubles totales desde el inicio del almacenamiento en el día 0 hasta el final del día 6. En particular, en las fresas de control, se observó un incremento significativo en los SST (6,63% a 7,8%) en comparación con las fresas recubiertas (de 6,62%-6,78% a 7,23%-7,43%). De Bruno et al. (2023) investigaron el efecto de recubrimientos a base de goma arábica enriquecidos con diferentes concentraciones de extracto de orujo de bergamota (*Citrus bergamia* Risso), aceite esencial de bergamota (0,1% v/v y 0,2 % v /v) y un antioxidante sintético (hidroxitolueno butilado) en la calidad de fresas. Al comienzo del experimento, las fresas exhibieron un contenido de SST de 6.4%, y a medida que transcurrió el almacenamiento, los valores tendieron a aumentar en todas las muestras tratadas, incluido el control, alcanzando un punto máximo a los siete días en todos los casos. Sin embargo, a partir del décimo día de almacenamiento, se observaron disminuciones en el contenido de SST. El incremento inicial seguido de una disminución en los sólidos solubles totales (SST) se explicaría debido a la descomposición de los carbohidratos durante la maduración de la fruta, así como al consumo de estos carbohidratos durante el proceso de respiración. Dado que, durante el proceso de maduración, se produce una acumulación de azúcares que posteriormente disminuye durante la etapa de senescencia. Por otro lado, Shahat et al. (2020) reportaron que al final del período de almacenamiento, se observó una leve reducción en el contenido de SST en todas las muestras evaluadas. En el octavo día, las fresas recubiertas con

la combinación de quitosano y nanopartículas de quitosano al 0,5% y 1% mostraron un aumento constante en su contenido de SST, registrando valores de 6,03% y 5,79%, respectivamente. De manera similar, a los 12 días, el contenido de SST en las muestras tratadas continuaron mostrando un aumento constante, registrando valores de 6,19% y 5,97%. Sin embargo, al final del periodo de almacenamiento (día 16), el contenido de SST disminuyó en las muestras tratadas. En el estudio realizado por Pizato et al. (2022), los °Brix de las fresas presentaron un valor inicial de 7,26% en las muestras control y tratadas con recubrimiento (2% quitosano + 1,5% aceite esencial de clavo), no obstante, luego de 12 días de almacenamiento se evidenciaron valores más bajos de SST en las fresas recubiertas (8,94%) en comparación con las fresas control (9,3%).

**Figura 34**

*Variación de los sólidos solubles totales (%) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



Shahat et al. (2020) señalan que, los niveles totales de sólidos solubles (SST) tienen un papel fundamental en la influencia sobre la calidad de la fruta y en su grado de aceptación por parte de los consumidores. Según Caudillo (2016), los °Brix son indicativos del nivel de madurez de la fruta, y esta relación se vincula con la pérdida de peso y el incremento de

sólidos solubles. Estos sólidos solubles suelen estar compuestos en su mayoría por ácidos orgánicos derivados de los azúcares, lo que conduce a una disminución en el valor de pH.

Utami et al. (2023) afirma que durante el proceso de maduración de la fruta, se produce un aumento en la concentración de azúcares que se debe a la degradación del almidón en azúcares simples, y a medida que esta maduración avanza, los ácidos orgánicos disminuyen, lo que provoca un sabor más dulce. Los azúcares son el principal componente de los sólidos disueltos, lo que vincula el nivel de madurez de la fruta con los sólidos solubles. Los recubrimientos comestibles pueden reducir la tasa de respiración y transpiración, ralentizando el proceso de maduración y prolongando la vida útil al dificultar los procesos metabólicos y los cambios químicos; de esta manera. Esto, a su vez, puede llevar a una menor formación de azúcares, lo que resulta en un menor valor total de sólidos disueltos (Utami et al., 2023).

En la Tabla 21 se presentan los resultados de los sólidos solubles totales (SST) obtenidos mediante los tratamientos investigados. Estos resultados indican de manera concluyente que existe una diferencia significativa notable ( $p < 0,05$ ) en lo que respecta al efecto de los tratamientos en los SST durante el período de almacenamiento. Esto se debe a que el recubrimiento comestible a base de quitosano, almidón y aceite esencial provocó un aumento más reducido en el contenido de SST de las frutas tratadas durante el almacenamiento en comparación con las fresas control. Es decir, según los resultados de SST, se observa que las fresas no sometidas a tratamiento presentaron un nivel de actividad metabólica más elevado en comparación con las fresas recubiertas.

**Tabla 21**

*Variación de los sólidos solubles totales (%) en las fresas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	6,87±0,06 <sup>a</sup>	7,33±0,06 <sup>a</sup>	8,07±0,06 <sup>a</sup>	8,67±0,45 <sup>a</sup>	8,73±0,21 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	6,20±0,06 <sup>b</sup>	6,57±0,06 <sup>b</sup>	6,90±0,1 <sup>b</sup>	7,50±0,1 <sup>b</sup>	7,37±0,06 <sup>b</sup>

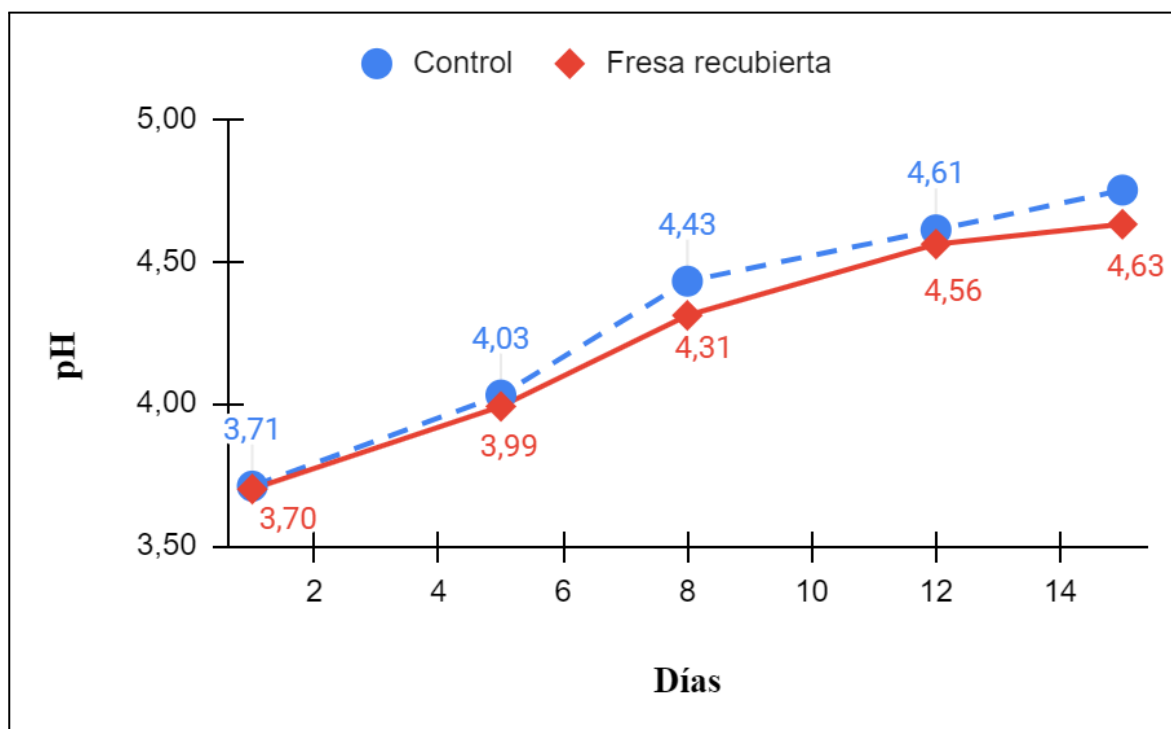
*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

#### 4.6.1.4. pH

Como se observa en la figura 35, el pH aumentó en ambas muestras durante los 15 días de almacenamiento a 4°C con un rango de 3,71 a 4,75 y 3,70 a 4,63 para la fresa control y fresa recubierta respectivamente. Similar resultado fueron encontrados por González et al. (2022), donde la menor variación de pH fue logrado en las fresas recubiertas con la proporción 100 PN (goma gelana de bajo acilo) / 0,0EA (extracto de arándano), debido a una posible disminución de las actividades metabólicas de la fruta causado por la reducción del oxígeno disponible, el cual es originado a su vez por las propiedades barrera del recubrimiento comestible que evitan el intercambio gaseoso entre el medio ambiente y la matriz alimentaria, obteniendo un valor de 3,68 a 4,29 para la fresa recubierta y 3,70 a 4,74 para el control. Asimismo Vélez (2015), evidenció un ligero incremento del pH en los tratamientos durante los 15 días de almacenamiento, registrándose en menor escala en la fresa recubierta a base de gelatina y ácido cítrico, con un valor de 3,31 a 4,66. Guizado y Limachi (2022), también encontraron un aumento de pH en fresas control de 3,32 a 4,32, y para la fresa recubierta a base de almidón de Uncucha se reportó un incremento de 3,40 a 4,02.

**Figura 35**

*Variación del pH con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*





De acuerdo con Moncayo (2018), el pH es importante desde el punto de vista sensorial de las frutas, ya que cuando éste aumenta, la percepción de dulzor también lo hace. Ferrer (2010) menciona que el pH es un parámetro que experimenta cambios mínimos durante el período posterior a la cosecha de las fresas, ya que varios estudios indican que hay escasas o nulas alteraciones a lo largo del tiempo, incluso cuando se modifican factores externos como la temperatura o se aumenta la concentración de CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, según Rojas (2022), el pH de un fruto varía en función de la cantidad de ácidos orgánicos presentes en el mismo, los cuales tienden a reducirse a medida que el fruto madura, ya que son utilizados durante el proceso de respiración o cuando se transforman en azúcares. Khodaei et al. (2021), manifiesta que el incremento en el pH del fruto sin recubrir podría ser el resultado de las actividades enzimáticas y la senescencia de la fruta, que eventualmente termina en una reducción del nivel de acidez. De igual manera Torres (2017), señala que el pH condiciona la actividad de un número de enzimas responsables de sucesos importantes en la fresa como el ablandamiento, el control, entre otros, que se encuentran asociados a la maduración

En la Tabla 22 se muestra que con un nivel de confianza del 95% existe una clara diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras en los días 8, 12 y 15, encontrándose menor valor de pH estadísticamente en la fresa recubierta a partir del día 8, lo que puede estar asociado a la reducción de las actividades bioquímicas, manteniendo así el nivel de los ácidos orgánicos.

**Tabla 22**

*Variación del pH en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	3,71 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,03 ± 0,06 <sup>a</sup>	4,43 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,61 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,75 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	3,70 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,99 ± 0,06 <sup>a</sup>	4,31 ± 0,01 <sup>b</sup>	4,56 ± 0,01 <sup>b</sup>	4,63 ± 0,01 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

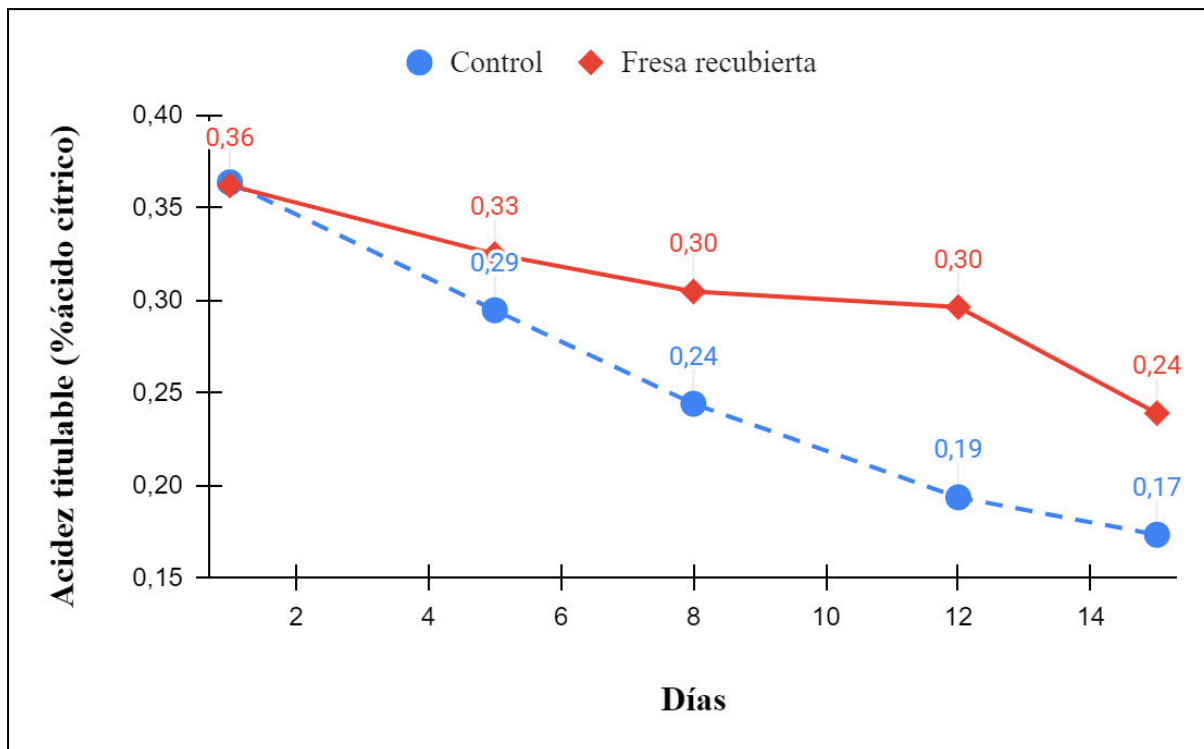
Similar resultado fue reportado en el estudio de Qamar et al. (2018), donde en los primeros 4 días no se observó diferencias significativas entre los tratamientos, pero a partir del día 8, las fresas recubiertas con gel de aloe vera mostraron un cambio significativamente menor (1%) en comparación con el control, debido a que el recubrimiento crea una superficie permeable en la piel de la fruta y logra mejorar la atmósfera interna. Asimismo Robayo (2018), en su investigación muestra estadísticamente una mayor disminución de pH en las fresas control en comparación con las fresas recubiertas con 70% mucílago de chía, 20% aceite esencial de naranja y 10% solución de agua:gelatina, durante 12 días de almacenamiento, lo que demuestra que las fresas recubiertas incrementa gradualmente el pH, y éstas con un pH bajo (condiciones ácidas) detienen el desarrollo microbiano.

#### **4.6.1.5. Acidez titulable**

En la figura 36 se presentan los valores de acidez titulable expresados en % de ácido cítrico durante los 15 días de almacenamiento a 4°C de las fresas control y fresas recubiertas. Se observa que al transcurrir los días la acidez titulable disminuye, siendo más evidente en las fresas control; puesto que en el día 1 ambas muestras presentaron 0,36% ácido cítrico, sin embargo, al día 15 la fresa control presentó 0,17% ácido cítrico y la fresa recubierta 0,24% ácido cítrico. El comportamiento descendente concuerda con lo reportado por Madera et al. (2019), quienes obtuvieron un rango de 0,27% a 0,12% ácido cítrico y 0,25% a 0,20% ácido cítrico, para la fresa control y fresa recubierta con quitosano al 2% respectivamente, y mencionan que la menor variación de acidez en la fresa recubierta, se debe a que se ralentiza la frecuencia respiratoria retrasando la utilización de los ácidos orgánicos en las reacciones enzimáticas, lo que conduce a la retención de acidez titulable. Asimismo Ibrahim et al. (2017) encontraron que la acidez total disminuyó al aumentar el período de almacenamiento, donde las fresas control durante los 3 primeros días tuvieron una rápida disminución del 0,35% al 0,29% ácido cítrico en comparación con la fresa recubierta con quitosano + aceite esencial de limón, la cual retuvo más acidez, donde al final de los 15 días de evaluación disminuyó de 0,38% a 0,29% ácido cítrico. De igual forma Aitboulahsen et al. (2018), reportaron que el recubrimiento a base de gelatina y aceite esencial de menta, redujo considerablemente la disminución de acidez titulable (0,53% a 0,37% ácido cítrico) después de 13 días de almacenamiento en comparación con el control (0,57% a 0,27% ácido cítrico).

**Figura 36**

*Variación de la acidez titulable (%ácido cítrico) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



La acidez titulable estima el contenido de ácidos orgánicos de las frutas carnosas, y en las fresas, los principales ácidos orgánicos son el ácido cítrico y el ácido málico. Este rasgo es un componente importante de la calidad organoléptica del fruto y es diferente en cada cultivar (Petriccione et al., 2015). De igual modo, Escalante (2015) manifiesta que el ácido cítrico es el más abundante de la fresa, razón por la que los resultados de acidez titulable se expresan en cantidad de ácido cítrico, además, es necesaria para conocer la evolución del grado de madurez en las fresas, parámetro resultante de la relación entre la cantidad de sólidos solubles presentes respecto al contenido de acidez.

La reducción de la acidez titulable de la fruta durante el almacenamiento se debe principalmente al uso de ácidos orgánicos para la respiración, por lo tanto, los frutos con mayor respiración tienden a tener menor acidez titulable que aquellos con menor actividad respiratoria. Farida et al. (2023) menciona que la fina capa de un recubrimiento comestible en la superficie de la fruta reduce la capacidad para fijar  $O_2$ , lo que conlleva a la disminución de la respiración. Asimismo, según Cebo et al. (2018) los recubrimientos crean una capa

protectora sobre el fruto que retiene compuestos volátiles y retarda su proceso de senescencia, estabilizando los ácidos orgánicos por más tiempo.

En la Tabla 23 se muestra que con un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras en todos los días de evaluación, excepto en el día 1, por lo cual se concluye que difieren entre sí estadísticamente a partir del día 5, donde la menor variación de acidez (%ácido cítrico) lo obtiene la fresa recubierta con quitosano - almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja, debido a que disminuyen la respiración.

**Tabla 23**

*Variación de la acidez titulable (% ácido cítrico) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	0,36 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,19 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,17 ± 0,00 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	0,36 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,33 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,30 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,30 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,24 ± 0,00 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

De igual manera, este efecto fue encontrado en la literatura de De Bruno et al. (2023), quienes explicaron que la mayor pérdida de acidez en frutos no recubiertos se debe a su alta tasa de respiración durante el almacenamiento, lo que afecta la actividad respiratoria de los ácidos orgánicos (ciclo de Krebs). Por otra parte, de acuerdo con Petriccione et al. (2015), el quitosano desempeña un papel importante en el retraso de la maduración de la fruta durante el almacenamiento en frío, lo que conlleva a que frutas recubiertas con quitosano muestren una menor pérdida de acidez, lo que coincide con otros estudios en duraznos y guayabas.

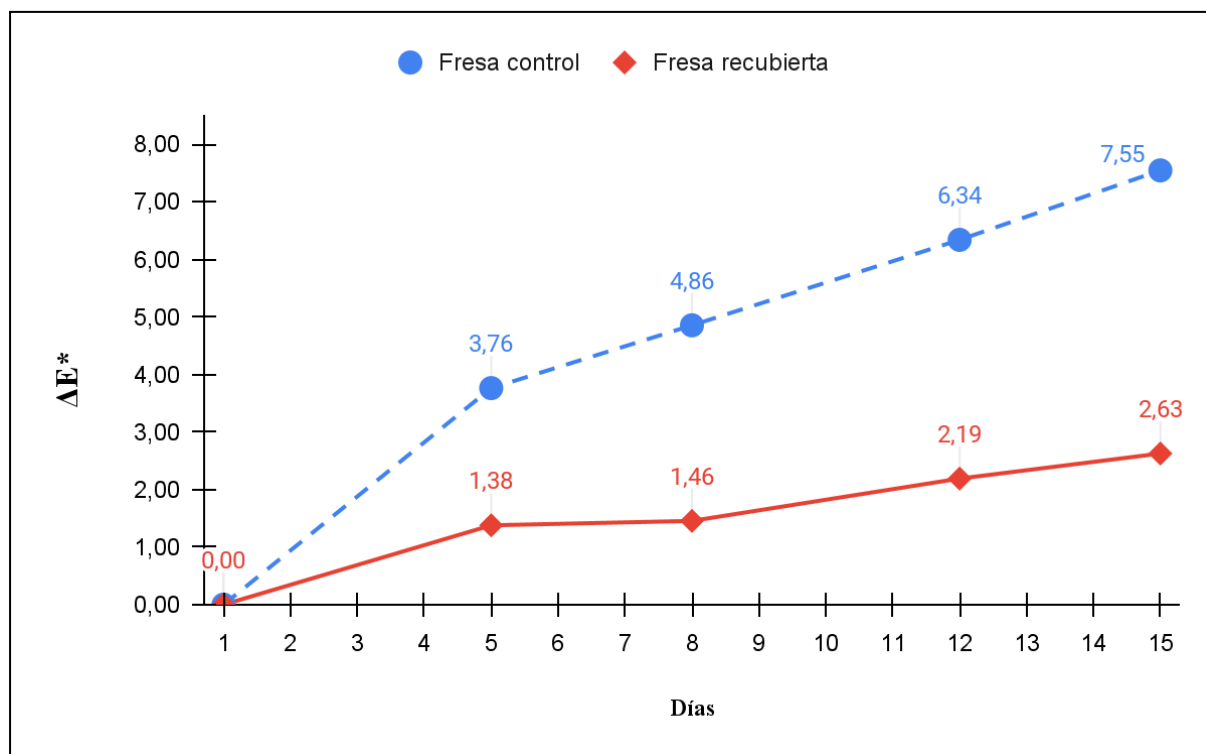
#### **4.6.1.6. Determinación de color**

El color de las fresas desempeña un papel significativo en la decisión de los consumidores de aceptar o rechazar la fruta (Khodaei et al., 2021). En la Figura 37 se puede detectar que al final del período de almacenamiento se obtuvo una mayor variación de color

con un valor de 7,55 en el grupo control con respecto al primer día de evaluación, mientras que para el grupo con recubrimiento se mostró una variación mínima de 2,63. Estos hallazgos están en línea con lo informado por Gil et al. (2018) donde se observó un cambio de color significativo ( $\Delta E > 5$ ) en las muestras de control con un valor de 6,39 en comparación con las muestras recubiertas con quitosano y glicerina que mostraron una variación de 2,41 luego de 12 días de almacenamiento. Los autores señalan que este fenómeno se debe a que los recubrimientos comestibles actúan como una barrera selectiva que evita la exposición de la fruta al oxígeno ambiental, lo que a su vez previene posibles reacciones de oxidación. En contraste, en las frutas de control, el oscurecimiento de la piel (evidenciado por un  $\Delta E^*$  mayor) aumentó gradualmente, posiblemente debido a la degradación del ácido ascórbico a lo largo del tiempo, lo que favorece las reacciones enzimáticas de oscurecimiento. Zambrano et al. (2020) reportaron que las fresas que se sometieron a un recubrimiento con nanopartículas lipídicas sólidas de cera de abejas mostraron alteraciones leves de color en la superficie de las fresas, ya que el valor  $\Delta E$  fue menor de 5 hasta el día 12 de almacenamiento, similar al presente estudio. González-Cuello et al. (2022) registraron un cambio significativo en el color de las fresas de control (sin recubrimiento) en el período de almacenamiento, en comparación con las fresas recubiertas, con un valor de  $p < 0,05$ . Al llegar al último día de almacenamiento (día 15) se obtuvieron los valores más elevados de cambio en el color ( $\Delta E$ ), alcanzando un valor de 17,7 para las fresas de control. En cuanto a las fresas recubiertas, al final del período de almacenamiento, los valores oscilaron entre 13,04 y 7,45.

**Figura 37**

*Variación del color ( $\Delta E^*$ ) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



Zambrano (2022) resalta que los recubrimientos comestibles fabricados con polisacáridos son efectivos como una barrera contra los gases, lo cual ayuda a retardar el proceso de ennegrecimiento o oscurecimiento. Además, la disminución en la claridad está directamente relacionada con la pérdida de agua y la reducción de peso durante el almacenamiento. Utami et al. (2023) señalan que el oscurecimiento de las fresas se origina por una reacción enzimática conocida como pardeamiento. Esta reacción enzimática de pardeamiento se desencadena por la interacción entre la enzima polifenol oxidasa, el oxígeno y el sustrato fenólico presente en la fruta, lo que da como resultado la formación de un polímero de tono marrón. Es así que una capa de recubrimiento comestible aplicada en la superficie de las fresas es eficaz para preservar el color rojo vivo característico de la fruta, al prevenir tanto la oxidación como las reacciones enzimáticas que resultan en el oscurecimiento.

Los cálculos de la variabilidad del color ( $\Delta E^*$ ) para las fresas con recubrimiento y las fresas control durante su almacenamiento se registraron en la Tabla 24, en el cual se demuestra con un nivel de confianza del 95%, la presencia de una marcada y significativa

diferencia entre los tratamientos ( $p < 0,05$ ), destacándose que el tratamiento con recubrimiento proporcionó los mejores resultados, ya que provocó cambios mínimos en el color de las fresas.

**Tabla 24**

*Variación de color ( $\Delta E^*$ ) en las fresas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
Fresa control	0 <sup>a</sup>	3,76±0,73 <sup>a</sup>	4,86±0,38 <sup>a</sup>	6,34±0,82 <sup>a</sup>	7,55±0,33 <sup>a</sup>
Fresa recubierta	0 <sup>a</sup>	1,38±0,32 <sup>b</sup>	1,46±0,39 <sup>b</sup>	2,19±0,78 <sup>b</sup>	2,63±0,69 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias  $\pm$  desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

González-Cuello et al. (2022) sugieren que este fenómeno podría ser atribuible a la presencia de antocianinas en el recubrimiento comestible. Dado que las antocianinas son los pigmentos responsables del tono rojo en las fresas, la barrera física proporcionada por los recubrimientos podría ralentizar el proceso de respiración de la fruta, lo que a su vez podría reducir la producción de antocianinas y la degradación de la clorofila durante su maduración. Además, investigaciones anteriores han señalado que la degradación de antocianinas es más acelerada en condiciones con elevado contenido de CO<sub>2</sub>, las cuales podrían encontrarse en las fresas de control. Esto se debe a que carecen de una barrera física que pueda retrasar o disminuir la tasa de respiración, así como el contenido de vitamina C (% ácido ascórbico).

De acuerdo con Hernandez et al. (2021) la barrera física creada por los recubrimientos comestibles podría retardar el proceso de respiración de las frutas, lo que a su vez limitaría la producción de antocianinas y el deterioro de la clorofila durante el proceso de maduración.

#### 4.6.2. Compuestos bioactivos

##### 4.6.2.1. Determinación de vitamina C (% ácido ascórbico)

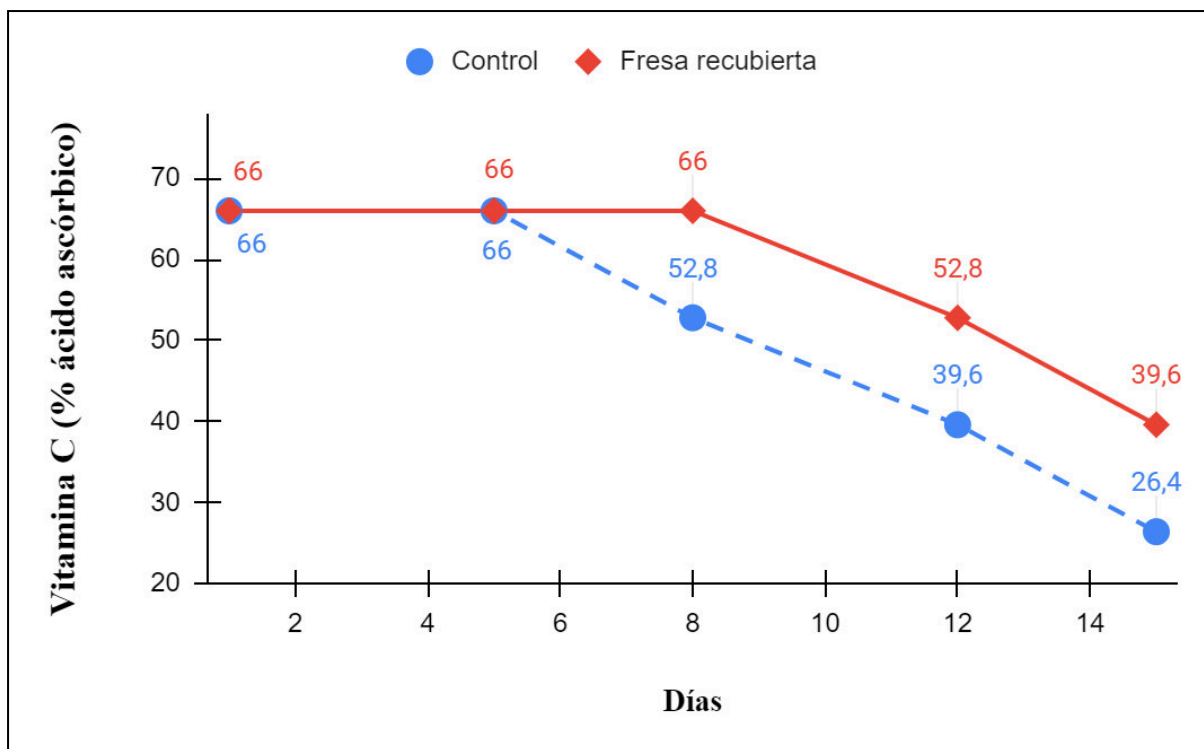
En la figura 38, se muestra que la vitamina C es constante hasta el día 5 y hasta el día 8, en la fresa control y fresa recubierta respectivamente, observándose luego una disminución, siendo la fresa control la que presentó mayor variación en los últimos días, con un rango de 66 a 26,4 % ácido ascórbico, mientras que la fresa recubierta presentó un rango de 66 a 39,6

% ácido ascórbico. De igual manera se reportó en el estudio de Khodaei et al. (2021), donde el contenido inicial de ácido ascórbico de las fresas osciló entre 47,13 y 54,25 mg/100 g, la cual se redujo durante el experimento, observándose una mayor disminución en la muestra control, en comparación a las fresas recubiertas con almidón, esto debido a que los recubrimientos comestibles contribuyen a retener el ácido ascórbico al reducir la difusión de oxígeno y desacelerar la tasa de respiración durante el almacenamiento. De Bruno et al. (2023) informaron una tendencia similar, donde la fresa recubierta con extracto antioxidante y aceite esencial de bergamota, presentó un retraso en el deterioro de vitamina C a lo largo del tiempo, en comparación con un control, lo que podría deberse a una maduración continua en la fresa sin recubrir. Asimismo Farida et al. (2023), encontraron que la aplicación de 1% de quitosano y 25% de aloe vera como recubrimiento comestible, afectó significativamente el contenido de vitamina C de la fresa a los 8 días, ya que las frutas sin recubrir tenían el menor contenido con un valor promedio de 47,54 mg/100 g, por el contrario, las frutas recubiertas tuvieron un valor de 60,22 mg/100g, demostrando que el quitosano puede conservar el contenido de ácido ascórbico, ya que funciona como una superficie permeable y restringe el intercambio de gases.



**Figura 38**

*Variación de la Vitamina C (% ácido ascórbico) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.*



De acuerdo con Suriati y Suardani (2020), la vitamina C es uno de los nutrientes que actúa como antioxidante y aborda eficazmente los radicales libres que pueden dañar las células o los tejidos, siendo una de las más necesarias para el cuerpo y puede utilizarse como fuente de la misma. Es uno de los principales componentes de las fresas y su contenido es un indicador de calidad relevante para definir la frescura de las frutas, donde el nivel está fuertemente influenciado por sus variedades y niveles de madurez. Los niveles de vitamina C de la fresa aumentarán hasta que el fruto esté maduro, y disminuirán cuando se haya superado el nivel de madurez.

Muchos autores han informado que la disminución del ácido ascórbico durante el almacenamiento es causada por su oxidación y la tasa de respiración del fruto (De Bruno et al., 2023). Según Kahramanoğlu et al. (2022), al igual que con otros parámetros de calidad, tanto el recubrimiento comestible como los recubrimientos comestibles enriquecidos con aceite esencial contribuyen a la preservación del contenido de ácido ascórbico de las frutas.

En la Tabla 25 se muestra que con un nivel de confianza del 95%, existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras en los días 8, 12 y 15 de evaluación, por lo cual se concluye que difieren entre sí estadísticamente a partir del día 8, encontrándose mayor contenido de vitamina C (%ácido ascórbico) en la fresa recubierta con quitosano - almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja, esto debido a que el recubrimiento comestible actúa sobre la superficie de la fruta como una barrera, para que no entre en contacto con el oxígeno y así evite el proceso de oxidación del ácido ascórbico.

**Tabla 25**

*Variación de la Vitamina C (% ácido ascórbico) en las fresas control y recubiertas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	66 ± 0,00 <sup>a</sup>	66 ± 0,00 <sup>a</sup>	52,80 ± 0,00 <sup>a</sup>	39,60 ± 0,00 <sup>a</sup>	26,40 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	66 ± 0,00 <sup>a</sup>	66 ± 0,00 <sup>a</sup>	66 ± 0,00 <sup>a</sup>	52,80 ± 0,00 <sup>b</sup>	39,60 ± 0,00 <sup>b</sup>

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

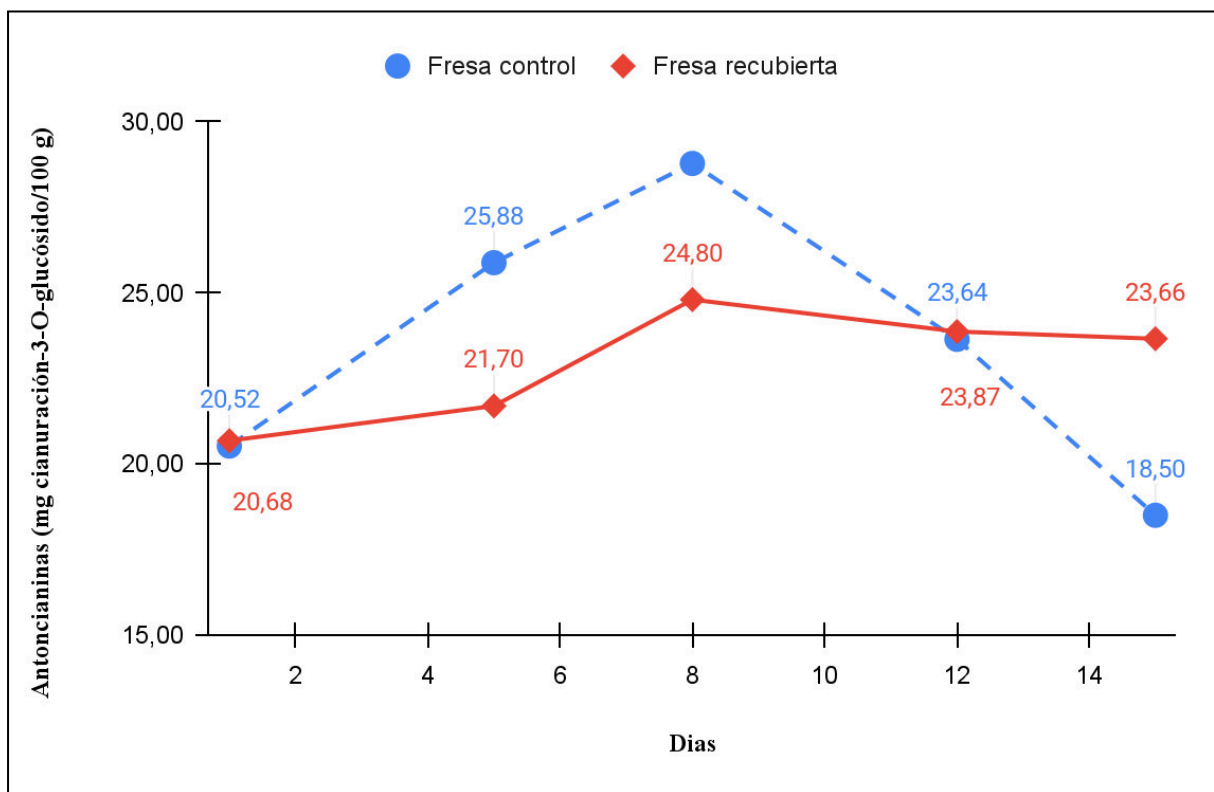
#### 4.6.2.2. Contenido de antocianinas totales

En la Figura 39, se observa que en ambos grupos el contenido de antocianinas inicial en los frutos de fresa fue 20,52 y 20,68 mg por cada 100 g para las muestras control y las muestras recubiertas, respectivamente. Estos valores aumentaron gradualmente hasta el día 8 y luego disminuyeron hasta el término del período de almacenamiento, donde el contenido de antocianinas obtenido fue menor para las fresas control (18,50 mg por cada 100 g) en comparación con las fresas recubiertas (23,66 mg por cada 100 g). De manera similar, De Bruno et al. (2023) reportaron que se mostró un incremento en el contenido de antocianinas de fresas con recubrimiento a base de goma arábiga con extracto de orujo de bergamota (*Citrus bergamia* Risso) y aceite esencial de bergamota después de 7 días de almacenamiento, alcanzando 33,74 mg por cada 100 g para la fresa control y de 18,09 - 26,90 mg por cada 100 g para las fresas con recubrimientos. Posteriormente experimentaron una

disminución más rápida en los días siguientes presentando valores de 17,52 mg por cada 100 g para el control y 18,44 - 24,85 mg por cada 100 g para las fresas recubiertas. Estos datos subrayan que la utilización de recubrimientos comestibles en las fresas ayuda a conservar los niveles de antocianinas. Shahat et al. (2020) indicaron que se observó un aumento gradual en el contenido de antocianinas. En el cuarto día, se registró el mayor contenido de antocianinas de 44,68 para el control, luego del cual disminuyó. Las muestras recubiertas con quitosano (0,5 y 1%) y nanopartículas de quitosano (0,5 y 1%) continuaron aumentando hasta alcanzar un máximo contenido de 43,80 - 49,35 mg/100g al octavo o doceavo día, luego del cual experimentaron una disminución. En el estudio realizado por Khodaei et al. (2021) se evidenció una disminución en el contenido total de antocianinas durante el periodo de almacenamiento, destacando que, al día 16, las fresas recubiertas exhibieron una cantidad significativamente superior de contenido total de antocianinas en contraste con la muestra sin recubrimiento.

### Figura 39

*Variación del contenido de antocianinas (mg cianuración-3-O-glucósido/100 g) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



Las antocianinas, junto con los compuestos fenólicos, son los encargados de la coloración característica de las frutas. En las fresas, contribuyen a tonalidades que van desde el rosa hasta el rojo escarlata y se localizan principalmente en la capa externa de la fruta, conocida como la dermis; no obstante, son sensibles a la radiación ultravioleta, temperaturas elevadas, la presencia de oxígeno y los cambios en el nivel de pH (Caudillo, 2016). La cantidad total de antocianinas en las fresas es crucial para su aspecto y refleja su grado de madurez. Por lo tanto, la disminución de antocianinas durante el almacenamiento podría ser causada por el proceso de envejecimiento y una interrupción en la producción de antocianinas (Khodaei et al., 2021). Por otro lado, el aumento en los niveles de antocianina podría atribuirse a un proceso inherente durante la maduración de la fruta, junto con el impacto de una pérdida de peso considerable que podría favorecer la concentración de pigmentos (Shahat et al., 2020). De acuerdo con Tumbarski et al. (2019) los recubrimientos actúan como una barrera frente a los gases y alteran la atmósfera interna de la fruta, retrasando de esta manera las reacciones bioquímicas que llevan a la síntesis de antocianinas.

En la Tabla 26 se muestran los resultados del contenido de antocianinas totales para ambos grupos. Se observa que al inicio del almacenamiento, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras sin recubrimiento y las muestras recubiertas. No obstante, estas diferencias se volvieron significativas ( $p < 0,05$ ) a medida que transcurrieron los días de almacenamiento.

**Tabla 26**

*Variación de contenido de antocianinas totales (mg cianuración-3-O-glucósido/100 g) en las fresas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	20,52 ±0,06 <sup>a</sup>	25,88 ±0,06 <sup>a</sup>	28,78 ±0,08 <sup>a</sup>	23,64 ±0,06 <sup>a</sup>	18,50 ±0,07 <sup>a</sup>
<b>Fresa recubierta</b>	20,68 ±0,09 <sup>a</sup>	21,70 ±0,06 <sup>b</sup>	24,80 ±0,02 <sup>b</sup>	23,87 ±0,07 <sup>a</sup>	23,66 ±0,02 <sup>b</sup>

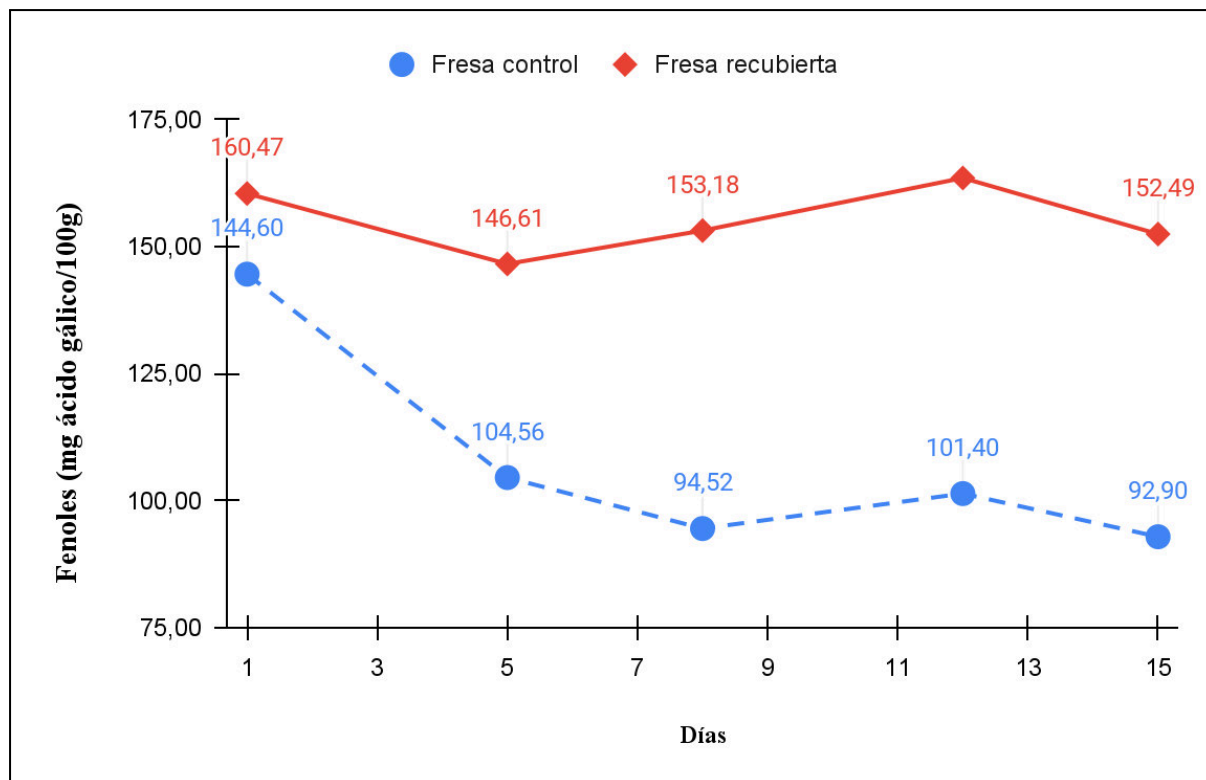
*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

#### **4.6.2.3. Contenido de compuestos fenólicos totales**

La Figura 40 evidencia que en ambos tratamientos se produjo una disminución en la cantidad total de fenoles en la fresa al final del tiempo de almacenamiento. No obstante, es importante destacar que las fresas recubiertas mostraron una cantidad significativamente mayor de fenoles totales en comparación con las muestras de control. Estos resultados coinciden con lo reportado por Khodaei et al. (2021) quienes notaron que las muestras de fresas tratadas con diferentes formulaciones de recubrimientos produjeron un efecto positivo en la preservación de los compuestos fenólicos en comparación con las muestras de control que exhibieron la cantidad más baja de contenido fenólico total después de 16 días de análisis de vida útil. Así mismo, Tumbariski et al. (2019), igualmente reportaron una reducción gradual de los polifenoles totales tanto en las fresas de control como en las fresas con un recubrimiento de carboximetilcelulosa enriquecido con una bacteriocina. Quintana et al. (2020) reportaron que, en el día 10 y en todas las muestras (con o sin recubrimiento) los niveles de fenoles totales disminuyeron después del período de almacenamiento en frío. Sin embargo, se observó que el tipo de recubrimiento tuvo un impacto notable en la disminución de los niveles de fenoles, donde las muestras sin recubrimiento experimentaron la mayor pérdida de fenoles frente a las muestras recubiertas con quitosano y con quitosano + extracto de regaliz, concluyendo que el extracto tuvo un efecto significativo en la preservación de los compuestos fenólicos en las muestras. Por otro lado, De Bruno et al. (2023) señalan que el incremento en los niveles de fenoles totales en las muestras de fresa durante el periodo de almacenamiento posterior a la cosecha, implica una respuesta directa al proceso de maduración de la fruta y está en función de diversos factores que pueden afectar su producción y disponibilidad.

**Figura 40**

*Variación del contenido de fenoles totales (mg ácido gálico/100 g) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa*



De acuerdo con De Bruno et al. (2023), los niveles más elevados de compuestos fenólicos en comparación con el grupo de control podría ser resultado de la película protectora generada por los recubrimientos en las superficies de las fresas, la cual disminuye la actividad enzimática y, en consecuencia, la pérdida de calidad debida a la oxidación de los fitoquímicos. Khodaei et al. (2021) afirman que la reducción en la cantidad de compuestos fenólicos en la fruta puede atribuirse a la descomposición de la estructura celular durante el proceso de senescencia, mientras que los recubrimientos comestibles, al resguardar la fruta, crean una barrera que limita la exposición al oxígeno y la humedad, lo que evita la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos. También se ha sugerido que la introducción de aceites esenciales interactúa con el tejido de la fruta y con la atmósfera interna, creando así un ambiente propicio para la prevención de reacciones bioquímicas y la eliminación de radicales hidroxilo (Popescu et al., 2022).

En la Tabla 27 se muestra que, con un nivel de confianza del 95%, se presenta una marcada diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras durante todos los días de evaluación, encontrándose el mayor contenido de fenoles totales en la fresa recubierta.

**Tabla 27**

*Variación de contenido de fenoles totales (mg ácido gálico/100 g) en las fresas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	144,60 $\pm 0,90^a$	104,56 $\pm 0,59^a$	94,52 $\pm 0,38^a$	101,40 $\pm 0,17^a$	92,90 $\pm 0,36^a$
<b>Fresa recubierta</b>	160,47 $\pm 0,73^b$	146,61 $\pm 0,24^b$	153,18 $\pm 0,62^b$	163,53 $\pm 0,68^b$	152,49 $\pm 0,59^b$

*Nota.* Los valores son medias  $\pm$  desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

#### 4.6.3. Análisis microbiológico

##### 4.6.3.1. Mohos y levaduras

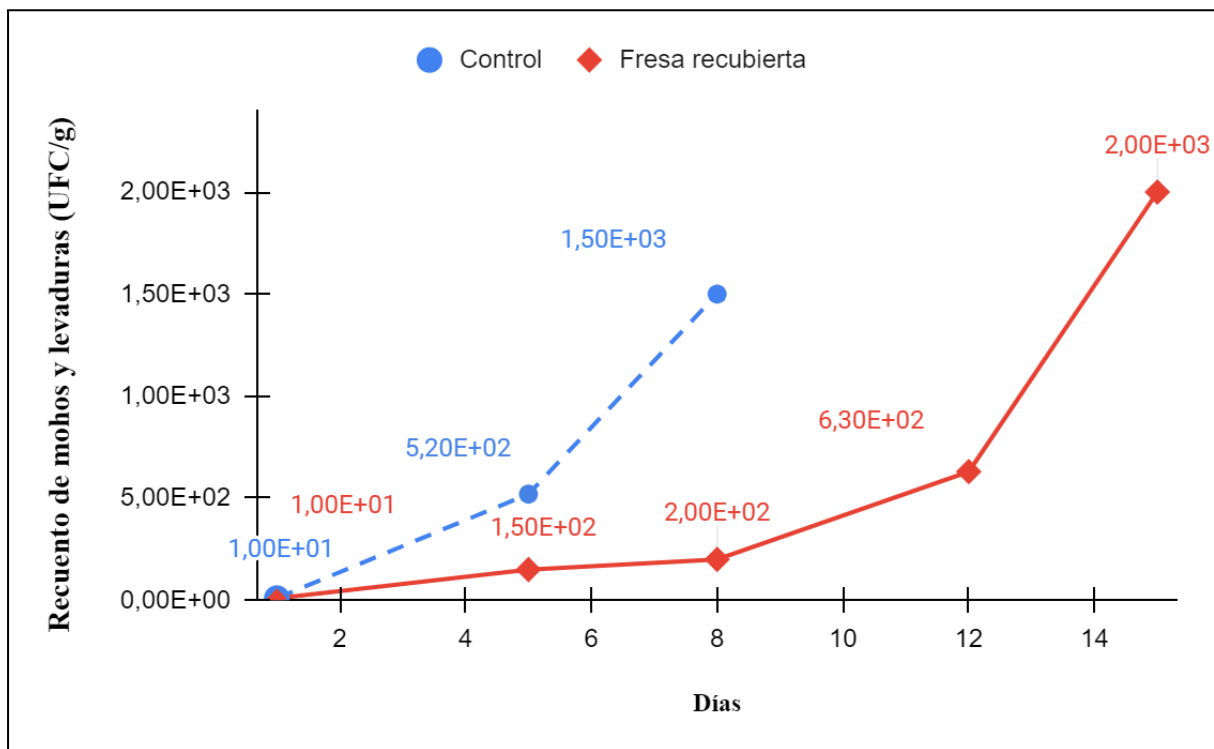
En la figura 41 se presentan los resultados microbiológicos expresado en UFC/gr tanto de la fresa control y la fresa recubierta durante los 15 días de almacenamiento; sin embargo el recuento de mohos y levaduras para la fresa control no se realizó completamente para el tiempo de estudio establecido, debido a que el fruto evidenció deterioro microbiológico en su superficie a partir del día 12, tal como se aprecia en el Anexo 36, por lo cual ya no se continuó con el análisis microbiológico en la muestra control.

Al transcurrir los días de almacenamientos el recuento total de mohos y levaduras aumentó, siendo más notorio en la fresa control, que registra un aumento de  $< 1 \times 10^1$  a  $1,5 \times 10^3$  UFC/g hasta el día 8, mientras que la fresa recubierta de  $< 1 \times 10^1$  a  $2 \times 10^3$  UFC/g hasta el día 15. Dichos resultados concuerdan con lo expresado por Caudillo (2016), quien encontró en el día 8 capas vellosas de color blanquizco (hongo) en la superficie de la fresa control, la cual presentó  $5,1 \times 10^2$  UFC/g y  $1,6 \times 10^3$  UFC/g en el día 3 y 7 respectivamente, por el contrario, la fresa recubierta con almidón de plátano verde y aceite esencial de orégano

presentó hasta el día 18 de evaluación un rango de  $3,8 \times 10^2$  UFC/g a  $1,8 \times 10^3$  UFC, comprobando la efectividad del aceite esencial de orégano como inhibidor microbiano. De igual manera en la investigación de Palacios (2022), se reportó que el recuento de las fresas recubiertas y control aumentó con el tiempo, siendo las fresas recubiertas con almidón, glicerol y extracto de cabuya azul las que presentaron valores más bajos, cuyo rango fue de  $2,1 \times 10^3$  a  $3,9 \times 10^4$  ufc/g y de  $5,9 \times 10^3$  a  $4 \times 10^6$  ufc/g, para las fresas recubiertas y control respectivamente.

**Figura 41**

*Variación del recuento total de mohos y levaduras (UFC/gr) con respecto a los días de almacenamiento de la fresa.*



De acuerdo con Pinzón et al. (2020) uno de los factores más importantes que afectan la vida útil de las fresas es su alta susceptibilidad al daño tisular y a la infección por varios tipos de hongos fitopatógenos, como *Botrytis cinerea*, *Rhizopus stolonifer* y *Penicillium spp.*, entre otros. La mayoría de las veces, las enfermedades poscosecha son el resultado de infecciones latentes que se iniciaron durante el cultivo o la cosecha, por ello controlar la descomposición fúngica es uno de los principales objetivos de la aplicación de recubrimientos



comestibles en fresas. Además, según De Bruno et al. (2023), la composición de la fresa, los convierte en un sustrato favorable para el crecimiento y desarrollo de mohos y levaduras.

En la Tabla 28 se muestra que con un nivel de confianza del 95%, existe una clara diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) en ambas muestras en todos los días de evaluación, excepto en el día 1, evidenciándose que la aplicación del recubrimiento a base de quitosano - almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja, a partir del día 5, afectó significativamente y brindó mejores resultados, debido a que el recubrimiento logró disminuir el crecimiento fúngico durante el almacenamiento, lo que ayudaría a alcanzar un mayor tiempo de vida del fruto, esto puede ser explicado por el hecho de que los recubrimientos comestibles son estructuras que no solo son capaces de transportar compuestos bioactivos en su matriz polimérica, sino también sustancias con propiedades antimicrobianas que coadyuvan en la estabilidad y control de crecimiento microbiano en el alimento. (Caudillo, 2016).

**Tabla 28**

*Variación del recuento total de hongos y levaduras (UFC/g) en las fresas control y fresas recubiertas durante 15 días a 4°C*

Tratamientos	Días				
	1	5	8	12	15
<b>Fresa control</b>	$< 1 \times 10^1 \pm 0,00^a$	$5,2 \times 10^2 \pm 0,05^a$	$1,5 \times 10^3 \pm 0,05^a$	-	-
<b>Fresa recubierta</b>	$< 1 \times 10^1 \pm 0,00^a$	$1,5 \times 10^2 \pm 0,07^b$	$2 \times 10^2 \pm 0,01^b$	$6,3 \times 10^2 \pm 0,08$	$2 \times 10^3 \pm 0,10$

*Nota.* Los valores son medias  $\pm$  desviaciones estándar y la presencia de diferentes letras en el superíndice del lado derecho de los valores medios indican diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada período de tiempo.

Para Pinzón et al. (2020), la actividad antifúngica del quitosano contra varios de los patógenos comunes de las fresas es bien conocida, y varios autores han informado que los recubrimientos a base de quitosano pueden reducir la descomposición fúngica de las fresas y otras frutas durante el almacenamiento. Se han descrito dos tipos de mecanismos antifúngicos, el primero implica la activación de quitinasas que conducen a la hidrólisis de la

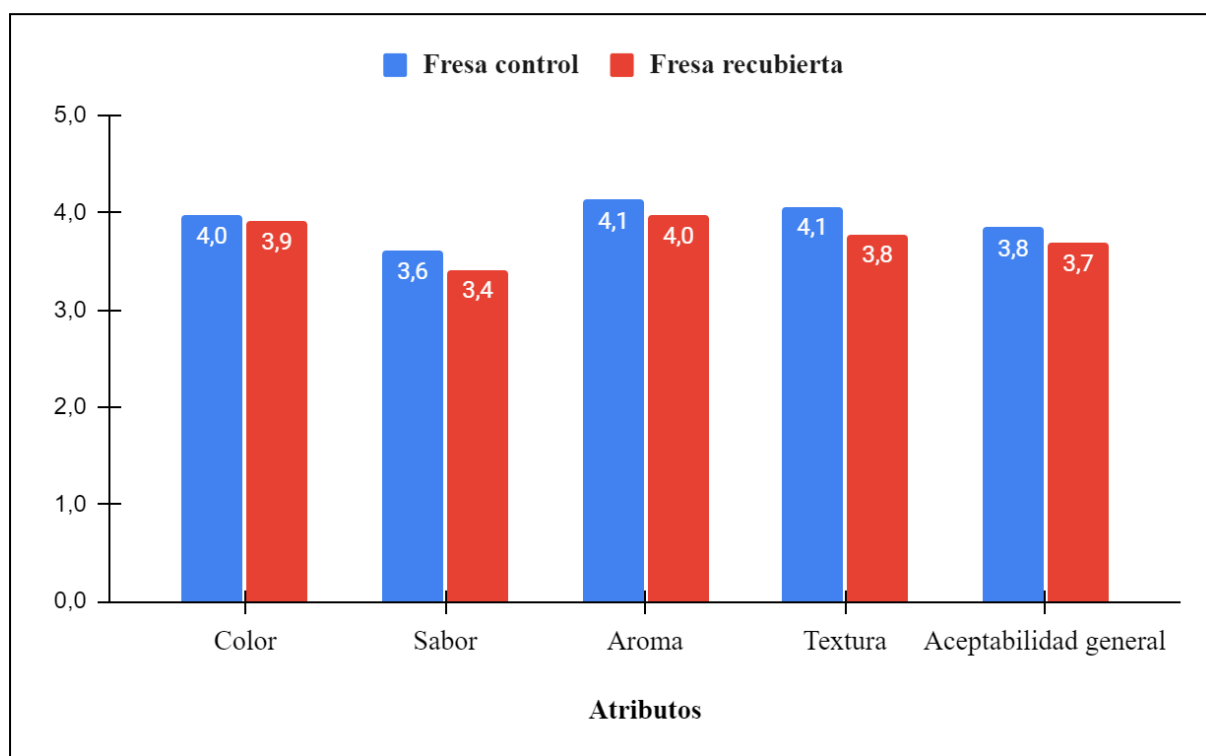
quitina, previniendo así el crecimiento de hongos, el segundo se basa en su capacidad de provocar daños celulares a los mohos.

#### 4.7. Evaluación sensorial

La figura 42 muestra los resultados obtenidos de la evaluación sensorial que incluyen el color, sabor, aroma, textura y aceptabilidad general, de las fresas control y fresas recubiertas almacenadas hasta el día 5 y 12, respectivamente, puesto que a esas fechas los valores de UFC/gr están por debajo del límite establecido por el CODEX STAN 193:1995 (Rev.5:2009) Standard General para Contaminantes y Toxinas en Alimentos. Como se puede observar, ambas muestras tienen valores muy cercanos en todos los atributos.

**Figura 42**

*Evaluación sensorial de las fresas recubiertas y fresas control*



##### 4.7.1. Color

De acuerdo con la Tabla 29, la fresa control y fresa recubierta tuvieron una puntuación promedia de 4 y 3,9 respectivamente, calificando los panelistas como "bueno" al atributo color. Con un nivel de confianza del 95%, se acepta la hipótesis nula, y se rechaza la hipótesis alterna, donde nos indica que no existen diferencias significativas. En otras palabras, el

recubrimiento aplicado a la fresa hasta el día 12 no alteró el color, puesto que se comparó con una fresa control almacenada hasta el día 5. Entonces, al haber 7 días de diferencia y el tener una misma puntuación, esto quiere decir que el recubrimiento a base de quitosano, almidón y aceite esencial, logró conservar el color de la fresa, según los evaluadores. Similar resultado fue hallado por Haider et al. (2022), quienes afirman que esto se debe a que los recubrimientos conllevan a menos cambios fisiológicos, el cual reduce la oxidación de la fruta. Por otra parte, Ferrer (2020), señala que al incorporar aceite esencial de limón y glicerina, al recubrimiento a base de almidón de cidrayota, éstos le otorgaron un mejor brillo a la fresa.

#### **4.7.2. Sabor**

La fresa control obtuvo una puntuación promedio de 3,6 en el atributo de sabor, siendo calificada como "me gusta" por los panelistas; mientras que, la fresa recubierta obtuvo un puntaje de 3,4 calificada como "no me gusta ni me disgusta". Sin embargo, con un nivel de confianza del 95%, se respalda la hipótesis nula, indicando que no hay diferencias significativas (Tabla 29), y se descarta la hipótesis alternativa; lo cual sugiere que las concentraciones de quitosano, almidón y aceite esencial utilizados en el recubrimiento no influyeron en la percepción de este parámetro sobre la fresa. De manera similar, Ruiz (2018) encontró que los tomates sin recubrimiento y aquellos tratados con quitosano y aceites esenciales de *Citrus aurantifolia* y *Origanum vulgare* mostraron resultados comparables en términos de sabor. Según Jami (2021), la disminución del sabor se atribuye a los efectos del deterioro del fruto y a la actividad enzimática durante la fase de almacenamiento.

#### **4.7.3. Aroma**

Los resultados indican que son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ) la fresa sin recubrimiento (control) y la fresa recubierta, con puntuaciones de 4,1 y 4,0 respectivamente en el atributo de aroma, calificado como "bueno" según los panelistas (Tabla 29). Esto sugiere que al aplicar el recubrimiento de quitosano, almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja a las fresas, no se produce una alteración en el olor hasta el día 12, ya que la puntuación es positiva, indicando que el recubrimiento no afecta el aroma característico de las fresas. De igual manera, en el estudio de Nava (2014), al utilizar quitosano y ácido oleico como recubrimiento en fresas, se observó que el aroma permaneció

sin cambios, según la percepción de los panelistas, demostrando que el recubrimiento logra formar una capa que dificulta la liberación de gases.

#### 4.7.4. Textura

En cuanto a la textura, la fresa recubierta y fresa control, presentaron una puntuación de 4,1 y 3,8 respectivamente, calificado como "bueno", y se reveló que con un nivel de confianza del 95% no hay diferencias significativas (Tabla 29). Esto quiere decir que la fresa recubierta presentó una textura aceptable, por medio de la interpretación de los datos obtenidos, ya que ésta se evaluó en el día 12, en cambio la fresa control en el día 5. Entonces, es posible que el recubrimiento al estar compuesto con quitosano, almidón y aceite esencial, le dé una mejor textura, con el pasar de los días. Vélez (2015), en su estudio encontró que al recubrir fresas con almidón, éste le otorgó una mejor textura y dureza, ya que evitó la reducción la pérdida de agua.

#### 4.7.5. Aceptabilidad general

De acuerdo con Zavaleta (2017) la aceptación sensorial representa una restricción significativa para la aplicación de coberturas que contienen quitosano y aceites esenciales. Tanto la fresa control como la fresa recubierta obtuvieron una puntuación promedio de 3,8 y 3,7 respectivamente en la aceptabilidad general, siendo calificadas como "me gusta" por los panelistas. El análisis estadístico reveló que no hay una variación estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) en este atributo entre la fresa control y la fresa recubierta en los días 5 y 12 de almacenamiento, respectivamente, a una temperatura de 4°C (Tabla 29). Esto coincide con lo informado por Valenzuela et al. (2015), quienes no encontraron diferencias significativas en la aceptabilidad sensorial global entre las fresas sin recubrimiento y aquellas recubiertas con una mezcla de quitosano, proteína de quinua y aceite de girasol.

**Tabla 29**

*Puntuación de los panelistas a los diferentes atributos en la evaluación sensorial*

Tratamientos	Atributo				
	Color	Sabor	Aroma	Textura	Aceptabilidad general
Fresa control	4,0±0,72a	3,6±0,96a	4,1±0,86a	4,1±0,85a	3,8±0,79a

<b>Fresa recubierta</b>	3,9±0,93a	3,4±1,04a	4,0±0,91a	3,8±0,99a	3,7±0,79a
-------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

*Nota.* Los valores son medias ± desviaciones estándar y la presencia de iguales letras en el lado derecho de los valores medios indican que no hay diferencias significativas en  $p < 0,05$  entre ambos grupos para cada atributo.

#### 4.8. Determinación de tiempo de Vida útil

A partir de la Tabla 30, se graficó el ln del recuento de mohos y levaduras de la fresa control y fresa recubierta versus el tiempo de almacenamiento (Anexo 51 y 52), obteniéndose las ecuaciones:  $y = 0,346x + 2,49$ ,  $y = 0,731x + 1,88$ , respectivamente.

**Tabla 30**

*ln del recuento total de mohos y levaduras en los días de evaluación*

Tiempo (días)	Fresa control (UFC/gr)	ln A	Fresa recubierta (UFC/gr)	ln B
1	$< 1 \times 10^1$	2,30	$< 1 \times 10^1$	2,30
5	$5,2 \times 10^2$	6,25	$1,5 \times 10^2$	5,01
8	$1,5 \times 10^3$	7,31	$2 \times 10^2$	5,30
12	-	-	$6,3 \times 10^2$	6,45
15	-	-	$2 \times 10^3$	7,60

*Nota.* Elaboración propia.

Luego de obtener los valores de la constante de velocidad de reacción, se reemplazó en la ecuación de cinética de primer orden [2] y se determinó el tiempo de vida útil para ambas muestras, tal como se observa en la Tabla 31. Se encontró que el tiempo de vida útil de la fresa control y fresa recubierta fue 6 días y 13 días respectivamente; éste tiempo de vida útil obtenido en la fresa recubierta con quitosano, almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja, se compara a continuación con diversas investigaciones de recubrimientos comestibles a base de biopolímeros para la conservación de fresas:

Pinzón et al. (2020), realizó películas compuestas a base de almidón de plátano-quitosano y gel de aloe vera (gel AV) en diferentes concentraciones de gel AV. Los resultados mostraron que la inclusión de gel AV redujo significativamente la descomposición

fúngica, aumentando la vida útil de las fresas hasta 15 días de almacenamiento en la concentración más alta de gel AV (20%), manteniendo al mismo tiempo sus propiedades fisicoquímicas, como el color y la firmeza. La pérdida de peso se redujo un 5% con respecto al fruto no recubierto, éstos resultados se pueden atribuir a la limitada transferencia de vapor de agua permitida por el recubrimiento comestible, que es el resultado del efecto de reticulación de las diferentes moléculas de almidón y gel AV, asimismo, la combinación de las conocidas actividades antifúngicas y antimicrobianas del quitosano y del gel AV, redujeron considerablemente la descomposición de los hongos y el crecimiento microbiano.

En el estudio de Hassan et al. (2020), se recubrieron frutos de fresa con 0, 0,5, 1 y 1,5% de quitosano y se almacenaron a 5°C. En comparación con las frutas de control, las fresas recubiertas de quitosano permanecieron comercializables en un 92% durante 8 días más debido a una disminución significativa en la descomposición de la fruta y a una integridad estructural sostenida, peso fresco, sólidos solubles totales, azúcares totales y atributos organolépticos. Las fresas recubiertas con 0,5% de quitosano exhibieron relativamente menos deterioro de la fruta y mejor peso fresco, sólidos solubles totales y características sensoriales en comparación con las frutas recubiertas con mayores concentraciones de quitosano, mientras que el recubrimiento de 1,0 % de quitosano ayudó a las fresas a conservar los atributos bioquímicos, seguido del recubrimiento de 1,5 % de quitosano.

Argueta (2019) registró un tiempo de vida útil para la fresa control y fresa recubierta con almidón de plátano verde incorporado con aceite esencial de orégano, de 7 días y 18 días, respectivamente, demostrando la efectividad antimicrobiana del recubrimiento en el crecimiento de hongos y levaduras en fresas empacadas y almacenadas a temperaturas de refrigeración. Por otra parte, Escalante (2015), determinó un tiempo de vida útil de 4 días y 8 días, para la fresa control y fresa recubierta con goma de tara, respectivamente. Asimismo, Palacios (2022), manifiesta que el tiempo de vida útil de las fresas en refrigeración (0 a 5 °C) es de aproximadamente 5 días.

**Tabla 31**

*Determinación del tiempo de vida útil de las fresas*

<b>TVU de la fresa control</b>	<b>TVU de la fresa recubierta</b>
$t = \frac{6,91-2,30}{0,731}$	$t = \frac{6,91-2,30}{0,346}$
<b>6 días</b>	<b>13 días</b>

*Nota.* Elaboración propia.

## 5. CONCLUSIONES

Las diferentes concentraciones de aceite esencial de cáscara de naranja (0,4%, 0,7% y 1%) y quitosano (1 y 1,5%) presentan un efecto inhibitorio contra el hongo *Botrytis sp*, mostrando una inhibición de su crecimiento de 12,2%, 77,2%, 100% y 53,5%, 58,4%, respectivamente.

La mejor formulación es el F3 con proporciones iguales de quitosano:almidón de semilla de mango (50:50) y aceite esencial de cáscara de naranja a una concentración de 1,5%, el cual exhibe el menor valor de permeabilidad al vapor de agua de  $1,09 \times 10^{-10}$  g/Pa.s.m y mayor efecto antifúngico con un diámetro de halo de inhibición de 10,6 mm.

La aplicación del recubrimiento a base de quitosano funcionalizado con almidón de semilla de mango y aceite esencial de cáscara de naranja ha demostrado prolongar la vida útil de las fresas postcosecha hasta por 7 días adicionales en comparación con las fresas no tratadas. Este recubrimiento se muestra eficaz en la reducción de la pérdida de peso, la ralentización del ablandamiento de la textura, la preservación del color, los sólidos solubles totales, el pH, la acidez, la vitamina C, las antocianinas y los fenoles totales, así como en la desaceleración del crecimiento de mohos y levaduras, todo ello sin afectar los atributos sensoriales evaluados, durante el almacenamiento a 4°C.



## **6. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar pruebas preliminares para la formulación de los recubrimientos en términos de adhesión, flexibilidad y transparencia.

Evaluar cómo interactúa el recubrimiento con el fruto en otras condiciones de almacenamiento como a temperatura ambiente y su influencia en la eficacia del recubrimiento.

Analizar cómo el recubrimiento afecta a otros tipos de frutas como arándanos, frambuesas, moras y cerezas, para determinar si produce resultados similares a los observados en las fresas.

Evaluar en próximas investigaciones, parámetros como tasa de respiración en el fruto.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, Y. (2021). *Aprovechamiento de residuos de maracuyá (Passiflora edulis) y mango (Mangífera indica) para la elaboración de un bioplástico*. [Trabajo de pregrado, Universidad de Pamplona]. [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5552/1/Acosta\\_2021\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/5552/1/Acosta_2021_TG.pdf)
- Aghera, P. y Bhatt, N. (2019). Citric Acid: Biosynthesis, Properties and Application. *LAP LAMBERT Academic Publishing*. [https://www.researchgate.net/publication/335397181\\_Citric\\_Acid\\_Biosynthesis\\_Properties\\_and\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/335397181_Citric_Acid_Biosynthesis_Properties_and_Application)
- Aguilar, M. (2022). *Efecto de tres formulaciones de bocashi en el rendimiento del cultivo de fresa (Fragaria vesca L.) Chuquibambilla, Grau* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1206/T\\_004.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1206/T_004.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aitboulahsen, M., Zantar, S., Laglaoui, M., Chairi, H., Arakrak, A., Bakkali, M. y Hassani, M. (2018). Gelatin-Based Edible Coating Combined with Mentha pulegium Essential Oil as Bioactive Packaging for Strawberries. *Journal of Food Quality*, 8(5), 1456-1469.
- Ali, L., Ahmed, A., Hasan, H. et al. (2022). Quality characteristics of strawberry fruit following a combined treatment of laser sterilization and guava leaf-based chitosan nanoparticle coating. *Chem. Biol. Technol. Agric*, 9(80). <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00343-x>
- Amiera, N., Woei, T., Chean, L., Wen, T., Ariff, M. y Zubaidah, S. (2019). Potential Antimicrobial Applications of Chitosan Nanoparticles (ChNP). *J. Microbiol. Biotechnol*, 29(7), 1009–1013.
- Annou, G., Mosbah, S., Raache, I., Belhdre, Z., Derbal, B. y Khelil, A. (2023). Physicochemical Indexes and Evaluation of Antioxidant, Antihemolytic and Antibacterial Activities of *Citrus sinensis* and *Citrus limon* Peel Essential Oils.

*Al-Qadisiyah Journal For Agriculture Sciences*, 13(1), 7-17.  
<https://doi.org/10.33794/qjas.2022.136158.1088>

Anticona, G. y Torres, L. (2020). *Efecto de la concentración de almidón de almendra de mango criollo (Mangifera indica L.) en la obtención de películas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
[https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8715/Anticona\\_Cabell os\\_Gerson\\_Jahir\\_y\\_Torres\\_Diaz\\_Luis\\_Bernab%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed =y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8715/Anticona_Cabell%20os_Gerson_Jahir_y_Torres_Diaz_Luis_Bernab%C3%A9.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Anwar, T., Qureshi, H., Fatima, A., Sattar, K., Albasher, G., Kamal, A., Ayaz, A. y Zaman, W. (2023). *Citrus sinensis Peel Oil Extraction and Evaluation as an Antibacterial and Antifungal Agent*. *Microorganisms*, 11(7), 1662-1678.  
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11071662>

Aragón, D. (2022). Estudio de tendencias de mercado – Mango. Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Arce, A. y Hernández, L. (2022). *Recubrimiento de almidón de semilla de mango aplicado a tomate (Solanum Lycopersicum, L.)* [Tesis de Pregrado, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas].  
[https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4534/Licenciatura-Adri ana-Lesley%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/4534/Licenciatura-Adriana-Lesley%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Argueta, M. (2019). *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* [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador].  
[https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/24932/1/Elaboraci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20una%20biopel%C3%ADcula%20a%20partir%20de%20almid%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano%20verde%20%28musa%20paradisiaca%29%20in corporando%20aceite%20esencial%20de%20or%C3%A9gano%20%28Origanum%20 sp.%29%20como%20inhibidor%20microbiano%20en%20la%20preservaci%C3%B3 n%20de%20fresas%20empacadas.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/24932/1/Elaboraci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20de%20una%20biopel%C3%ADcula%20a%20partir%20de%20almid%C3%B3n%20de%20pl%C3%A1tano%20verde%20%28musa%20paradisiaca%29%20in%20corporando%20aceite%20esencial%20de%20or%C3%A9gano%20%28Origanum%20sp.%29%20como%20inhibidor%20microbiano%20en%20la%20preservaci%C3%B3n%20de%20fresas%20empacadas.pdf)

- Armani, A., Taghavi, S., Yazdian, F., Mirzababael, S., Rashedi, H., Ali, M. y Vahidi, M. (2022). Immobilization of urease enzyme on chitosan/polyvinyl alcohol electrospun nanofibers. *Biotechnology Progress*, 38(5). <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/btpr.3282>
- Armijo C., J., Vicuña G., E., Romero y Otiniano, P., Condorhuamán C., C., y Hilario R., B. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre con vapor. *Revista Peruana De Química E Ingeniería Química*, 15(2), 19–27. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4967>
- Arruda, J., Freitas, J., Pinto, I., Peruch, G. y Souza, S. (2021). Functional characterization of mango seed starch (*Mangifera indica l.*). *Research, Society and Development*, 10(3). Recuperado de: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10118/12012>
- Aruna, T., Hemalatha, G., Kumutha, K., Kanchana, S. & Vellaikumar, S. (2022). Physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of citrus peel essential oils. *Journal of Applied and Natural Science*, 14(2), 640-646. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i2.3484>
- ASTM E96/E96M-16, A. (2016). Standard test methods for water vapor transmission of materials. Annual Book of ASTM Standards; American Society for Testing and Materials: West Conshohocken, PA, USA, 719–725.
- Astudillo, L. y Sánchez, A. (2019). *Extracción de almidón a partir del banano (Plátano) de categoría II (Musa paradisiaca) en estado verde, para la elaboración de colada instantánea fortificada y utilización de su fibra para balanceado de ganado porcino* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/33521/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>
- Ayala, J. R., Montero, G., Campbell, H. E., García, C., Coronado, M. A., León, J. A. y Pérez, L. J. (2017). Extraction and Characterization of Orange Peel Essential Oil from

- Mexico and United States of America. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(4), 897–914.
- Ayquipa, E. (2018). *Caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (Opuntia spp) y almidón de cáscara de papa (Solanum tuberosum)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. [https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/617/T\\_0340.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/617/T_0340.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Badillo, L. (2017). *Hidrógenolisis del glicerol utilizando hidróxidos dobles laminares cu/mg/a como precursores de catalizadores bifuncionales* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/24235/Tesis%20Hidr%C3%B3genolisis%20del%20glicerol%20utilizando%20hidr%C3%B3xidos%20dobles%20laminares%20Cu%2CMg%2CAI%20como%20precursores%20de%20catalizadores%20bifuncionales..pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Las%20aplicaciones%20del%20glicerol%20se,productos%20%5B2%2C%203%5D>.
- Bahal, V. y Bhardwaj, A. (2017). Utilization of Mango Kernel Starch as an Edible Coating of Raw Pork. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*, 2(8), 21-24. [https://ijasrm.com/wp-content/uploads/2017/08/IJASRM\\_V2S8\\_304\\_21\\_24.pdf](https://ijasrm.com/wp-content/uploads/2017/08/IJASRM_V2S8_304_21_24.pdf)
- Barrazueta, S., Falconí, J., Navarro, M., Oleas, J. y Mendoza, G. (2018). Physicochemical properties and application of edible coatings in strawberry (*Fragaria x Ananassa*) preservation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(3), 8631-8641.
- Basak, S., & Guha, P. (2018). A review on antifungal activity and mode of action of essential oils and their delivery as nano-sized oil droplets in food system. *Journal of food science and technology*, 55(12), 4701–4710. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3394-5>
- Bautista, D. y Valdivieso, M. (2016). *Contribución al estudio de la extracción de aceites esenciales y secado de cáscara de naranja (Citrus sinensis, var. Valencia Late)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Recuperado de:

[http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/1738/Deysi\\_Tesis\\_T%  
3%adtuloprofesional\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/1738/Deysi_Tesis_T%c3%adtuloprofesional_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Benavides, A., Cisne, J., Morán, J., Duarte, H. (2022). *Producción orgánica de fresa (Fragaria spp.), Las Sabanas, Madriz, Nicaragua.* <https://repositorio.una.edu.ni/4573/1/NF62B456.pdf>
- Bernal, C., Guarnizo, J., Guevara, A., Suárez, D., Lozano, N., y Castillo, S. (2017). Propiedades, modificaciones y usos de los almidones, con miras a la obtención de películas biodegradables. *Fundación Universidad de América*, 10(2), 135-152.
- Bet, C., Córdoba, L., Ribeiro, L. y Schnitzler, E. (2017). Effect of acid modification on the thermal, morphological and pasting properties of starch from mango kernel (*Mangifera indica L.*) of Palmer variety. *International Food Research Journal*, 24(5), 1967 - 1974.
- Bharti, I., Singh, S. y Saxena, D. (2018). Influence of alkali treatment on physicochemical, pasting, morphological and structural properties of mango kernel starches derived from Indian cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 203-212. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813018357921>
- Bof, M. (2018). *Estrategias para preservar arándanos utilizando envases biodegradables* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Entre Ríos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/248022698.pdf>
- Bordagaray, V., Bof, M., Suárez, G., Bordenave, L., Pérez, A., Locaso, D. (2020). Caracterización de películas comestibles antimicrobianas con adición de aceites esenciales de especies cultivadas en la provincia de Entre Ríos. *Ciencia, Docencia Y Tecnología Suplemento*, 10(10), 394-409. <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/825/849>
- Brandelero, R., Alfaro, A., Marques, P. y Brandelero, E. (2019). New Approach of Starch and Chitosan Films as Biodegradable Mulching. *Rev. Virtual Quim.*, 11(3), 686-698.
- Cahyo, A. y Mohamad, A. (2022). The antioxidant and antibacterial activities of chitosan extract from white shrimp shell (*Penaeus indicus*) in the waters north of Brebes,

- Indonesia. *BIODIVERSITAS*, 23(3), 1267-1272.  
<https://smujo.id/biodiv/article/view/10117>
- Cano, A. y Corales, F. (2014). *Efecto de recubrimientos comestibles a base de gel de mucílago de penca de sábila (aloe " Barbadensis miller) en la vida útil de la fresa (Fragaria ananassa)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa].  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/1956/27279.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Casado, I. (2018). *Optimización de la extracción de aceites esenciales por destilación en corriente de vapor* [Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Madrid].  
[https://oa.upm.es/49669/1/TFG\\_IRENE\\_CASADO\\_VILLAVERDE.pdf](https://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLAVERDE.pdf)
- Castañeda, D., Rivera, A., Choy, E., Munguía, R., Portillo, R. & Muñoz, J. (2018). Actividad antimicrobiana del aceite de naranja residual. *UNED Research Journal*, 10(2), 469-474.
- Castro, M. y González, R. (2018). *Evaluación in vivo del grado de humectación de dos productos a base de quitina y quitosano* [Tesis de posgrado, Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15468/1/UPS-CT007603.pdf>
- Caudillo, D. (2016). *Conservación poscosecha de fresa utilizando recubrimientos formulados con quitosano-quínoa* [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana].  
<https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/TESIS-DIANA-I.-CAUDILLO-CONTRERAS.pdf>
- Cerna, L. y Torres, J. (2020). *Obtención de aceite esencial a partir de residuos de cáscara de naranja (Citrus sinensis Var. Valencia) utilizando un sistema de hidrodestilación convencional acoplado a un equipo de microondas para su extracción óptima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].  
[https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17181/Cerna\\_ml.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17181/Cerna_ml.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chamorro, P. y Pinta, K. (2017). *Evaluación del comportamiento poscosecha de la fresa (Fragaria x ananassa Duch ev. Albión) cultivada en la Asociación Indígena*

- Agroturística La Kumba en el municipio de Cumbal Nariño* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño].
- Chapuel, A. y Reyes, J. (2019). *Obtención de una película biodegradable a partir de los almidones de semilla de aguacate (*persea americana mill*) y banano (*musa acuminata aaa*) para el recubrimiento de papaya* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/39933/1/401-1355%20-%20Obtenc%20pe%20licula%20biodegradable%20partir%20almidones%20semilla%20de%20aguacate.pdf>
- Chavesta, A. (2018). *Estudio del efecto conservante del quitosano en una bebida no gasificada, tipo emoliente* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8731/Chavesta\\_aa.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8731/Chavesta_aa.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chávez, A. (2019). *Evaluación de recubrimientos naturales y fungicidas para el control postcosecha de mohos en mora (*Rubus laciniatus var. Brazos*) y Frutilla (*Fragaria x ananassa*)* [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco De Quito].
- Cercedo, D. (2018). *Uso del quitosano comercial y el obtenido de pluma de pota (*Dosidicus gigas*) para la adsorción de cobre (Cu) en aguas contaminadas de la Cuenca Baja del Río Chillón a nivel laboratorio* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/18460>
- Cerna, L. y Torres, J. (2020). *Obtención de aceite esencial a partir de residuos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis Var. Valencia*) utilizando un sistema de hidrodestilación convencional acoplado a un equipo de microondas para su extracción óptima* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17181/Cerna\\_ml.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17181/Cerna_ml.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Chemat, Abert Vian, Ravi, Khadhraoui, Hilali, Perino, & Tixier. (2019). Review of Alternative Solvents for Green Extraction of Food and Natural Products: Panorama, Principles, Applications and Prospects. *Molecules*, 24(16), 3007.



- Chiquiza, L., Montoya, I., Restrepo, C. y Orozco, F. (2016). Estudio de la Microbiota del Proceso de Producción de Almidón Agrícola de Yuca. *Inf. tecnol*, 27(5), 03-14. [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642016000500002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642016000500002)
- Ciriminna, R., Meneguzzo, F., Delis, R. y Pagliaro, M. (2017). Citric acid: emerging applications of key biotechnology industrial product. *Chemistry Central Journal*. <https://d-nb.info/1128899612/34>
- Condori, D. y Vilcazan, A. (2019). *Determinación de capacidad inhibitoria microbiana con aceite esencial de Naranja (Citrus sinensis) y Romero (Rosmarinus officinalis) en Escherichia coli y Staphylococcus aureus por el método antibiograma* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2814/Denilson\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2814/Denilson_Trabajo_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cordova, Y. y Velasquez, J. (2021). *Cinética de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor a escala piloto de la naranja, mandarina, lima y limón* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/52e89805-352d-4efa-aa92-a931faede69c/content>
- Cortes, M. (2019). *Efecto de recubrimientos nanoestructurados con quitosano y/o propóleo sobre el desarrollo in vitro de Aspergillus flavus y producción de aflatoxinas* [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/2553/COHMGN01T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corvera, L. (2020). Una baja productiva marcará la campaña 2020/21 del mango. *Redagícola*, 69. Obtenido de <https://www.redagricola.com/pe/una-bajaproductiva-marcara-la-campana-2020-21-del-mango/>
- Cruz, A., Guamán, M., Castillo, M., Glorio, P. y Martínez, R. (2015). Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito. *Revista Politécnica*, 36(2). [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/633/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/633/pdf)

- Cruz, I. y Sarango, C. (2017). *Aplicación de recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza y propóleo para prolongar el tiempo de vida útil del mango kent (Mangifera Indica L.) Lambayeque – 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán]. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6306/Cruz%20Ninaquispe%20%26%20Sarango%20Cordova.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruzado, M., Pastor, A., Castro, N., Cedrón, J. (2013). Determinación de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de alcachofa (*Cynara scolymus L.*). *Rev. Soc. Quím.*, 79(1). [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100008)
- Cuatín, L. y López, D. (2015). *Evaluación de un recubrimiento comestible a base de proteínas de suero y cera de abeja sobre la calidad fisicoquímica y organoléptica de Uchuva (Physalis peruviana L.)* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/1138/1/90641.pdf>
- Cusihuamán, S. (2017). *Derivatización del quitosano para la obtención del carboximetil quitosano (o-cmq) y su caracterización vía espectroscopía infrarroja (ftir) y resonancia magnética nuclear (rmn)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4524/QUcunos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Daniel, U. (2020). *Obtención de aceite esencial de salvia (Buddleja perfoliata) mediante el proceso de extracción por arrastre de vapor y evaluación de su actividad antioxidante* [Tesis de pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/4596/88112020TL.pdf?sequence=1>
- De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A. y Poiana, M. (2023). Effect of Edible Coating Enriched with Natural Antioxidant Extract and Bergamot Essential Oil on the Shelf Life of Strawberries. *Foods*, 12(3), 488. <https://doi.org/10.3390/foods12030488>
- Delgado, D. (2018). *Evaluación del rendimiento, calidad y actividad antioxidante del aceite esencial de cáscara de naranja fresca de la especie Citrus maxima (Burm.) Merr.*

- Familia Rutaceae, obtenido por dos métodos de extracción* [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador].  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/16721/3/T-UCE-0008-CQU-049.pdf>
- Dussán, S., Barragán, S. y Bultrago, E. (2023). Efecto de un recubrimiento comestible a base de aloe vera en piña (*Ananas comosus*) Oro Miel mínimamente procesada. *Información Tecnológica*, 34(1), 11-20.  
<https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v34n1/0718-0764-infotec-34-01-11.pdf>
- Elrasheid, H., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Komla, G., Zhai, X. y Adam, A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3).
- Escalante, A. (2015). *Aplicación de un recubrimiento comestible de goma de tara (Caesalpinia spinosa molina kuntze) sobre fresas (Fragaria ananassa cv. Aromas) para prolongar su conservación* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1854/J11.E74-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escalona, L., Solano, G. y Estrada, A. (2022). La semilla del mango (*Mangifera indica* L.): Caracterización química y uso en la alimentación animal (Revisión). *Redel. Revista Granmense De Desarrollo Local*, 6(2), 35-54.
- Escobar, D., Urrea, C., Gutiérrez, M. y Zapata, P. (2011). Producción de matrices de quitosano extraído de crustáceos. *Rev. ing. biomed*, 5(9).  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-97622011000100004#fig2](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622011000100004#fig2)
- Escobar, J. (2020). *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México].  
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109321/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Eslava, L. y Fajardo, E. (2020). *Obtención de un aceite esencial a partir de la semilla del mango utilizando el método de extracción con solventes* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América].
- Estacio, C. (2019). *Identificación de especies fúngicas asociadas al decaimiento de plantas en el cultivo de arándano (*Vaccinium corymbosum*) en la Región Ica y el valle de Cañete* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Luis Gonzaga].
- Fakayode, O. y Abobi, K. (2018). Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface approach. *J Anal Sci Technol*, 9(20) .  
<https://doi.org/10.1186/s40543-018-0151-3>
- Falade, K., Ibang, B. y Ayetigbo, O. (2019). Comparing properties of starch and flour of yellow-flesh cassava cultivars and effects of modifications on properties of their starch. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 2581-2593.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11694-019-00178-5>
- Falconí, J. (2016). *Empleo de recubrimientos comestibles en la conservación de *Fragaria x ananassa* (fresa)* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Farida, F., Sauman, J., Mubarak, S., Akutsu, M., Noviyanti, K. y Nur, B. (2023). Variability of Strawberry Fruit Quality and Shelf Life with Different Edible Coatings. *Journals Foods*, 9(7).
- Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., García, A, y Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3), 52-57.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542015000300008&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000300008&lng=es&tlng=es).
- Ferrer, Y. (2020). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de almidón de cidrayota (*Sechium edule*) de la variedad *virens levis* en la calidad y vida útil de la fresa (*Fragaria ananassa*)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/31413/1/AL%20751.pdf>

- Floríndez, C. y Floríndez, G. (2009). *Caracterización fisicoquímica del almidón de almendra de mango (Mangifera indica L.) variedad chico rico, para la obtención de talco medicinal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://repositorio.unapikitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2931/T%20664.7%20F%2065.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Galvis, R., Paz, J. Vargas, R., Agudelo, L. (2012). Caracterización de quitina y quitosano obtenidos a partir de residuos de camarón y micelio de *Aspergillus niger*. *Acta Agronómica*, 61(5), 81-82. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169959497038.pdf>
- García, G. (2022). *Organogénesis indirecta a partir de segmentos de hojas cotiledonares e hipocótilo de fresa (Fragaria ananassa Duchesne 1766), Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/52e590eb-ecdc-417c-913d-18fbbea20c20/content>
- García, M., Corrales, J., Cornejo, T. y Hernández, L. (2023). Recubrimiento biodegradable antifúngico a base de quitosano y aceite esencial de cítricos para la conservación de papaya (*Carica papaya* L.) en poscosecha. *Bioteología y Ciencias Agropecuarias*, 17(2), 165-180. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i2.1703>
- García, N. (2019). *Desarrollo de cubiertas comestibles para controlar Botrytis cinerea en postcosecha de arándanos* [Tesis de pregrado, Pontífice Universidad Católica de Valparaíso]. [http://opac.pucv.cl/pucv\\_txt/txt-8500/UCC8855\\_01.pdf](http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-8500/UCC8855_01.pdf)
- García, R. (2019). *Efecto de recubrimientos comestibles a base de proteína de soya y almidón de yuca en la conservación de saúco (Sambucus peruviana H.B.K.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3670/EFECTO%20DE%20RECUBRIMIENTOS%20COMESTIBLES%20A%20BASE%20DE%20PROTE%C3%8DNA%20DE%20SOYA%20Y%20ALMID%3%93N%20DE%20YUCA%20EN%20LA%20CONSERVAC.pdf?sequence=1>
- García, O, Pinzón, M. y Lucas, J. (2015). Propiedades físicas y ópticas de películas a base de almidón de plátano guayabo (*Musa paradisiaca* L.). *Revista Alimentos Hoy*, 23(36). 127-132

- Georgeta, L., Tuchilus, C., Dragan M., Sha, M. y Dragostin, O. (2021). Preparation and Antimicrobial Activity of Chitosan and Its Derivatives: A Concise Review. *Molecules*, 26(12), 3694. <https://www.mdpi.com/1420-3049/26/12/3694>
- Gil, E., Duque, A. y Quintero, V. (2018). Obtención de productos de fresa (*Fragaria x ananassa*) mínimamente procesados y su caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial mediante el uso de recubrimientos comestibles. *DYNA*, 85(207), 183-191.
- Giwa, S., Muhammad, M., y Giwa, A. (2018). Utilizing orange peels for essential oil production. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1). [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2018/jeas\\_0118\\_6632.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0118_6632.pdf)
- González, R., Morón, L., & Pérez, J. (2022). Low acyl gellan gum-based coatings containing  $\alpha$ -pinene and cranberry extract for preserving strawberry postharvest quality. *Información tecnológica*, 33(5), 93-102. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500093>
- Grande, C., Serio, A., Delgado, J., Paparella, A., Rossi, C., y Chaves, C. (2018). Chitosan films incorporated with *Thymus capitatus* essential oil: mechanical properties and antimicrobial activity against degradative bacterial species isolated from tuna (*Thunnus sp.*) and swordfish (*Xiphias gladius*). *Journal of Food Science and Technology*.
- Guillén, M. (2022). *Aplicación del ultrasonido en la extracción por hidrodestilación y microondas de aceite esencial de cáscara de limón (Citrus aurantifolia)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5444/guillen-ca%203%b1avi-milagros-janeth.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guaña (2022). Biopelículas y envases activos. *UNEMI*, 6(10), 18-32 <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1575/1424>
- Guédez, C., Cañizalez, L., Avendaño, L., Scorza, J., Castillo, C., Olivar, R., Méndez, Y. y Sánchez, L. (2014). Actividad antifúngica del aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis L.*) sobre hongos postcosecha en frutos de lechosa (*Carica papaya L.*).

*Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 34(2), 81-87.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1315-25562014000200007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562014000200007&lng=es&tlng=es).

Guizado, E. y Limachi, C. (2022). *Efecto del recubrimiento comestible de Uncucha (Colocasia antiquorum) para conservación poscosecha de fresa* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].  
[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/5530/Elizabeth\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/5530/Elizabeth_Tesis_Licenciatura_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gutiérrez, C. (2017). *Preparación y evaluación de las propiedades físico-químicas y mecánicas de un almidón termoplástico (tps) de semillas de pich (Enterolobium cyclocarpum) obtenido por extrusión* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].  
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/1770/1/CHI-2017-PREPARACI%C3%B4N%20Y%20EVALUACI%C3%B4N%20DE%20LAS%20PROPIEDADES.pdf>

Haider, T., Ahmad, S., Abbas, M., Sharif, N., Mahreen, N., Aslam, K. y Noreen, A. (2022). Effect of aloe vera gel coating on postharvest fruit quality of strawberry fruit (*Fragaria × ananassa*). *J. Agric. Res*, 60(4), 295-302.  
[https://apply.jar.punjab.gov.pk/upload/1676966879\\_150\\_3.\\_JAR\\_1836.pdf](https://apply.jar.punjab.gov.pk/upload/1676966879_150_3._JAR_1836.pdf)

Hashemi, S., Mousavi, A. y Sant'Ana, A. (2017). *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications. Institute of Food Technologists Series*

Hassan, J., Anwar, J., Sattar, A., Ahmad, S., Ullah, A., Nafees, M., Hussain, Z. e Inam, M. (2020). Chitosan-Based Edible Coating Delays Fungal Decay and Maintains Quality of Strawberries during Storage. *International Journal of Agriculture & Biology*, 24(1), 486–492.  
[https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Nafees-10/publication/343760960\\_Chitosan-Based\\_Edible\\_Coating\\_Delays\\_Fungal\\_Decay\\_and\\_Maintains\\_Quality\\_of\\_Strawberries\\_during\\_Storage/links/5f3e367e92851cd30208229a/Chitosan-Based-Edible-Coating-Delays-Fungal-Decay-and-Maintains-Quality-of-Strawberries-during-Storage.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Nafees-10/publication/343760960_Chitosan-Based_Edible_Coating_Delays_Fungal_Decay_and_Maintains_Quality_of_Strawberries_during_Storage/links/5f3e367e92851cd30208229a/Chitosan-Based-Edible-Coating-Delays-Fungal-Decay-and-Maintains-Quality-of-Strawberries-during-Storage.pdf)

- Hernández, I. (2019). *Determinación de capacidad antioxidante de aditivos en forma individual y combinados en jugos naturales y comerciales* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/26942/1/Determinaci%C3%B3n%20de%20capacidad%20antioxidante%20de%20aditivos%20en%20forma%20individual%20y%20combinados%20en%20jugos%20naturales%20y%20comerciales.pdf>
- Herrera, M. (2023). *Efecto de los abonos foliares en el rendimiento y calidad comercial de cosecha de la fresa (Fragaria vesca L.) variedad Camino Real en condiciones edafoclimáticas del centro de investigación frutícola olerícola (cifo), Unheval – Huánuco, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/8900/TAG01012H46.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Holguin, J. (2019). *Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>
- Huanca, C. (2021). *Estudio fitoquímico del aceite esencial de la Aloysia aloysioides Loes & Moldenke y su evaluación de la actividad antibacteriana y antifúngica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17432/Huanca\\_mc.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/17432/Huanca_mc.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Huaracha, M. (2016): *Estudio de la permeabilidad al vapor de agua en películas modificadas de quitosano* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10062/IMhucama.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ibrahim, M., Sharoba, A., El Waseik, K., El Mansy, H. y El Tanahy, H. (2017). Effect of Edible Coating by Chitosan with Lemongrass and Thyme Oils on Strawberry Quality and Shelf Life during Storage. *J Food Technol Nutr Sci*, 3(1).



- Ibtisam, K. (2019). Edible Films and Coatings: Classification, Preparation, Functionality and Applications- A Review. *Arc Org Inorg Chem Sci*, 4(2).  
<https://lupinepublishers.com/chemistry-journal/pdf/AOICS.MS.ID.000184.pdf>
- INSST. (2018). *Ácido cítrico*.  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=855&p\\_edit=&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=855&p_edit=&p_version=2&p_lang=es)
- International Starch Institute (ISI). (2002). Determination of viscosity of starch by brookfield. ISI 17-1e. In: Laboratory methods. Science Park, Aarhus, Dinamarca, International Starch Institute (ISI). Disponible en <http://www.starch.dk/isi/methods/index.htm>
- Jami, Y. (2021). *Caracterización de los recubrimientos comestibles de biopolímeros y aceites esenciales para la conservación de fresa (Fragaria) y papaya (Carica papaya)* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Ji, L., Zhang, H., Cornacchia, L., Sala, G. y Scholten, E. (2022). Effect of gelatinization and swelling degree on the lubrication behavior of starch suspensions. *Carbohydrate Polymers*, 291(6).  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861722004283>
- Jiménez, E. y Martínez, S. (2016). *Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (Manihot esculentum) variedad guayape* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].  
<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/865/BC-TES-4008.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kahramanoğlu, I., Pelin, N., Okata, V. y Wan, C. (2022). Impacts of edible coatings enriched with laurel essential oil on the storage life of strawberry ‘Camarosa’ fruits. *Postharvest Technology*.  
<https://www.scielo.br/j/brag/a/byQ6sct546WnBBwG5S5GnVJ/?format=pdf&lang=en>
- Kalateh, F., Yousefi, S., Ahari, H., y Hosseini, S. (2021). Corn Starch-Chitosan Nanocomposite Film Containing Nettle Essential Oil Nanoemulsions and Starch Nanocrystals: Optimization and Characterization. *Polymers*, 13(13), 2113.  
<https://doi.org/10.3390/polym13132113>

- Kaushal, J., Singh, G. y Kumar, S. (2018). Immobilization of catalase onto chitosan and chitosan–bentonite complex: A comparative study. *Biotechnol Rep (Amst)*, 18(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5989589/>
- Khodaei, D., Hamidi, Z., y Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, 23(1), 17–23.
- Lafuente, G. (2017). *Glicerol: síntesis y aplicaciones* [Trabajo de posgrado, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente\\_Aranda\\_Gustavo\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Glafuente/Lafuente_Aranda_Gustavo_TFM.pdf)
- Lan, W., Zhang, R., Ahmed, S., Qin, W., y Liu, Y. (2019). Effects of various antimicrobial polyvinyl alcohol/tea polyphenol composite films on the shelf life of packaged strawberries. *LWT*.
- León, G., León, D., Monroy, M., De La Espriella, S. y Herrera, A. (2020). *Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética*. [https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft\\_5\\_2020/17\\_modificacion.pdf](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2020/avft_5_2020/17_modificacion.pdf)
- Llontop, M. y Nunura, M. (2015). *Extracción y caracterización del aceite esencial y pectina de naranja (Citrus sinensis) obtenidos de los desechos recolectados en las juguerías del mercado modelo del distrito de Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo"].
- Long, H., Bi, Y., Pu, L. y Mustapha, A. (2022). Preparation of chitosan/ fennel seed essential oil/ starch sodium octenyl succinate composite films for apple fruit preservation. *Food science and technology*.
- López, Y., Ramírez, G., Balois, R., Bautista, P., López, G., y Bello, J. (2020). Caracterización físicoquímica y funcional de almidón extraídos de frutos de mango ‘Tommy atkins’ del estado de Nayarit. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 694-699. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume5/5/10/136.pdf>

- Lovera, M. (2014). Evaluación fisicoquímica y nutricional de películas comestibles a base de almidón [Trabajo de posgrado, Universidad Central de Venezuela]. [http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/21587/1/Trabajo%20de%20Ascenso%20ASISTENTE\\_Prof.%20Mighay%20Lovera.pdf](http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/21587/1/Trabajo%20de%20Ascenso%20ASISTENTE_Prof.%20Mighay%20Lovera.pdf)
- Madera, J., De Dios, M., Colín, C., Mariscal, L., Núñez, C., Veloz, R., Guzmán, S., Peña, V., Grijalva, C. y Rodríguez, J. (2019). Recubrimiento a base de quitosano y extracto acuoso de hoja de Moringa oleífera obtenido por UMAE y su efecto en las propiedades fisicoquímicas de fresa (*Fragaria x ananassa*). *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 21(2), 155-163. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/941/334>
- Malik, S (Ed.). (2019). *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, Industrial Applications and Biotechnological Production*. Springer.
- Malquichagua, R. (2022). *Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de goma de tara (Caesalpinia spinosa molina kuntze) para prolongar la vida útil de rocoto y tomate de árbol* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14077/2874/Malquichagua%20Carrion%20Roger%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manisha, M., Alemmoa, J., Nikhil, A., Takhellambam, H. y Okram, D. (2021). Edible coatings in fruits and vegetables: A brief review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(7), 71-78. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2021/vol10issue7S/PartB/S-10-6-132-374.pdf>
- Marcillo, R. y Villavicencio, M. (2021). *Efectos de una biopelícula con aceites esenciales de naranja y eucalipto en el crecimiento de hongos de la malanga de exportación* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. <https://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/1582/1/TTMAI24D.pdf>
- Marques, A., Ferreira, L., Ribeiro, R., Tamara, D., Bernardino, J. y Coêlho, M. (2020). Characterization of starch from different non-traditional sources and its application as coating in ‘Palmer’ mango fruit. *Food Science and Technology*.

- Márquez, C., Otero, M., Rojano, B. y Osorio, J. (2014). Actividad antioxidante y concentración de compuestos fenólicos del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* s.) en poscosecha. *Temas agrarios*, 19(2), 173 - 184.
- Matute, P. (2019). *Control biológico del moho gris (botrytis cinerea) en cultivos de fresa (Fragaria vesca L.) mediante hongos filamentosos antagonistas* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
- Maya, D. (2017). *Estudio y aplicación del almidón de maíz* [Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional].  
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24229/1/Tesis%20Estudio%20y%20aplicaci%C3%B3n%20del%20almid%C3%B3n%20de%20maiz..pdf>
- McKay, S., Sawant, P., Fehlberg, J., & Almenar, E. (2021). Antimicrobial activity of orange juice processing waste in powder form and its suitability to produce antimicrobial packaging. *Waste Management*, 120(2), 230–239.
- Melvin, Z. (2018). *Efecto del tiempo y el color del envase en el contenido de antocianinas y capacidad antioxidante en el zumo de fresa (Fragaria vesca) almacenados a refrigeración* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21488/zumaran\\_vm.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21488/zumaran_vm.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mera, A. (2022). *Obtención de una biopelícula a partir de semillas de frutipan (Artocarpus altilis) para el embalaje de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Mieles-Gómez, L., Quintana, S. & García-Zapateiro, L. (2023). Ultrasound-Assisted Extraction of Mango (*Mangifera indica*) Kernel Starch: Chemical, Techno-Functional, and Pasting Properties. *Gels*, 9(136). <https://doi.org/10.3390/gels9020136>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2008). *Estudio de la fresa en el Perú y el mundo*.  
[https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio\\_fresa.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/boletines/estudio_fresa.pdf)

- Mohamed, S., Sakhawy, M., y Sakhawy, M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238(2).
- Moncayo, D. (2018). *Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/50858/24336979.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno, C. y Sotelo, A. (2020). *Predicción del crecimiento del hongo Botrytis spp en fresa Fragaria ananassa por medio de termografía infrarroja* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle]. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1720&context=ing\\_alimentos](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1720&context=ing_alimentos)
- Moyano, R. (2022). *Incremento del tiempo de conservación del Solanum betaceum (tomate de árbol), mediante el uso de tres recubrimientos comestibles enriquecido con aceite esencial de mandarina (Citrus unshulu)* [Tesis de posgrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17111/1/20T01545.pdf>
- Muhammad, K., Bushra, N., Farhan, S., Muhammad, A., Fakhar, I., Muzzamal, H., Mahwish, M. y Ammar, A. (2022) Edible coatings for enhancing safety and quality attributes of fresh produce: A comprehensive review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1817-1847.
- Muñoz, C. (2011). *Combate biológico del moho gris (Botrytis cinerea) bajo dos condiciones de almacenamiento, del fruto de fresa (Fragaria x ananassa) c.v. Albión* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/878/1/Tesis\\_t003agr.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/878/1/Tesis_t003agr.pdf)
- Muñoz, S. y Naranjo, J. (2012). *Caracterización de las propiedades físico químicas y estudio de los atributos de calidad en el comportamiento poscosecha de dos variedades de frutilla (Fragaria Chilensis) en la provincia de Imbabura* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte].

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1968/1/03%20EIA%20321%20TESIS%20CARACTERIZACION.pdf>

Muñoz, T. (2018). *Extracción asistida por hidrodestilación y ultrasonido de aceites esenciales de cáscara de naranja (Citrus sinensis L.) y limoncillo (Cymbopogon citratus)* [Trabajo de grado, Universidad Del Cauca].

Muñoz-Tébar, N., Carmona, M., Ortiz de Elguea-Culebras, G., Molina, A., Berruga, M. (2022). Chia Seed Mucilage Edible Films with Origanum vulgare and Satureja montana Essential Oils: Characterization and Antifungal Properties. *Membranes*, 12(2), 213. <https://doi.org/10.3390/membranes12020213>

Nava, R. (2014). *Efecto de un recubrimiento comestible activo a base de almidón modificado durante el almacenamiento de fresa (Fragaria ananassa)* [Tesis de pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].

Neves, G., Fernández, M., Solís, S., Castro, N. y Serrano, C. (2020). Estudio químico del aceite esencial de la “Yareta” *Smallanthus parviceps* (Blake) Rob. *Rev Soc Quím Perú*, 86(2). 143-151.

Nizama, W. (2021). *Técnicas de extracción de almidón de frutas y residuos vegetales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Frontera]. <https://repositorio.unf.edu.pe/bitstream/handle/UNF/125/7.%20NIZAMA%20NOLE%20WILSON%20RAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NMX-F-063. (1978). Aceite esencial de naranja dulce centrifugado. Sweet orange volatile oil. Normas mexicanas. *Dirección General de Normas*. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-063-1978.PDF>

Norma técnica Peruana, NTP-ISO 279:2011 (revisada el 2016). Aceites Esenciales. Determinación de la densidad relativa a 20 °C. Método de referencia. 1a Edición

Norma técnica Peruana, NTP-ISO 280:2011 (revisada el 2016). Aceites Esenciales. Determinación del índice de refracción. 1a Edición

Ñahuinlla, M. (2018). *Optimización del protocolo de micropropagación in vitro con cuatro cultivares de fresa (Fragaria x ananassa Duch.)* [Tesis de pregrado, Universidad

- Nacional Agraria La Molina].  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3102/%C3%B1ahuinlla-arone-monica-endalencia.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Ocadiz, M. (2014). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento de nanopartículas lipídicas sólidas (NLS) sobre la vida útil de fresa (Fragaria x ananassa) almacenada en refrigeración* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Oliveira Filho, J., da Cruz Silva, G., de Aguiar, A., Cipriano, L., Cordeiro, H., Bogusz, S. & Ferreira, M. (2021). Chemical composition and antifungal activity of essential oils and their combinations against *Botrytis cinerea* in strawberries. *Food Measure* 15, 1815–1825. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00765-x>
- Oñate, L. (2018). *Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (Fragaria x ananassa Duchesne) en base a almidón de papa china (Colocasia esculenta Schott) de la variedad blanca* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28391/1/AL%20685.pdf>
- Ordu, J. y Asuoma, N. (2021). Isolation and Characterization of Starch From *Mangifera Indica* Seed Kernel As A New Pharmaceutical Excipient. *International Journal of Pharmaceutical Science Invention*, 10(3), 38-45.  
[http://www.ijpsi.org/Papers/Vol10\(3\)/E10033845.pdf](http://www.ijpsi.org/Papers/Vol10(3)/E10033845.pdf)
- Ortiz, M. (2019). *Evaluación de un bioplástico a partir de almidón de semillas de mango (mangifera indica) con aplicación potencial en envases* [Tesis de pregrado, Universidad El Bosque].  
[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2106/Ortiz\\_Ramirez\\_Maria\\_Alejandra\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2106/Ortiz_Ramirez_Maria_Alejandra_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Osorio, N. y Yáñez, M. (2018). *Obtención de un recubrimiento comestible a base de mucílago de nopal (opuntia spp.) y aceite esencial de romero (rosmarinus officinalis)* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5445/6/PC-000407.pdf>
- Pacheco, C. (2021). *Obtención y caracterización del aceite esencial de manzanilla (Matricaria recutita L.) mediante microondas y arrastre con vapor* [Tesis de pregrado,

- Universidad Nacional Agraria La Molina].  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4624/pacheco-ferre-r-claudia-fernanda.pdf.txt?sequence=3>
- Palacios, T. (2022). *Aplicación de extracto de cabuya azul (Agave salmiana) en el recubrimiento de fresas para su conservación en refrigeración* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de La Selva].
- Pandey, A., Kumar P., Singh, P., Tripathi, N. y Bajpai, V. (2017). Essential Oils: Sources of Antimicrobials and Food Preservatives. *Front Microbiol.*
- Perdana, M., Panphon, S., Ruamcharoen, J. and Leelakriangsak, M. (2022) Antimicrobial Property of Cassava Starch/Chitosan Film Incorporated with Lemongrass Essential Oil and Its Shelf Life. *J Pure Appl Microbiol*, 16(4):2891-2900. doi: 10.22207/JPAM.16.4.64
- Pérez, A., Benítez, I., Eduardo, L., López, Y. y Rodríguez, A. (2018). Perspectivas para la Producción de Ácido cítrico. *Rev. Tayacaja*, 1(1): 08-16.  
<http://dx.doi.org/10.46908/rict.v1i1.2>
- Pérez, A. (2021). *Evaluación para la obtención de almidón aprovechando los residuos de mango (Mangifera indica l.) para la producción de un biopolímero* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América].  
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8679/1/6142361-2021-2-IQ.pdf>
- Petriccione, M., Mastrobuoni, F., Pasquariello, M., Zampella, L., Nobis, E., Caprioloy, G., Scortichini, M. (2015). Effect of Chitosan Coating on the Postharvest Quality and Antioxidant Enzyme System Response of Strawberry Fruit during Cold Storage. *Journals Foods*, 4(4), 501-523.
- Piedrahita, A. y Villegas, C. (2016). *Efecto de la aplicación de un cubrimiento comestible en la conservación de las características sensoriales y tiempo de almacenamiento de la mora de castilla (Rubus glaucus Benth.) sin espinas poscosecha* [Trabajo de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].



<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/4b605d7c-0165-437e-9b1e-8094cad99df5/content>

- Pineda, D. (2019). *Efecto de la temperatura y humedad sobre la estructura del almidón retrogradado* [Tesis de posgrado, Instituto Politécnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27504/DELIA%20NOHEMI%20PINEDA%20CRUZ.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Pinzon, M., Sánchez, L., García, O., Gutierrez, R., Luna, J. y Villa, C. (2020). Increasing shelf life of strawberries (*Fragaria ssp*) by using a banana starch-chitosan-Aloe vera gel composite edible coating. *International Journal of Food Science and Technology*.
- Piza, A. (2017). *Evaluación tecno-económica para la producción de ácido cítrico y ácido glucónico*. [Tesis de posgrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/4887/FIQ-M-2017-1525.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/4887/FIQ-M-2017-1525.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pizato, S., Vega, S., Costa, R., Arévalo, R. y Cortez, W. (2022). Impact of Chitosan Coatings Enriched with Clove Essential Oil on Quality of Minimally Processed Strawberries. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65(2). <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210278>
- Polich, N. (2019). *Glicerol, alternativas como materia prima para productos de mayor valor agregado* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Litoral]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1207/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ponce, P. (2022). *Evaluación de la vida útil de fresa (*Fragaria x ananassa duch*) var. San Andreas por efecto de la aplicación de cloruro de calcio en envases con cubierta de plástico en cámaras frigoríficas, en el fundo la Banda Buasacache de la Universidad Católica de Santa María, Arequipa – 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11718/4I.0312.AG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Popescu, P., Palade, L., Nicolae, I., Popa, E., Mitelut, A., Draghici, M., Matei, F., Popa, M. (2022). Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage. *Foods*, 11(2).
- Prabu, K. y Natarajan, E. (2012). In Vitro Antimicrobial and Antioxidant Activity of Chitosan Isolated from *Podophthalmus Vigil*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(9), 075-082. [https://japsonline.com/admin/php/uploads/637\\_pdf.pdf](https://japsonline.com/admin/php/uploads/637_pdf.pdf)
- Proaño, V. (2021). *Obtención de una película a partir de cáscara de mango (Mangifera indica) para el uso en alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Qamar, J., Ejaz, S., Akbar, M., Nawaz, A., Hussain, S., Ali, S. y Saleem, S. (2018). Effect of Aloe vera Gel, Chitosan and Sodium Alginate Based Edible Coatings on Postharvest Quality of Refrigerated Strawberry Fruits of cv. Chandler. *Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(1), 8 - 16.
- Quintana, S., Llalla, O., García, L., García, M., Fornari T. (2020). Preparación y caracterización de recubrimientos de regaliz-quitosano para el tratamiento poscosecha de fresas frescas. *Ciencias Aplicadas*, 10(23). <https://doi.org/10.3390/app10238431>
- Quiroga, L. (2019). *Evaluación de biopolímeros (quitina y quitosano) extraídos a partir del caparazón de cangrejo procambarus clarkii - girard 1852 (crustacea:cambaridae), paipa-boyacá* [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. Recuperado de: [https://repositorio.uptc.edu.co/jspui/bitstream/001/3802/1/Evaluacion\\_de\\_biopolimero\\_s.pdf](https://repositorio.uptc.edu.co/jspui/bitstream/001/3802/1/Evaluacion_de_biopolimero_s.pdf)
- Quispe, F. y Villa, Y. (2021). Evaluación de la actividad sinérgica entre quitosano de pluma de pota (*Dosidicus gigas*) y ácido cítrico en el pardeamiento enzimático de la pulpa de chirimoya (*Annona cherimola* Mill.). *Rev. Soc. Química*, 87(3), 261-277. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2021000300261](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2021000300261)

- Reddy, K., y Singh, J. (2020). Edible Coatings in Fruits-A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 2953-2969. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.359>
- Restrepo, J. y Aristizábal, I. (2010). Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba. *Vitae*, 17(3), 252-263.
- Rezende, J., Fernandes, C., Costa, A., Sousa, I., Vicente, F., Sperandio, E., Souchie, E., Colli, A., Miller, A. y Dantas, M. (2020). Antifungal potential of essential oils from two varieties of *Citrus sinensis* (lima orange and bahia navel orange) in postharvest control of *Rhizopus stolonifer* (Ehrenb.: Fr.) Vuill. *Food Sci. Technol*, 40(2), 405-409. <https://doi.org/10.1590/fst.30519>
- Robayo, D. y Salazar, J. (2018). *Desarrollo de un recubrimiento comestible natural a base de mucílago de chía (Salvia hispánica l) y aceite esencial de naranja (Citrus × aurantium)* [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5239/6/PC-000335.pdf>
- Rodríguez, F. (2022). *Síntesis y análisis del proceso de obtención de un bioplástico biodegradable a partir del almidón de chirivía (Pastinaca Sativa) para el uso en el embalaje de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Rodríguez, N. (2017). *Efecto del quitosano como revestimiento comestible en yacón (smallanthus sonchifollus) mínimamente procesado para aumentar su vida útil* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1720/T016\\_45331329\\_T.pdf.pdf?sequence=1](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1720/T016_45331329_T.pdf.pdf?sequence=1)
- Rojas, D. (2022). *Evaluación de un recubrimiento comestible con la adición de proteína de suero lácteo y aceite de oliva en la conservación de fresas (Fragaria)* [Tesis pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8745/1/PC-002277.pdf>

- Rojas, J. (2017). *Aplicación de almidones nativos y modificados en el desarrollo de postres instantáneos: mazamorras* [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina].  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3029/Q02-R653-T.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Ruiloba, I., Li, E., Quintero, R. y Correa, J. (2018). Elaboración de bioplástico a partir de almidón de semillas de mango. *Revista De Iniciación Científica*, 4(2), 28-32.  
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1815/html>
- Ruiz, M. (2018). *Aplicación de Quitosano con Aceites Esenciales contra Botrytis cinerea Pers. "Moho Gris" en Lycopersicon esculentum P. Mill "Tomate"* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma].  
[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/1677/Ruiz\\_mr.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/1677/Ruiz_mr.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Saeed, S., Singh, R. y Mohammed, S. (2022). Antimicrobial activity of chitosan nanoparticles. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1874-1880.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13102818.2022.2027816>
- Sánchez, A., Vera, R., Muñoz, E., Gómez, E., Bernad, J. y Maciel, A. (2016). Preparación y caracterización de membranas poliméricas electrohiladas de policaprolactona y quitosano para la liberación controlada de clorhidrato de tiamina. *Ciencia en Desarrollo*, 7(2).
- Sandoval, G., Jiménez, R. y Santoyo, G. (2018). Compósitos de quitosano-ácidos grasos reducen la infección de Botrytis cinerea en fresa en poscosecha. *Nova scientia*, 10(21), 207-227. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/2033/203359541012/203359541012.pdf>
- Santacruz, S., Rivadeneira, C., y Castro, M. (2015). Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. *Food Hydrocolloids*, 49(1), 89-94.
- Saquina, D. (2018). *Evaluación de la actividad antibacteriana del aceite esencial de naranja (Citrus sinensis) sobre la cepa de Staphylococcus aureus* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28463/1/Tesis%20141%20Medicina%20Veterinaria%20y%20Zootecnia%20-CD%20590.pdf>

Saraguro, K. (2023). *Análisis de los canales de comercialización de la fresa (Fragaria) en las parroquias San Lucas, Chuquiribamba y la ciudad de Loja* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27111/3/KatherineGuissela\\_SaraguroCalle.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27111/3/KatherineGuissela_SaraguroCalle.pdf)

Shahat, M., Mohamed, M., Osheba, A., Taha, M. (2020). Improving the quality and shelf-life of strawberries as coated with nano-edible films during storage. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research V*; 45(2), 1-14.

Sharma, K., Mahato, N., Cho, M. H., & Lee, Y. R. (2017). *Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmently friendly approaches*. *Nutrition*, 34, 29–46. doi:10.1016/j.nut.2016.09.006

Segura, M. (2019). *Aplicación de un recubrimiento comestible a base de nanoemulsión de aceite esencial de canela (Cinnamomun verum) y alginato de sodio en la calidad postcosecha del arándano azul (Vaccinium corymbosum)* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3162/Michelle\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3162/Michelle_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Seyedzade Hashemi S, Khorshidian N y Mohammadi M (2022) Una visión de la aplicación potencial de películas y recubrimientos comestibles simbióticos en productos alimenticios. *Frente. Nutrición*, 9(2). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.875368/full>

Shi, Y., Huang, S., He, Y., Wu, J. y Yang, Y. (2018). Navel Orange Peel Essential Oil To Control Food Spoilage Molds in Potato Slices. *Journal of Food Protection*, 81(9), 1496-1502. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0362028X22086847>

Siancas, J. (2021). *Determinación de la presión de vacío óptima para mejorar el rendimiento y la calidad del aceite esencial de limón sutil (Citrus Aurantifolia) obtenido por hidrodestilación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura].

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2821/IQUI-SIA-FEB-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Solis, E. (2021). *Efecto de tres ingredientes activos para el control de Botrytis cinerea en calidad de frutos de fresa (Fragaria ananassa)* [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro].

[http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/20.500.129076/20091/Tesis\\_69221.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/20.500.129076/20091/Tesis_69221.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sondari, D., Ningrum, R., Triwulandari, E., Nurhayat, O., Putri, R., Pramasari, D., y Restu, W. (2021). Characterization of biodegradable edible film based on cassava loaded with chitosan. *Transforming Research and Education of Science and Mathematics in the Digital Age*.

Soto, M. (2020). *Películas comestibles para alimentos con propiedades antimicrobianas* [Tesis de posgrado, Universidad Técnica Particular de Loja].

Suriati, L. y Suardani, N. (2020). Edible Coating Base on Aloe Gel with Additives on Strawberry Fruit. *Sustainable Environment Agricultural Science*, 4(1), 18 - 25.

Suriati, L., Made, N. y Hendromita, W. (2021). Edible Coating of Aloe Gel for Maintain Quality of Strawberry Fruit During Storage. *Earth and Environmental Science*.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/709/1/012029/pdf>

Tesfaye, T. y Sithole, B. (2020). Valorisation of mango seeds via extraction of starch: using response surface methodology to optimise the extraction process. *International Journal of Food Properties*, 15(2), 815-822.

Than, M. (2017). Determination of Vitamin C Content and Extraction of Pigments from *Fragaria ananassa* (Strawberry). *Research Journal*, 8(1).

Thory, R. y Singh, K. (2017). A Comparison of mango kernel starch with a novel starch from litchi (*Litchi chinensis*) kernel: Physicochemical, morphological, pasting, and rheological properties. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 911-921.

Toro, G. (2019). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y microbiológicas del almidón de arracacha (Arracacia xanthorrhiza) de las variedades*

- blanca, amarilla y morada* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José María Arguedas].  
[https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/584/Dannya\\_Tesis\\_Bachiller\\_%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unajma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14168/584/Dannya_Tesis_Bachiller_%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Torres, C. (2017). *Estudio del efecto de recubrimientos a base de almidón y quitosano con incorporación de cera de candelilla en la vida útil de fresas cultivadas en Colombia* [Tesis de posgrado, Universidad de los Andes].  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a3e5a37b-ee5-4f2c-bcc8-984b356001a9/content>
- Torres, C. (2018). *Microencapsulación de aceite esencial de naranja y sus concentrados mediante emulsiones e inclusión molecular para la estabilización y preservación de su actividad antimicrobiana y antioxidante*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/16686/1/1080290318.pdf>
- Treviño, M., García, S., Flores, M. y Arévalo, K. (2015). Edible Active Coatings Based on Pectin, Pullulan, and Chitosan Increase Quality and Shelf Life of Strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Science*, 80(8), 1823-1830.  
<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1750-3841.12938>
- Tumbariski, Y., Nikolova, R., Petkova, N., Ivanov, I., & Lante, A. (2019). Biopreservation of Fresh Strawberries by CarboxymethylCellulose Edible Coatings Enriched with a Bacteriocin from *Bacillus methylotrophicus* BM47. *Food technology and biotechnology*, 57(2), 230–237. <https://doi.org/10.17113/ftb.57.02.19.6128>
- Uceda, E. (2019). *Efecto de la adición de aceite esencial de orégano (Origanum vulgare) a un recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de fresas (Fragaria vesca L.) almacenadas en refrigeración* [Tesis pregrado, Universidad César Vallejo].  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38985/uceda\\_ge.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38985/uceda_ge.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ulfah, M. (2018). Characteristics of water solubility and color on edible film from bioselulosa nata nira siwalan with the additional of glycerol. *Journal of Physics*, 14(2), 245 - 678.

- Urquizo, K. (2020). *Obtención y caracterización funcional de harina y almidón de banano (Musa acuminata variedad Cavendish), a partir del rechazo obtenido de la industria bananera* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6553/1/OBTENCI%c3%93N%20Y%20CARACTERIZACI%c3%93N%20FUNCIONAL%20DE%20HARINA%20Y%20ALMID%c3%93N%20DE%20BANANO.pdf>
- Usman, N., Agwamba, E., Hassan, L., Almustapha, N. y Achor, M. (2022). Extraction and Characterization of Cassava, Potato and Mango Starches. *Caliphate Journal of Science and Technology*, 2, 221-230. [https://www.researchgate.net/publication/362615894\\_Extraction\\_and\\_Characterization\\_of\\_Cassava\\_Potato\\_and\\_Mango\\_Starches](https://www.researchgate.net/publication/362615894_Extraction_and_Characterization_of_Cassava_Potato_and_Mango_Starches)
- Utami, R., Annisa, R., Praseptianga, D., Nursiwi, A., Sari, A., Ashari, H., Ikarini, I. and Hanif, Z. (2023). Effect of edible coating sodium alginate with addition of siam pontianak tangerine peel essential oil (*Citrus suhuinensis* cv Pontianak) on the physical quality of strawberries (*Fragaria ananassa*) during refrigeration temperature storage. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1200 012058.
- Vaishali, H., Sharma, S., Vipul, C. y Mithun, K. (2019). Importance of edible coating on fruits and vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 4104-4110. <https://www.phytojournal.com/archives/2019/vol8issue3/PartBI/8-3-524-110.pdf>
- Valdivieso, M., Gomez, C., Plaza, J. y Gil, Á. (2019). Propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras de los aceites esenciales: una revisión sistemática. *Nutrientes*, 11(11):2786. <https://doi.org/10.3390/nu11112786>
- Valencia, C., Vargas, M., Atarés, L. y Chiralt, A. (2017). Thermoplastic cassava starch-chitosan bilayer films containing essential oils. *Food Hydrocolloids*, 75(2), 107 - 115. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X1731367X>
- Valenzuela, C., Tapia, C., López, L., Bungler, A., Escalona, V., y Abugoch, L. (2015). Effect of edible quinoa protein-chitosan based films on refrigerated strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) quality. *Electronic Journal of Biotechnology*, 18(6), 406–411.



- Vázquez, M. y Guerrero, J. (2017). Efecto del aceite esencial de *Cymbopogon citratus* sobre propiedades fisicoquímicas en películas de quitosano. *Scientia Agropecuaria*, 8(4), 401 – 409. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v8n4/a11v8n4.pdf>
- Vélez, K. (2015). *Efecto de la aplicación de un recubrimiento a base de gelatina y ácido cítrico en la vida útil de las fresas (Fragaria Vesca L.)* [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. <https://core.ac.uk/download/pdf/157800224.pdf>
- Vellaisamy, A., Guruchandran, S., Bakshi, A., Muninathan, C. y Ganesan, N. (2021). Study on enhanced mechanical, barrier and optical properties of chemically modified mango kernel starch films. *Packag Technol Sci.*, 34(8), 485-495. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pts.2574>
- Ventura, R., Bautista, S., Flores, G. y Zavaleta, L. (2018). *Impact of chitosan based edible coatings functionalized with natural compounds on Colletotrichum fragariae development and the quality of strawberries.*
- Villamizar-Véliz, M. & Aular, Y. (2022). Revisión de los métodos de extracción del aceite esencial de lippia alba. *Revista Ingeniería UC*, 29(1), 3–14. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i1.90>
- Wang, Y., Li, R., Lu, R., Xu, J., Hu, K. & Liu, Y. (2019). Preparation of Chitosan/Corn Starch/Cinnamaldehyde Films for Strawberry Preservation. *Foods*, 8(9), 423. doi: 10.3390/foods8090423.
- Wani, I., Wani, A., Gani, A., Muzzaffar, S., Gul, M., Masoodi, F. & Wani, T. (2015). Effect of gamma-irradiation on physico-chemical and functional properties of arrowhead (*Sagittaria sagittifolia L.*) tuber flour. *Food Bioscience*, 11, 23-32. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429215000292>
- Xu, Y., Tong, Z., Zhang, X., Wang, Y., Fang, W., Li, L., & Luo, Z. (2019). Unveiling the mechanisms for the plant volatile organic compound linalool to control gray mold on strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Singh, A., Anurag, R. & Pandiselvam, R. (2022). Effect of mango kernel seed starch-based active edible coating functionalized with lemongrass essential oil on the shelf-life of guava fruit. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 14(3), 103–115. DOI: 10.15586/qas.v14i3.1094

- Yautibug, M. (2021). *Elaboración y caracterización de bioplásticos a partir de cáscaras de yuca (Manihot esculenta) para la envoltura de alimentos* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo].
- Yousuf, B., Sun, Y., & Wu, S. (2021). Lipid and Lipid-containing Composite Edible Coatings and Films. *Food Reviews International*, 1(24).
- Yusof, N., Jai, J. and Hamzah, F. (2019). Effect of Coating Materials on the Properties of Chitosan-Starch-Based Edible Coatings. *Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 507 012011.
- Yusof, N., Jai, J., Hamzah, F., Manshor, N. e Idris, S. (2020). Effect of Chitosan-Starch Enriched with Turmeric Essential Oil Coating on Physical Quality of Strawberry. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3), 2982-2986.
- Zambrano, R. (2019). *Influencia de la madurez en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial del fruto de naranjo tipo valencia* [Trabajo de Titulación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí].
- Zambrano, M., Quintanar, D., Del Real, A., González, R., Cornejo, M., y Gutiérrez, E. (2020). Effect of Nano-Edible Coating Based on Beeswax Solid Lipid Nanoparticles on Strawberry's Preservation. *Coatings*, 10(3), 253. <https://doi.org/10.3390/coatings10030253>
- Zambrano, J. (2022). *Recubrimiento para conservar banano mínimamente procesado* [Tesis de pregrado, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí]. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/4170/1/ULEAM-POSG-G.CA.S EG.ALIM-0036.pdf>
- Zavaleta, N. (2017). *Efecto de la cobertura de quitosano y aceite esencial de canela en la conservación de fresa (fragaria ananassa) var. Aroma, mínimamente procesada* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Zavaleta, M., Echevarría, C., León, J., Lescano, L., Sánchez, L., Linares, G., Lindsay, M. (2020). Coverage of chitosan and essential cinnamon oil for strawberry conservation (*Fragaria ananassa*) var. Aroma, minimally processed. *Proceedings of the LACCEI International Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, 470, 27-31. [https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full\\_papers/FP470.pdf](https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP470.pdf)
- Zhang, J. y Chen, X. (2022). Analysis of Components in Citrus Essential Oils and Their Anti-fungal Effects against *Botrytis cinerea*. *Modern Food Science & Technology*, 38(1), 315-323.

# ANEXOS

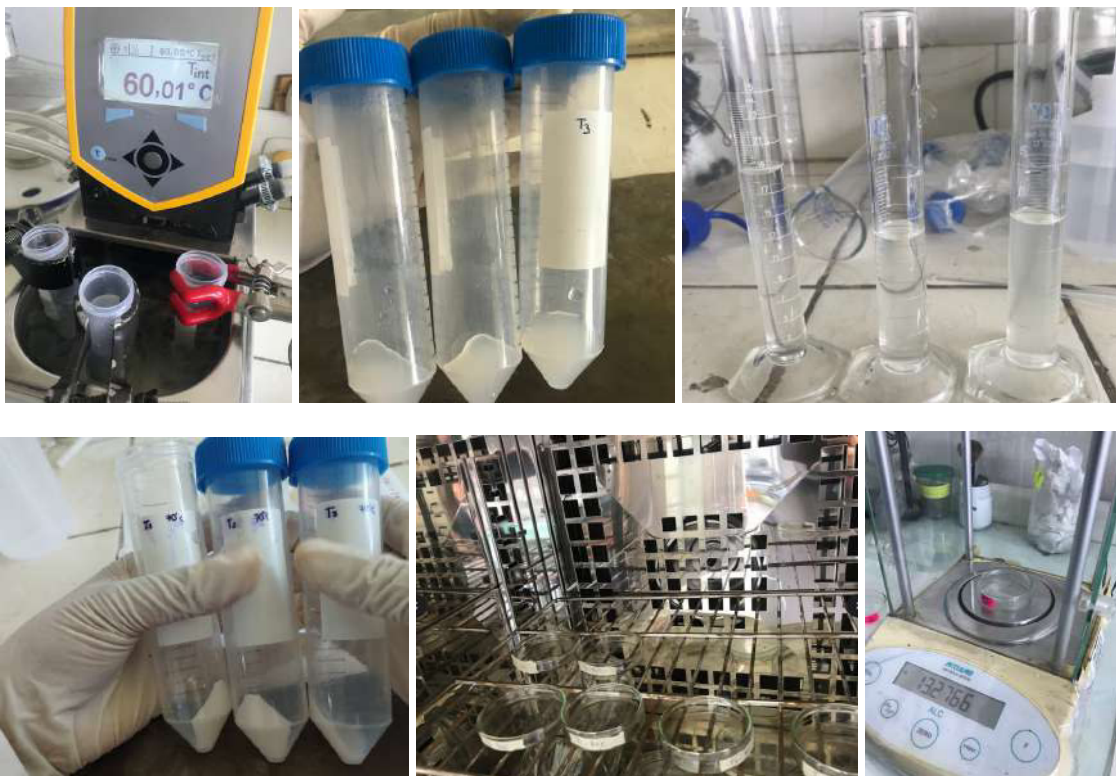
## ANEXO 1. Extracción de almidón



## ANEXO 2. Capacidad de absorción de agua del almidón



## ANEXO 3. Solubilidad y poder de hinchamiento del almidón





#### ANEXO 4. Determinación del contenido de amilosa y amilopectina del almidón



#### ANEXO 5. Viscosidad del almidón





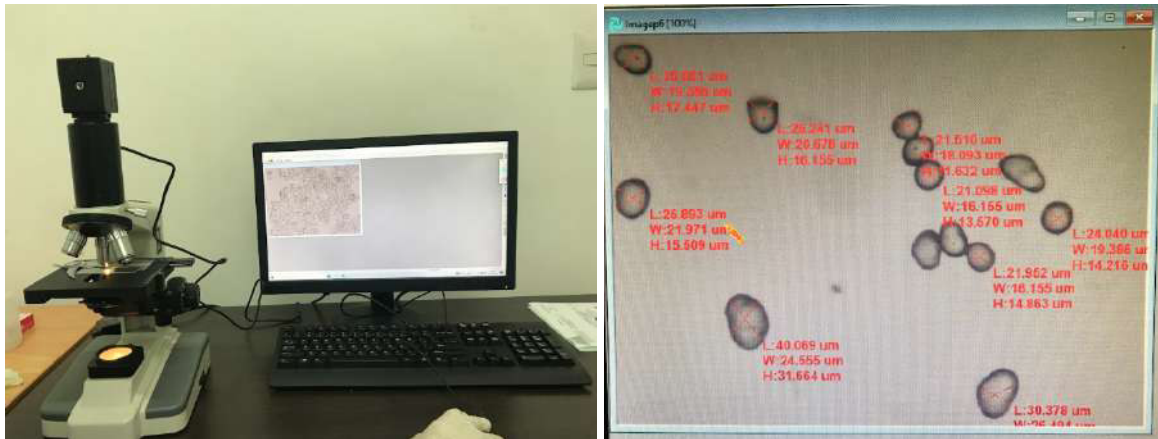
**ANEXO 6. Temperatura de gelatinización del almidón**



**ANEXO 7. Tamaño de partícula del almidón**







### ANEXO 8. Extracción de aceite esencial



### ANEXO 9. Densidad del aceite esencial

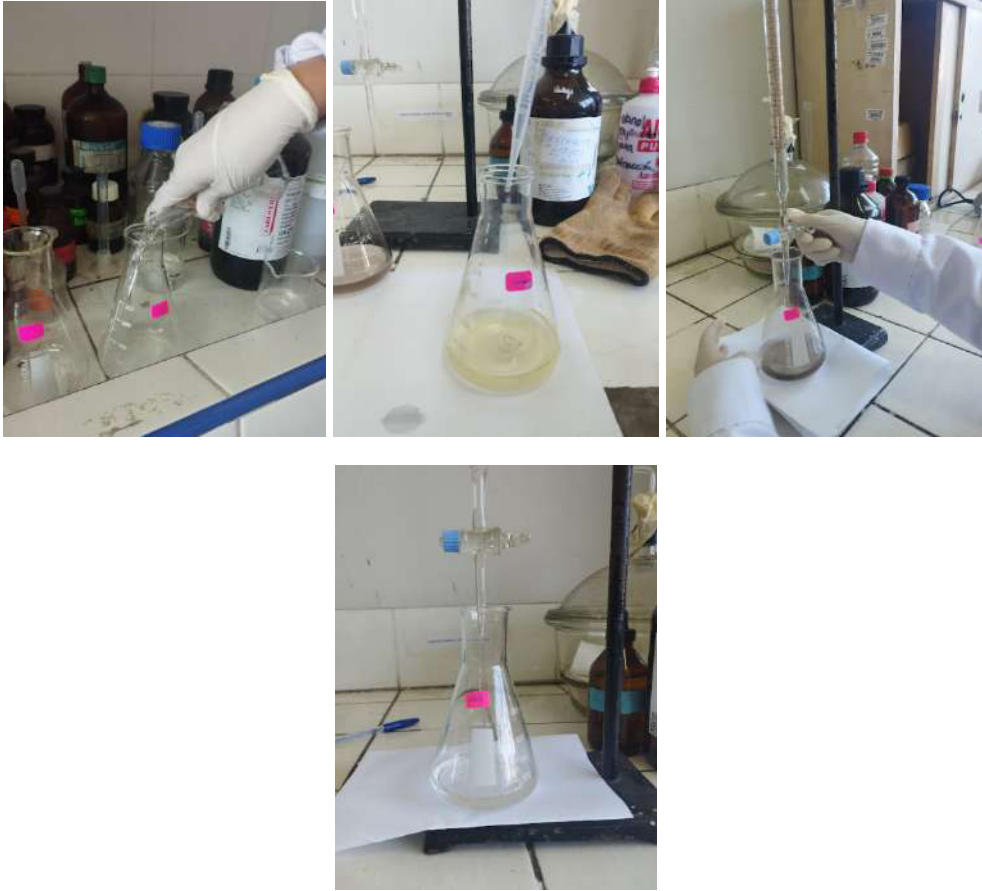


### ANEXO 10. Índice de refracción del aceite esencial





## ANEXO 11. Índice de peróxido del aceite esencial



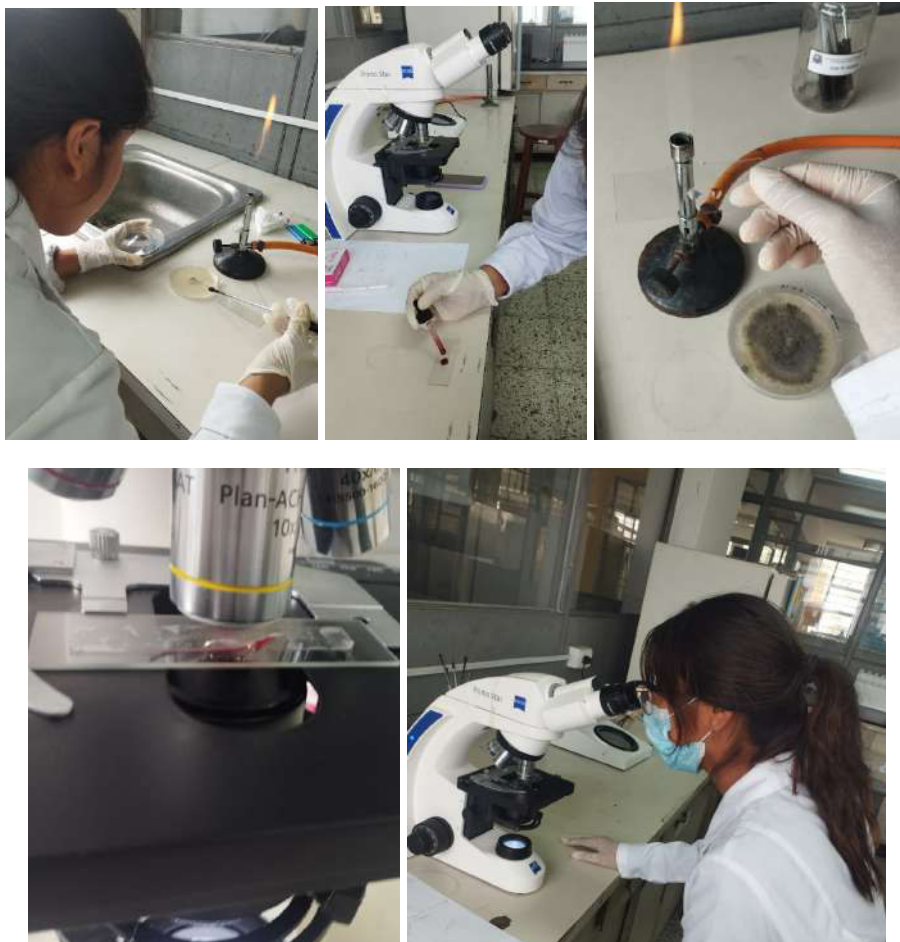
## ANEXO 12. Índice de acidez del aceite esencial



**ANEXO 13. Evaluación macroscópica de *Botrytis sp.***



**ANEXO 14. Evaluación microscópica de *Botrytis sp.***

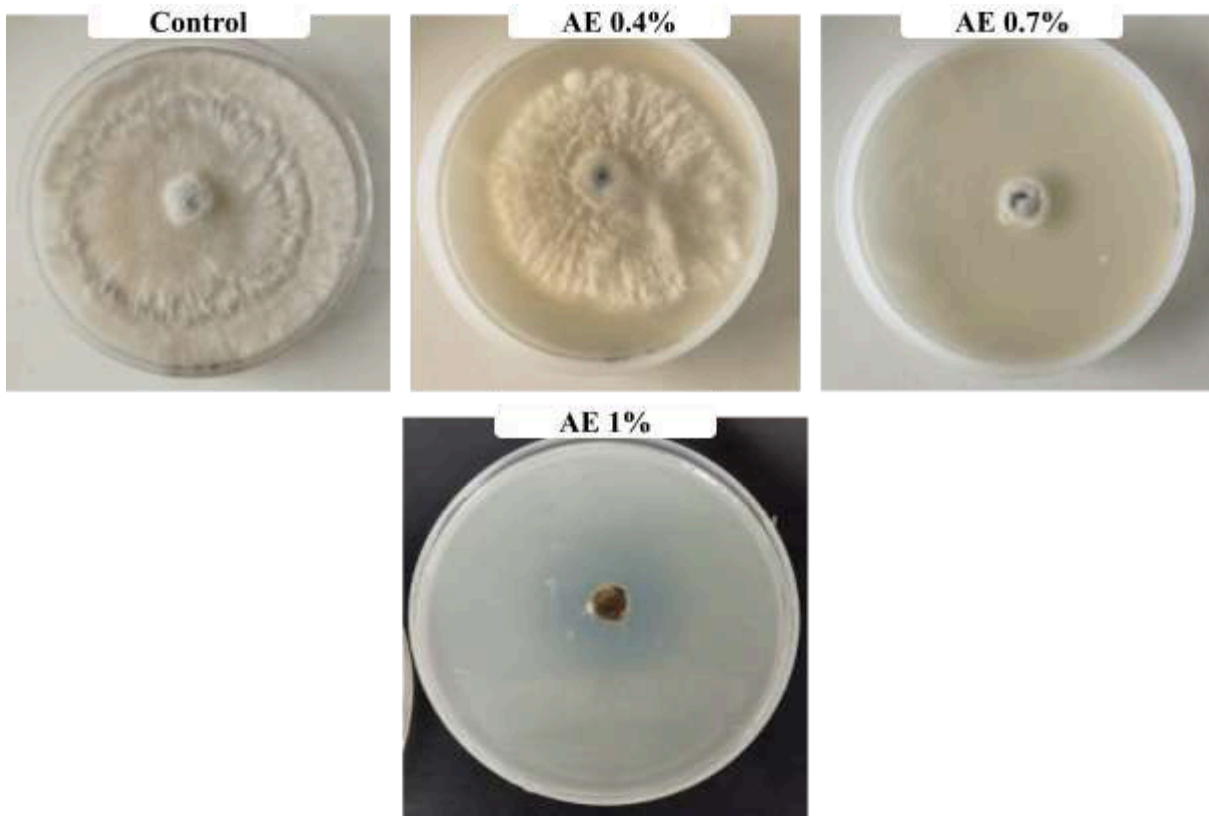


## ANEXO 15. Preparación de medio de cultivo para evaluar el efecto antifúngico

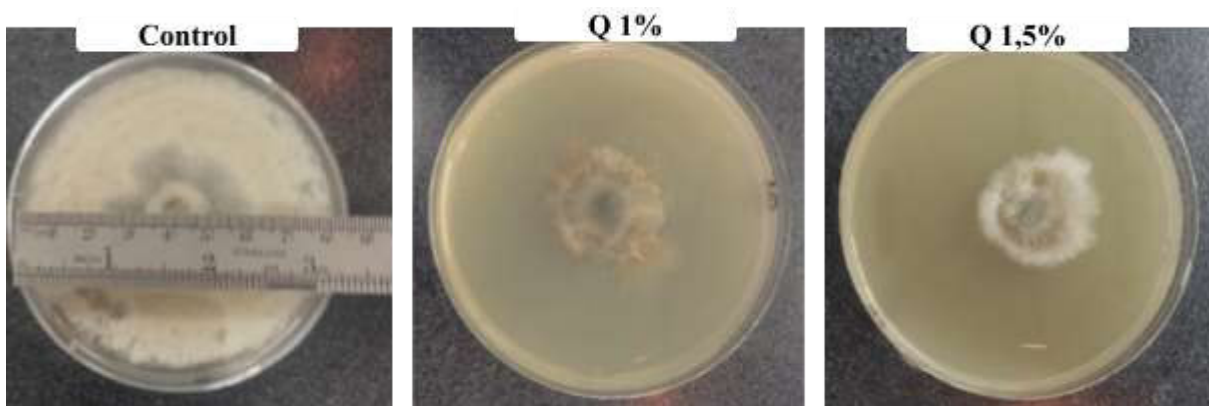




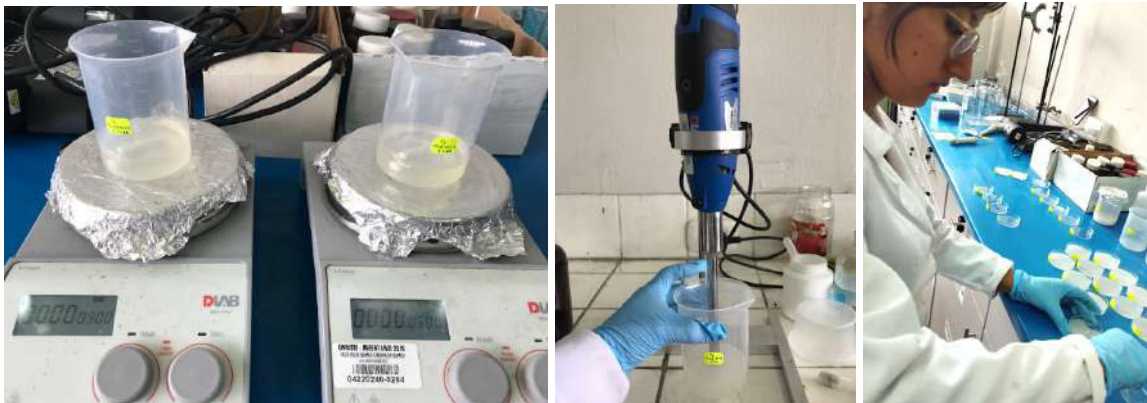
**ANEXO 16. Efecto antifúngico del aceite esencial**



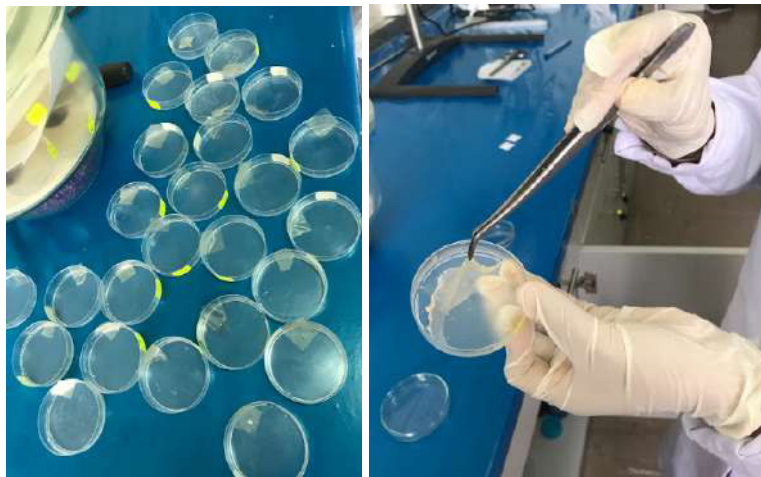
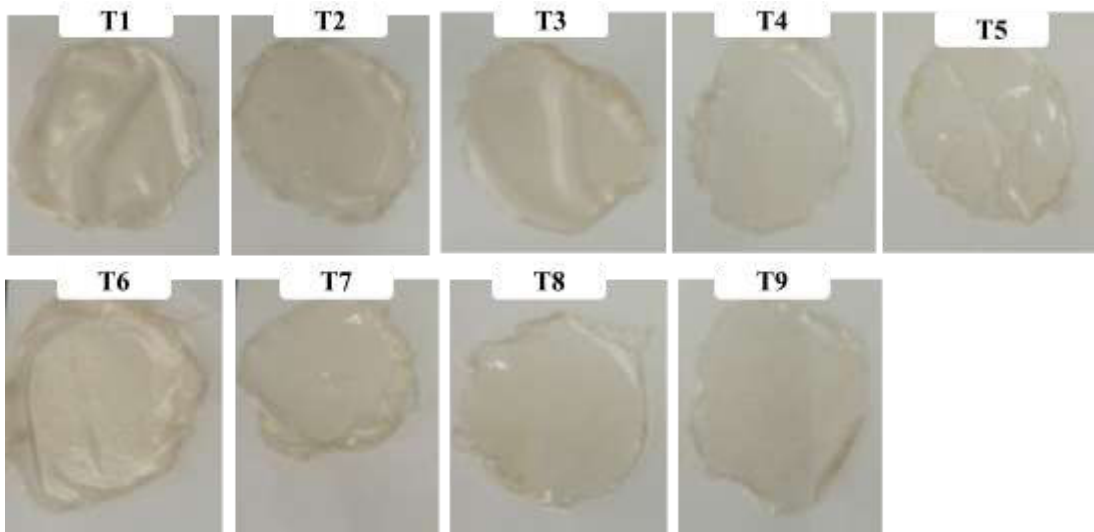
**ANEXO 17. Efecto antifúngico del quitosano**



## ANEXO 18. Preparación de la solución



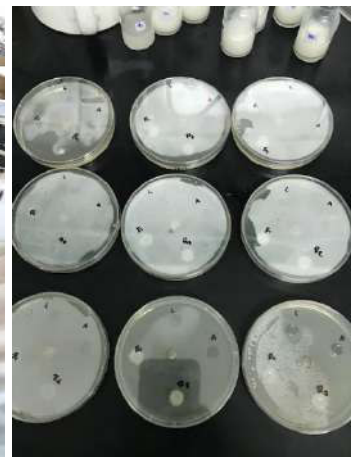
**ANEXO 19. Permeabilidad al vapor de agua de los diferentes tratamientos**

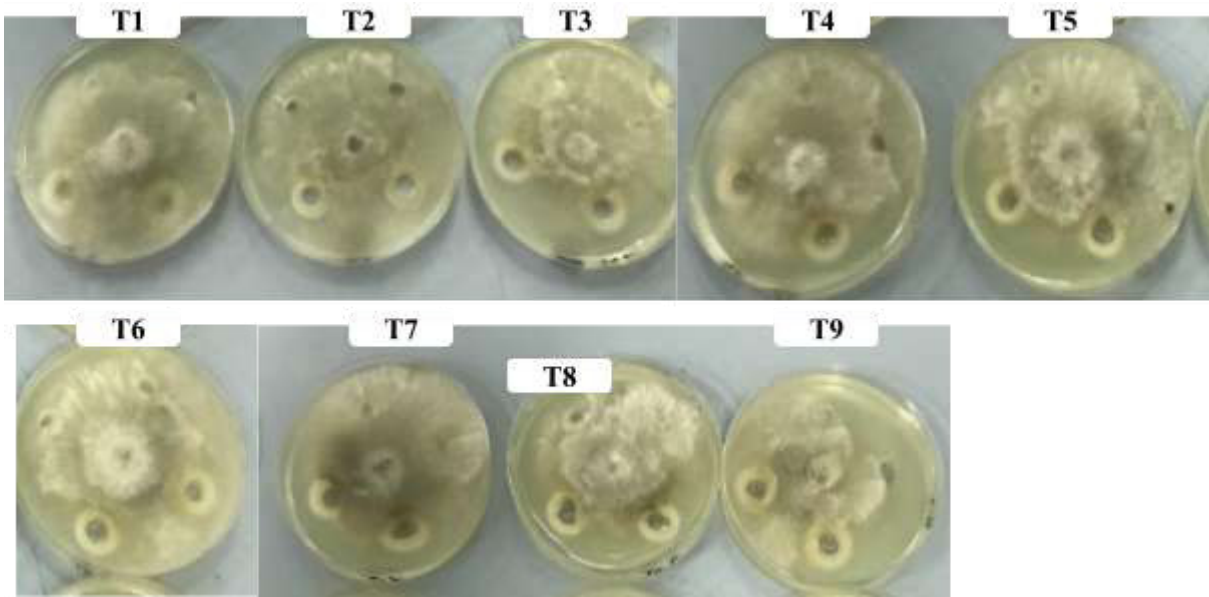






**ANEXO 20. Actividad antifúngica de la solución**

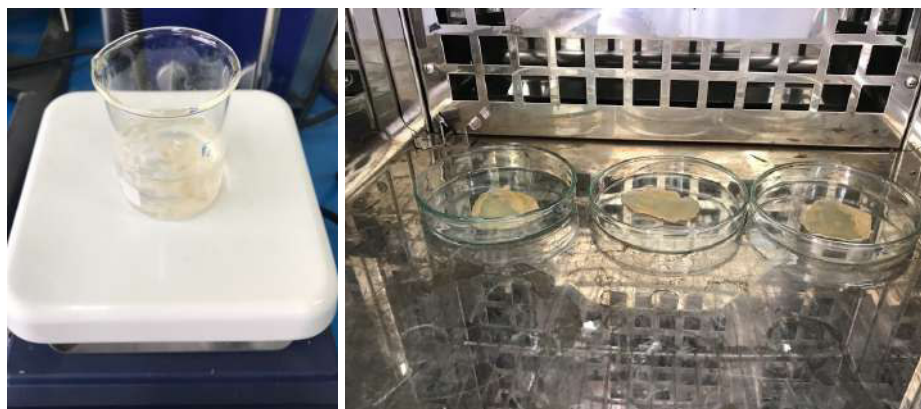




**ANEXO 21. Caracterización de humedad**

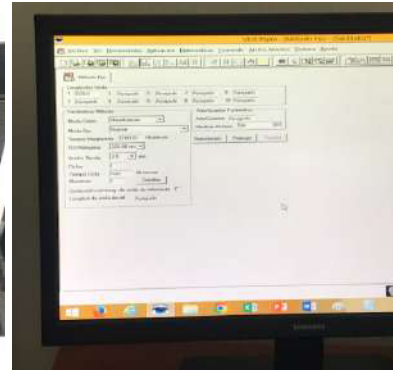
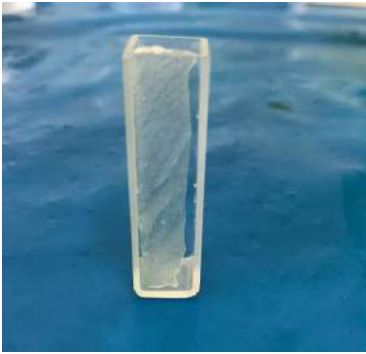


**ANEXO 22. Caracterización de solubilidad**





### ANEXO 23. Caracterización de opacidad



### ANEXO 24. Caracterización de IR



### ANEXO 25. Recolección de las fresas



**ANEXO 26. Acondicionamiento de las fresas**



## ANEXO 27. Textura



## ANEXO 28. Sólidos solubles totales



## ANEXO 29. pH





### ANEXO 30. Acidez titulable



### ANEXO 31. Color



### ANEXO 32. Vitamina C



### ANEXO 33. Contenido de antocianinas



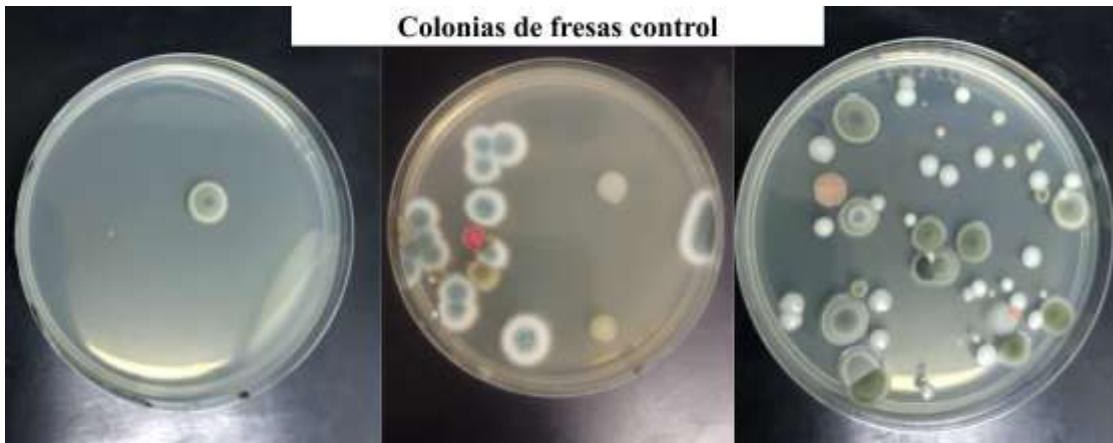
### ANEXO 34. Contenido de compuestos fenólicos



### ANEXO 35. Recuento de mohos y levaduras



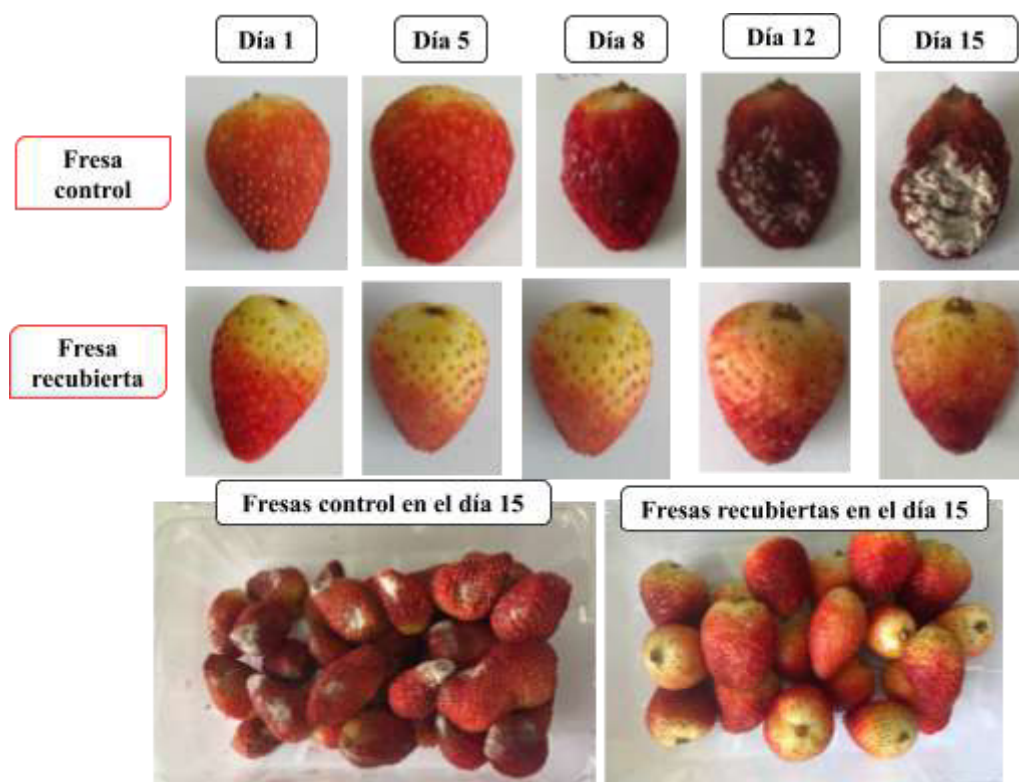




**ANEXO 36. Evaluación sensorial**



### ANEXO 37. Fresa control y fresa recubierta durante su almacenamiento



### ANEXO 38. ANOVA de permeabilidad al vapor de agua

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Proporción de quitosano:almidón	0,657422	1	0,657422	50,39	0,0000
B:Concentración de aceite esencial	1,56056	1	1,56056	119,61	0,0000
AA	0,0208074	1	0,0208074	1,59	0,2205
AB	0,0208333	1	0,0208333	1.60	0,2202
BB	0,00907407	1	0,00907407	0,70	0,4137
Error total	0,273981	21	0,0130467		
Total (corr.)	2,54267	26			



**ANEXO 39. ANOVA de actividad antifúngica**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Proporción de quitosano:almidón	1,61333	1	1,61333	17,23	0,0013
B:Concentración de aceite esencial	30,4008	1	30,4008	324,76	0,0000
AA	0,16	1	0,16	1,71	0,2156
AB	0,045	1	0,045	0,48	0,5013
BB	0,7225	1	0,7225	7,72	0,0167
Error total	1,12333	12	0,0936111		
Total (corr.)	34,065	17			

**ANEXO 40. Prueba T student para la pérdida de peso durante los días de almacenamiento**

<b>Día 5</b>						
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,6017	9,48	2 0,0007
15,40	6,94	1,67	0,72			
<b>Día 8</b>						
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,1028	14,40	4 0,0001
29,32	12,17	4,04	0,22			
<b>Día 12</b>						
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl p-valor</b>

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
46,66	3,82	19,25	0,72	0,3163	22,30	4	<0,000 1

**Día 15**

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
61,27	0,74	24,07	2,31	0,4852	36,90	4	<0,000 1

**ANEXO 41. Prueba T student para la textura durante los días de almacenamiento**

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
1653,92	0,63	1645,91	0,35	0,7145	14,01	4	0,0002

**Día 1**

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
1512,54	0,34	1531,64	0,49	0,8160	-36,25	4	<0,000 1

**Día 5**

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
715,91	0,44	1281,93	0,46	0,9755	-1034,21	4	<0,000 1

**Día 8**

Control		Fresa recubierta		pHomVar	T	gl	p-valor
Media	Varianza	Media	Varianza				
556,35	0,29	952,40	0,34	0,9175	-860	4	<0,000 1

**Día 12**

Día 15						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,7590	-977,27	4 <0,0001
279,16	786,90	0,31	0,50			

**ANEXO 42. Prueba T student para los sólidos solubles durante los días de almacenamiento**

Día 1						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	<0,0001	20,00	2 0,0025
6,87	6,20	3,3E-03	0,00			

Día 5						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	16.26	4 0,0001
7,33	6,57	3,3E-03	3,3E-03			

Día 8						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5000	17,50	4 0,0001
8,07	6,90	3,3E-03	0,01			

Día 12						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,0937	4,38	4 0,0119
8,67	7,50	0,20	0,01			

Día 15						
Media		Varianza		pHomVar	T	gl p-valor

Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,1429	10,96	4	0,0004
8,73	7,37	0,04	3,3E-03				

**ANEXO 43. Prueba T student para la acidez titulable durante los días de almacenamiento**

<b>Día 1</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta				
0,36	0,36	3,3E-05	3,3E-05	>0,9999	0	4	>0,9999
							9
<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta				
0,29	0,32	3,3E-05	3,3E-05	>0,9999	-6,36	4	0,0031
<b>Día 8</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta				
0,24	0,30	3,3E-05	3,3E-05	>0,9999	-12,73	4	0,0002
<b>Día 12</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta				
0,19	0,30	3,3E-05	3,3E-05	>0,9999	-21,92	4	<0,0001
<b>Día 15</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta				
0,17	0,24	3,3E-05	3,3E-05	>0,9999	-13,44	4	0,0002

**ANEXO 44. Prueba T student para el color durante los días de almacenamiento**

<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5989	18,01	2	0,0031
3,76	1,38	0,03	0,01				
<b>Día 8</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5459	17,67	2	0,0032
4,86	1,46	0,01	0,06				
<b>Día 12</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,2555	27,58	2	0,0013
6,34	2,19	0,04	1,8E-03				
<b>Día 15</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,3631	12,95	2	0,0059
7,55	2,63	0,02	0,27				

**ANEXO 45. Prueba T student para el contenido de antocianinas durante los días de almacenamiento**

<b>Día 1</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5549	-2,60	4	0,0604
20,52	20,68	3,0E-03	0,01				
<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,8778	84,49	4	<0,000 1
25,88	21,70	3,2E-03	4,1E-03				
<b>Día 8</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,0680	83,19	4	<0,000 1
28,78	24,80	0,01	2,3E-04				
<b>Día 12</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,9030	-4,15	4	0,0142
23,64	23,87	4,0E-03	4,9E-03				
<b>Día 15</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,1702	-130, 37	4	<0,000 1
18,50	23,66	4,3E-03	4,0E-04				

**ANEXO 46. Prueba T student para los compuestos fenólicos durante los días de almacenamiento**

<b>Día 1</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,7853	-23,70	4	<0,0001
144,60	160,47	0,82	0,53				
<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,2803	-114,09	4	<0,0001
104,56	146,61	0,35	0,06				
<b>Día 8</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5424	-140,77	4	<0,0001
94,52	153,18	0,14	0,38				
<b>Día 12</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,1176	-152,80	4	<0,0001
101,40	163,53	0,03	0,47				
<b>Día 15</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5386	-149,10	4	<0,0001
92,90	152,49	0,13	0,35				

**ANEXO 47. Prueba T student para el recuento de mohos y levaduras durante los días de almacenamiento**

<b>Día 1</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	0,0	4	>0,9999
10	10	0,33	0,33				
<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	453,16	4	<0,0001
520	150	1	1				
<b>Día 8</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	1592,17	4	<0,0001
1500	200	1	1				

**ANEXO 48. Prueba T student para el pH durante los días de almacenamiento**

<b>Día 1</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0.5	1	4	0,3739
3,71	3,70	1,0E-04	3,3E-05				
<b>Día 5</b>							
<b>Media</b>		<b>Varianza</b>		<b>pHomVar</b>	<b>T</b>	<b>gl</b>	<b>p-valor</b>
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,0198	1,19	4	0,3549
4,03	3,99	3,3E-03	3,3E-05				
<b>Día 8</b>							



Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	24,04	4	<0,000 1
4,43	4,31	3,3E-05	3,3E-05				
Día 12							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	10,61	4	0,0004
4,61	4,56	3,3E-05	3,3E-05				
Día 15							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	>0,9999	28,67	4	<0,000 1
4,75	4,63	3,3E-05	3,3E-05				

**ANEXO 49. Prueba T student para el contenido de ácido ascórbico durante los días de almacenamiento**

Día 1							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	<0,0001	-2	2	0,1835
66	66	0,33	0				
Día 5							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	<0,0001	-2	2	0,1835
66	66	0,33	0				
Día 8							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	<0,0001	-39	2	<0,000 1

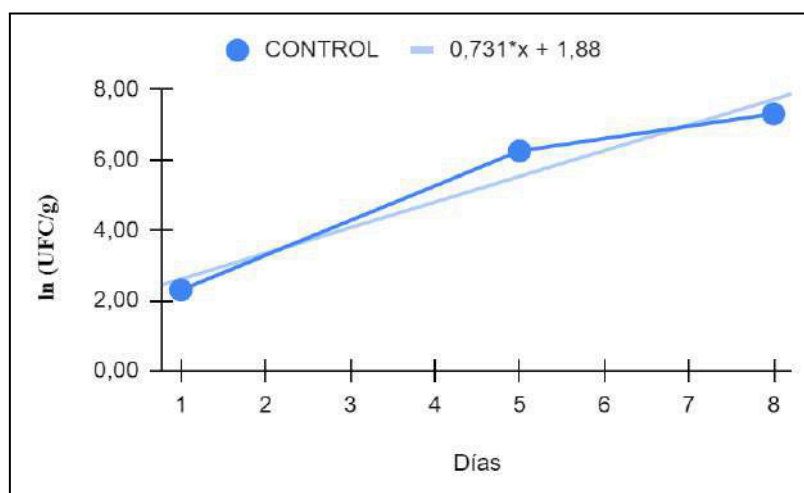
52,80	66	0	0				
Día 12							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,4005	-35	4	<0,000 1
39,60	52,80	0	0				
Día 15							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,9993	-55	4	<0,000 1
26,40	39,60	0	0				

#### ANEXO 50. Prueba T student de la evaluación sensorial

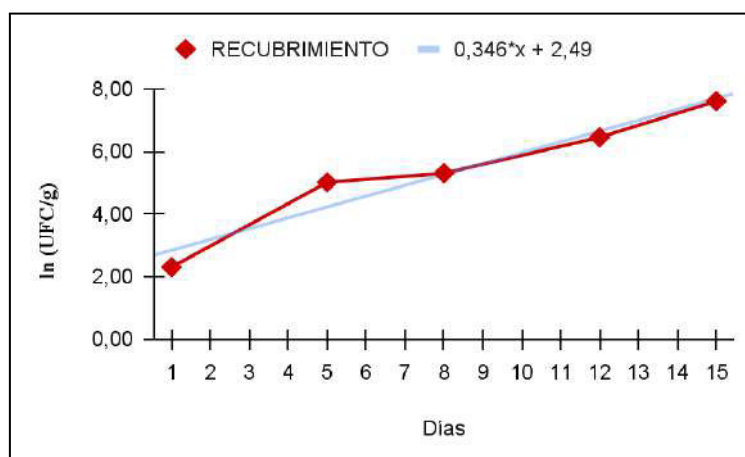
Color							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,0974	0,37	90	0,7086
3,98	3,91	0,87	0,53				
Sabor							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,5627	0,94	90	0,3509
3,61	3,41	1,09	0,91				
Aroma							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,3348	1,47	90	0,1454
4,07	3,78	0,73	0,97				
Textura							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor

Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,7206	0,83	90	0,4108
4,13	3,98	0,74	0,82				
Aceptabilidad general							
Media		Varianza		pHomVar	T	gl	p-valor
Control	Fresa recubierta	Control	Fresa recubierta	0,9813	0,93	90	0,3559
3,85	3,70	0,62	0,62				

**ANEXO 51. gráfica ln para determinar la vida útil de la fresa control**



**ANEXO 52. gráfica ln para determinar la vida útil de la fresa recubierta**



## ANEXO 53. Estandarización de hidróxido de potasio e hidróxido de sodio

### Reactivos

- Disolución de NaOH o KOH. Pesar 4 g de NaOH o KOH, disolver en un vaso de precipitado, y diluir con agua destilada a 1000 mL en un matraz aforado.
- Ftalato ácido de potasio, tipo patrón primario.
- Disolución de fenolftaleína al 0.1% en etanol.

### Procedimiento

- Pesar exactamente 0.40 g de ftalato ácido de potasio sobre un vaso de precipitado de 25 mL. Previamente, es conveniente secar el ftalato de potasio durante 30 minutos a 110°C y dejarlo enfriar en un desecador.
- Pasar la cantidad pesada a un erlenmeyer de 250 mL y disolver con unos 25 mL de agua destilada.
- Lavar con agua destilada el vaso de precipitado y añadir al erlenmeyer.
- Añadir 2 ó 3 gotas de solución de fenolftaleína.
- Valorar con la disolución de NaOH 0.1N o KOH 0.1N, lentamente y con agitación, hasta que la disolución adquiriera una tonalidad rosa persistente.
- Anotar el volumen V (mL) gastado y calcular el factor F de la disolución de la siguiente manera:

$$F = \frac{N_{exact.}}{N_{approx.}} = \frac{a/Eq}{V \times 0.1/1000} = \frac{a \times 1000}{E_q \times V \times 0.1}$$

Donde: a = g pesados de ftalato ácido de potasio. Eq = peso equivalente de ftalato ácido de potasio = 204.22. V = volumen (mL) de NaOH 0.1 N o KOH 0.1 N gastados en la valoración.

- Calcular la normalidad exacta de la disolución:

$$N_{exact.} = 0.1 \times F$$

#### ANEXO 54. Estandarización de la solución de yodo

Se tomó 15 mL de la solución de yodo y se colocó en un matraz erlenmeyer de 250 mL, se completó el volumen aproximadamente a 100 mL con agua destilada, se tituló con la solución de tiosulfato de sodio hasta que casi aparezca la coloración amarilla. En este punto se agregó 1 mL de la solución de almidón con lo cual se prosiguió la titulación hasta que el color azul cambió a incoloro.

La normalidad de la solución de yodo se calculó de la siguiente manera:

$$NI_2 = \frac{(N_t)(V_t)}{V_{I_2}}$$

**Donde:**

$N_t$  = Normalidad del tiosulfato de sodio

$V_t$  = Volumen promedio gastado de tiosulfato de sodio

$V_{I_2}$  = Alícuota tomada de  $I_2$

## ANEXO 55. Ficha sensorial



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
E.P. INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL - F.Q.I.Q.  
FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL - PRUEBA AFECTIVA

Lima, 02 de Octubre de 2023

**Nombre:**.....

**Edad:**.....

**Instrucciones:** Frente a usted hay 2 muestras codificadas de fresas, las cuales debe probar una a la vez y marcar según usted considere conveniente.

Atributo	Calificación	Muestras	
		372	510
<b>Color</b>	1. Me disgusta mucho		
	2. Me disgusta		
	3. Ni me gusta ni me disgusta		
	4. Me gusta		
	5. Me gusta mucho		
<b>Sabor</b>	1. Me disgusta mucho		
	2. Me disgusta		
	3. Ni me gusta ni me disgusta		
	4. Me gusta		
	5. Me gusta mucho		
<b>Textura</b>	1. Me disgusta mucho		
	2. Me disgusta		
	3. Ni me gusta ni me disgusta		
	4. Me gusta		
	5. Me gusta mucho		
<b>Aroma</b>	1. Me disgusta mucho		
	2. Me disgusta		
	3. Ni me gusta ni me disgusta		
	4. Me gusta		
	5. Me gusta mucho		
<b>Aceptabilidad general</b>	1. Me disgusta mucho		
	2. Me disgusta		
	3. Ni me gusta ni me disgusta		
	4. Me gusta		
	5. Me gusta mucho		

**COMENTARIOS:** \_\_\_\_\_

**¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**

## ANEXO 56. Ficha técnica del glicerol



### GLICERINA LIQUIDA USP FICHA TÉCNICA

#### 1. Producto

Nombre del producto: Glicerina Refinada 99.7% - USP-E422

Certificados: KOSHER- HALAL

Origen: Base vegetal

Sinónimos: Glicerol; 1,2,3 – Propanetriol; Glyceritol; Glycic Alcohol;

1,2,3-Trihydroxypropane; 1,2,3-Propanetriol

CAS: 56-81-5

2. La glicerina (glicerol) es un líquido viscoso transparente sin aroma y de sabor dulce natural, derivado de la materia prima natural (triglicéridos). La glicerina es producida por la reacción de transesterificación de la producción de biodiesel y se llama glicerina comercial que consiste en la eliminación del agua y otras impurezas mediante operaciones de destilación, desodorización y clarificación, lo que resulta en un producto de alta pureza y cumple con los estándares rigurosos de la Farmacopea Europea, una USP.

#### 3. Aplicaciones

Aditivos Alimentarios: Ingrediente, humectante, intermedio

Productos Farmacéuticos: Ingrediente y humectante en jarabes para la tos, elixires y cuidado oral expectorante, Pasta de dientes, supositorios, excipiente, cápsulas de gel

Jabones Y Detergentes: Intermedios

Cuidado Personal Y Artículos De Tocado: Ingrediente y humectante, cosméticos, cremas y lociones, cuidado oral, pasta de dientes, enjuague bucal, barra y jabón líquido

Lubricantes Y Grasas, Pintura Y Revestimiento: Intermedio

Textiles: Intermedios, dispersantes, lubricantes, aprestos y reblandecimientos de hilados y tejidos.

Aditivos De Caucho / Plástico: Poliols para espumas flexibles, poliuretano

#### 4. Fecha de vencimiento

24 meses desde la fecha de fabricación.

#### 5. Transporte y almacenaje

No almacene ni transporte glicerina junto con productos químicos o tóxicos de ninguna naturaleza, debido a la contaminación.

La glicerina debe almacenarse en un lugar cubierto y seco, lejos de la fuente de calor y protegida de la luz directa, a temperatura ambiente.

La carga a granel debe realizarse en contenedores limpios y libres de contaminación.

OREGON CHEM GROUP S.A.C

RUC: 20604539383

JR. PEDRO ALCOCER 150 - INT. 2 - SURQUILLO - LIMA

Si el cliente desea que se le envíe el informe de descontaminación, es necesario enviar una declaración donde el cliente es responsable de la calidad del producto cargado.

La glicerina también se envasa en un cilindro plástico HDPE de 200 L con boquillas de 2. 1/2" o a granel (flexitanques)

6. Especificaciones Físico – Químicas

ITEM	ANALYSIS/ANÁLISIS:	SPECIFICATION/ESPECIFICACIÓN
1.0	Specific tests / Ensayos específicos	
1.1	Glycerin/Glicerina ,%	99.7 - 101
1.2	Appearance @ 25°C/Apariencia @ 25°C	Viscous, transparent, colorless and odorless liquid/Líquido viscoso, transparente, incoloro e inodoro
1.3	Color APHA	Max. 10
1.4	Specific Gravity @25°C/Gravedad Específica @ 25°C	Min.1.259
1.5	Density @ 25°C/Densidad @ 25°C	Min.1.246
1.6	Water %/agua,%	Max 0.5
1.7	pH (100 g/l) at 20 °C/ pH (100 g/l) a 20 °C	Min. 6 – Max. 8
2.0	Identification/Identificación	
2.1	Identification A-IR/Identificación A-IR	Ok
2.2	Identification B-GC/Identificación B-GC; % w/w	Diethylene glycol/dietilenglicol Max 0.1 Ethylene glycol/Etilenglicol Max 0.1
2.3	Identification C (C)/identificación C (C)	ok
2.4	Spectroscopy UV @ 240 nm.; A (Espectroscopia UV @ 240 nm; A)	Max 1



ITEM	ANALYSIS/ANÁLISIS:	SPECIFICATION/ESPECIFICACIÓN
3.0	Inorganic Impurities / Impurezas inorgánicas	
3.1	Chlorides/Cloruros, %	Max 0.0010
3.2	Sulfates/Sulfatos, ppm	Max 20
3.3	Residue on ignition/Residuos en ignición,%	Max 0.01
3.4	Heavy metals/Metales pesados, ppm	Max 5
	Lead/Plomo, ppm	Max 1
	Arsenic/Arsénico ppm	Max 1
	Iron/Hierro, ppm	Max 1
4.0	Organic Impurities / Impurezas Orgánicas	
4.1	Chlorinated compounds/Compuestos clorados, ppm	Max 30
4.2	Fatty acids and esters/Ácidos grasos y ésteres, ml	Max 1.0 ml NaOH 0.5N
4.3	Impurities and Related Substances/Impurezas y sustancias relacionadas, % w/w	individual impurities/impurezas individuales Max 0.1 total impurities /total de impurezas Max 1
	Individual impurities and related substances (impurezas individuales y sustancias relacionadas) Methanol/metanol, % w/w	Max 0.1
4.4	Determination of CPR Values of Polyols/ Determinación de los Valores CPR de Polioles ,meq /30kg	Max 5
4.5	Total Nitrogen/ Nitrógeno total , ppm	Max 10
4.6	Aldehydes/Aldehidos, ppm	Max. 10
4.7	Water solubility /solubilidad en agua	USP 42
	Ethanol solubility /Solubilidad en etanol	USP 42
	Chloroform solubility/ Solubilidad en cloroformo	USP 42
5.0	Proximal Analysis /Análisis Proximal	
5.1	Carbohydrates / Carbohidratos, %	Reportar
5.2	Humidity/Humedad, %	Reportar
5.3	Fats / Grasas,%	Reportar
5.4	Ashes/Cenizas,%	Reportar
5.5	Protein/Proteínas, %	Reportar

5.6	Energy / Energía, Kcal/100g	Reportar
5.7	Energy from fat /Energía proveniente de grasas, Kcal/100 g	Reportar

7. Servicio al cliente

Heaven Petroleum Operators

8. Recomendaciones

Se recomienda que la glicerina se debe trasvasar con bombas de material inerte para evitar cualquier tipo de contaminación.

## ANEXO 57. Ficha técnica del tween 80

**UAEBSUN**  
CHEM GROUP

**BASF**  
We create chemistry

---

Technical Data Sheet

**Eumulgin® SMO 20**

PRD 30527891

Valid since 16.01.2015  
Revision 4.1  
WF-No. 7807  
Page 1 of 1

---

© = registered trademark of BASF in many countries    ™ = Trademark of BASF

**Care Chemicals**

### General characterisation

**Chemical description**  
Sorbitan monooleate, ethoxylated (20 EO)

### Active ingredient information

Ingredient	CASR-No.	Remark
Polysorbate 80	9005-65-6	

### Product properties

**Appearance**  
Amber liquid with a faint characteristic odor

**Example of use**  
Eumulgin® SMO 20 is used as a non-ionic, hydrophilic emulsifier for cosmetic creams and ointments.  
HLB = 15,0

### Stabilising additives / Auxiliaries

The Product is unpreserved

### Disclaimer

This document, or any answers or information provided herein by BASF, does not constitute a legally binding obligation of BASF. While the descriptions, designs, data and information contained herein are presented in good faith and believed to be accurate, it is provided for your guidance only. Because many factors may affect processing or application/use, we recommend that you make tests to determine the suitability of a product for your particular purpose prior to use. It does not relieve our customers from the obligation to perform a full inspection of the products upon delivery or any other obligation. NO WARRANTIES OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, ARE MADE REGARDING PRODUCTS DESCRIBED OR DESIGNS, DATA OR INFORMATION SET FORTH, OR THAT THE PRODUCTS, DESIGNS, DATA OR INFORMATION MAY BE USED WITHOUT INFRINGING THE INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS OF OTHERS. IN NO CASE SHALL THE DESCRIPTIONS, INFORMATION, DATA OR DESIGNS PROVIDED BE CONSIDERED A PART OF OUR TERMS AND CONDITIONS OF SALE.

**Care**  
Creations.