



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra
División de Ingeniería Bioquímica

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Teapa, Tabasco a 28 de octubre del 2020
Oficio N°: ITSS-DIBQ-**302**/2020
Asunto: El que se indica.

C. Adolfo Germán Gómez Sánchez.

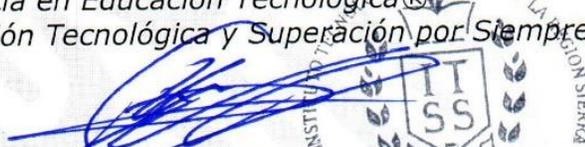
Pasante de la carrera de Ingeniería Bioquímica.
P r e s e n t e.

Por este medio le informo que de acuerdo a la modalidad de Titulación que ha seleccionado: Titulación Integral por la opción 09 Tesis Profesional, y en virtud de que la comisión revisora integrada por: M. en C. Miriam Sánchez de Dios, M. en C. José Alfredo Jiménez Juárez, M.I.P.A. Juan Carlos Aguilar Arpaiz, determinan que se cumple satisfactoriamente con las observaciones que en proceso de revisión se hizo a su trabajo recepcional titulado: **"Recubrimiento comestible enriquecido con aceites esenciales de Orégano (*Origanum vulgare*), Clavo (*Syzygium aromaticum*) y Tomillo (*Thymus vulgaris*) para prolongar la vida de anaquel de la fresa"**. Esta usted autorizado (a) para reproducirlo y concluir los requisitos formales que establece el Lineamiento de Titulación de esta Institución.

Sin otro asunto que tratar, me despido de Usted con un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Innovación Tecnológica y Superación por Siempre


Q.C.B. Jesús Armando Romero González
Jefe de División de Ingeniería Bioquímica-ITSS

c.c.p. Archivo.

Carretera Teapa-Tacotalpa km. 4.5, Fco. Javier Mina, Teapa, Tabasco

Tel. (932)32 4 06 50, Ext.131 e-

mail:regionsierra@itss.edu.mx|academia_bioquimica@itss.edu.mx

www.tecnm.mx | www.itss.edu.mx





INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LA REGIÓN SIERRA



**Recubrimiento comestible enriquecido con aceites esenciales de Orégano
(*Origanum vulgare*), Clavo (*Syzygium aromaticum*) y Tomillo (*Thymus vulgaris*) para
prolongar la vida de anaquel de la fresa**

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Ingeniería Bioquímica

MODALIDAD:

Tesis profesional

(Opción 09)

PRESENTA:

Adolfo Germán Gómez Sánchez

DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Miriam Sánchez de Dios

AGRADECIMIENTO

No existen palabras para agradecer a Dios por bendecirme y darme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y la fortaleza en aquellos momentos de dificultad, debilidad y en aquellos días que quise rendirme ¡Por todo eso mil gracias!

Han pasado ya algunos años desde que llegue a este mundo, desde ese momento he incluso antes ya buscaban la manera de ofrecerme lo mejor. Han trabajado duro y sin impórtales el cansancio siempre están ahí para mí, para apoyarme siempre y por haberme enseñado lo mejor que se le puede enseñar a un hijo “amar a Dios con todo el corazón” no tengo palabras para agradecerles todo lo dado y todo lo recibido, solo me queda decir gracias, mamá y gracias, papá.

Existen puertas, que solo son abiertas por personas de gran inteligencia, conocimiento y humildad, quisiera agradecer a mi asesora de residencia y directora de tesis a la Dra. María Isabel García Vieyra por abrirme las puertas de la Universidad de Guanajuato y darme la oportunidad de trabajar y aprender bajo su dirección. Gracias por permitirme ser parte de este proyecto y por todas las enseñanzas y experiencias vividas, que hoy sin duda alguna han enriquecido mi formación profesional.

Al Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra por hacerme parte de su casa de estudios y por brindarme su apoyo y conocimiento a través de mis docentes en especial a la Dra. Miriam Sánchez de Dios, por todo lo enseñado, guiado e inculcado y por apoyarme en esta etapa de mi vida.

A toda mi familia en especial a mi hermana por siempre estar ahí y enseñarme que no importa cuántas veces te caigas lo importante siempre será levantarte, gracias.

A mis amigos de mi universidad por su confianza y a los nuevos de la UG, en especial a Yessica Leal por hacerme sentir que no estaba solo en un lugar desconocido y por todo el apoyo brindado quisiera decirle que siempre tendrá en mi un amigo. Muchas gracias.

Agradezco el apoyo, ayuda y los consejos de mis revisores el M.I.P.A. Juan Carlos Agilar Arpáis y el M. en C. José Alfredo Jiménez Juárez ya que sin sus conocimientos esto no podría haber sido posible.

Reconozco el apoyo de la M. en C. Elda Gómez Gómez y la M. en C. Fanny Adabel González Alejo por todos los consejos otorgados.

DEDICATORIA

A DIOS:

¡Gracias! por darme salud y vida. Por haberme regalado la dicha de concretar esta ilusión que parecía inalcanzable. Por ser parte de mí en todo momento y guiar mis pasos en el sendero de la vida. Y por enseñarme que nunca ha sido mi fuerza, siempre ha sido tu gracia.

A MIS PADRES:

¡Gracias! Porque con su apoyo y dedicación ha llegado este día tan importante para mí. Por sus sabios consejos que me orientaron en el camino de la vida. Por su esfuerzo y sacrificios, por velar por mi futuro, por ayudarme a terminar mi carrera profesional que representa lo mejor de las herencias. Ayer su raíz fue mi raíz y su coraje mi coraje. Hoy soy su confianza y esperanza.

Por todo el ayer le dedico con cariño todo mi mañana.

ÍNDICE GENERAL

pág.

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE ECUACIÓN	iii
ABREVIATURAS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
2.1 Fresa.....	3
2.1.1 Desde el punto de vista botánico	3
2.1.2 Descripción botánica.....	4
2.2 Propiedades	4
2.3 Caracterización sensorial de la fresa.....	5
2.3.1 Color.....	5
2.3.2 Olor	5
2.3.3 Sabor	5
2.4 Producción y exportación nacional y estatal de la fresa	6
2.4.1 Siembra y cosecha.....	6
2.5 Producción nacional.....	7
2.5.1 Producción estatal de la fresa	8
2.6 Factores pos-cosecha que afectan la calidad del fruto.....	9
2.6.1 Procesos fisiológicos.....	9
2.6.2 Respiración	9
2.6.3 Clima	10
2.6.4 Transpiración o pérdida de agua.....	10
2.6.5 El etileno.....	11
2.7 Tecnologías emergentes para la conservación pos-cosecha.....	12
2.8 Los campos magnéticos	12
2.9 Atmósferas controladas.....	13
2.10 Irradiación	13
2.11 Pulsos de Luz.....	14

2.12 Campos eléctricos pulsantes de alta densidad (CEPAI)	14
2.13 Métodos de conservación de los alimentos	15
2.13.1 Recubrimientos y películas comestibles.....	15
2.13.2 Recubrimientos comestibles a base de carbohidratos	15
2.13.3 Recubrimientos comestibles a base proteínas.....	15
2.13.4 Recubrimientos comestibles a base de lípidos.....	16
2.14 Mecanismos de formación de películas	17
2.15 Propiedades físicas de las películas y recubrimientos.	17
2.16 Propiedades mecánicas	18
2.17 Propiedades de transferencia	19
2.18 Materiales utilizados en la investigación	19
2.18.1 Alginato de sodio	19
2.18.2 Aplicación de alginato de sodio como recubrimiento.....	20
2.18.3 Incorporación de aditivos en los recubrimientos	21
2.18.4 Aceites esenciales	21
2.18.5 Aceites esenciales y su actividad fungicida en hongos pos-cosecha	22
2.18.6 Aceites esenciales y su actividad en bacterias que afectan la salud humana	22
2.18.7 Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles	23
2.19 Aplicación de alginato de sodio y aceites esenciales y su efecto en el control de microorganismos	24
III. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN	25
IV. Objetivos	27
4.1 Objetivo general	27
4.2 Objetivos específicos	27
V. Materiales y métodos	28
5.1 Materiales	28
5.2 Métodos.....	29
5.3 Explicación del proceso	47
5.4 Preparación del recubrimiento comestible	50
5.5 Caracterización del recubrimiento comestible	51
5.5.1 Grosor.....	51

5.5.2	Porcentaje de contenido de humedad.....	52
5.5.3	Solubilidad.....	52
5.5.4	Punto de fusión	53
5.5.5	Transparencia.....	54
5.5.6	Opacidad.....	54
5.6	Aplicación del recubrimiento comestible	55
5.7	Pruebas fisicoquímicas.....	56
5.7.1	Pérdida de peso de la fresa	56
5.7.2	Determinación de pH, Acidez y Sólidos solubles.....	57
5.7.3	Determinación de actividad antioxidante, fenoles totales y taninos condensados ...	59
5.7.3.1	Preparación de extracto de fresa	60
5.7.3.2	Actividad antioxidante	60
5.7.3.3	Determinación de fenoles totales.....	61
5.7.3.4	Determinación de taninos condensados	62
5.8	Análisis sensorial	63
5.9	Análisis estadístico	63
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
6.1	Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas al recubrimiento comestible	64
6.1.1	Grosor.....	64
6.1.2	Contenido de humedad.....	65
6.1.3	Solubilidad.....	66
6.1.4	Punto de fusión	67
6.1.5	Transparencia.....	68
6.1.6	Opacidad.....	68
6.2	Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas al fruto.....	69
6.2.1	Pérdida de peso	70
6.2.2	pH.....	72
6.2.3	Acidez.....	73
6.2.4	Sólidos solubles	75
6.2.5	Actividad antioxidante	78
6.2.6	Fenoles totales	80

6.2.7 Taninos	83
6.3 Análisis sensorial	85
VII. CONCLUSIÓN	88
7.1 Recomendaciones	89
VII. BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

<i>Figura 1.</i> Mapa de producción de fresas en México	7
<i>Figura 2.</i> Diseño experimental de la caracterización de las películas comestibles	44
<i>Figura 3.</i> Diseño experimental de la aplicación del recubrimiento comestible.....	45
<i>Figura 4.</i> Diagrama de flujo del proceso de la aplicación de la película comestible a la fresa	46
<i>Figura 5.</i> Medición de grosor	51
<i>Figura 6.</i> Peso del recubrimiento.....	52
<i>Figura 7.</i> Dilución de la película comestible.....	53
<i>Figura 8.</i> Determinación de punto de fusión	54
<i>Figura 9.</i> Peso de las fresas de los distintos tratamientos a) control b) tomillo c) orégano d) clavo.....	56
<i>Figura 10.</i> Titulación de los tratamientos.....	57
<i>Figura 12.</i> Titulación de los tratamientos.....	58
<i>Figura 11.</i> Titulación directa con NaOH a los diversos tratamientos.....	58
<i>Figura 13.</i> Lectura de sólidos solubles de los tratamientos.....	59
<i>Figura 14.</i> Preparación del sustrato.....	60
<i>Figura 15.</i> Lectura de DPPH	61
<i>Figura 16.</i> Lectura de fenoles totales	62
<i>Figura 17.</i> Lectura de taninos condensados	63
<i>Figura 18.</i> Porcentaje de pérdida de peso de los lotes de fresa con recubrimientos comestibles	70

<i>Figura 19.</i> Pérdida de peso en gramos de los lotes de fresa con recubrimiento comestible durante el periodo experimental	71
<i>Figura 20.</i> pH en fresa con recubrimiento comestible durante todo el periodo experimental....	72
<i>Figura 21.</i> Diferencia inicial y final de pH en fresa con recubrimiento comestible	73
<i>Figura 22.</i> Acidez de la fresa con recubrimiento adicionado con aceites esenciales.....	74
<i>Figura 23.</i> Diferencia inicial y final de porcentaje de acidez en fresa con recubrimiento comestible	75
<i>Figura 24.</i> Sólidos solubles en fresa con recubrimiento comestible durante todo el periodo experimental.....	76
<i>Figura 25.</i> Diferencia inicial y final en sólidos solubles en fresa con recubrimiento comestible	76
<i>Figura 26.</i> Antioxidantes en fresa con recubrimiento comestible	79
<i>Figura 27.</i> Comportamiento de antioxidantes en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa	80
<i>Figura 28.</i> Fenoles totales en fresa con recubrimiento comestible	81
<i>Figura 29.</i> Comportamiento de fenoles totales en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa	82
<i>Figura 30.</i> Taninos condensados en fresa con recubrimiento comestible durante los 15 días de experimentación	84
<i>Figura 31.</i> Comportamiento de taninos condensados en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa	84
<i>Figura 32.</i> Gráficas de análisis sensorial.....	86

ÍNDICE DE TABLAS	pág.
Tabla 1. Formulación de los recubrimientos comestibles.....	50
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados a los recubrimientos comestibles.....	65
Tabla 3. Resultados de prueba de la fresa.....	69
Tabla 4. Capacidad antioxidante de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental.....	78
Tabla 5. Fenoles totales de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental	81
Tabla 6. Taninos condensados de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental.....	83
Tabla 7. Resultados de análisis sensorial	85

ÍNDICE DE ECUACIÓN	pág.
Ecuacion 1. Grosor	51
Ecuacion 2. Humedad (%)	52
Ecuacion 3. Opacidad	54
Ecuacion 4. Pérdida de peso	56
Ecuacion 5. Porcentaje de acidez	58
Ecuacion 6. % de inhibicion del radical DPPH.....	61

ABREVIATURAS

Abreviatura en español	Significado de abreviatura
pH	Potencial de hidrógeno
NaOH	Hidróxido de sodio
mm	Milímetro
g	Gramo
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje
RC	Recubrimiento control
RCI	Recubrimiento de clavo
RThy	Recubrimiento de tomillo
ROr	Recubrimiento de orégano

RESUMEN

La fresa (*Fragaria ananassa*) es una fruta no climatérica, contiene compuestos polifenólicos de importante interés farmacológico. Es un alimento altamente apreciado por los consumidores por sus propiedades organolépticas, sin embargo, tiene la desventaja de ser perecedero, debido a su poca resistencia a los daños mecánicos y al ataque microbiológico.

Estudios recientes han demostrado que los vapores generados por aceites esenciales poseen propiedades antimicrobianas y antioxidantes por lo que resulta ser una alternativa efectiva para la reducción de pérdidas pos-cosecha del fruto de fresa, prolongando su vida de anaquel y manteniendo sus características sensoriales.

Es por ello en esta investigación se evaluaron parámetros fisicoquímicos y organolépticos a las fresas tratadas con recubrimientos comestibles enriquecidos con 3 aceites esenciales (orégano, clavo y tomillo) buscando obtener la formulación más acertada para conservar las fresas por mayor tiempo en condiciones adecuadas, tomando en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-008-FITO-1995 para establecer condiciones fitosanitarias para frutas frescas. Trabajando con formulaciones de alginato de sodio - aceites esenciales a diferentes concentraciones, monitoreando así los parámetros ya mencionados, con un periodo experimental de 15 días a una temperatura de almacenamiento de 4 ± 2 °C. llevando a cabo un análisis sensorial para determinar el tratamiento con mayor grado de aceptabilidad.

Y obteniendo al recubrimiento comestible de tomillo (RThy) como el destacado en cada parámetro. Por lo tanto, se puede aseverar que los recubrimientos comestibles son una excelente alternativa de conservación que aporta beneficios en pro de la preservación de las cualidades de los alimentos.

I. INTRODUCCIÓN

La calidad de vida que la gente experimenta en los últimos años, así como su mayor conciencia de la importancia de ingerir alimentos saludables, ha causado un incremento en el consumo de alimentos frescos, en especial de frutas con procesamiento mínimo. El consumir frutas presenta beneficios a la salud debido a que además de aportar nutrientes, contienen antioxidantes. La desventaja de algunos frutos es que tienden a ser muy perecederos y por lo tanto su vida útil se acorta evitando el máximo aprovechamiento de este.

Estudios recientes han evidenciado que el consumo de frutos rojos reduce el riesgo a padecer enfermedades crónico-degenerativas (Rastrepo et al., 2010). La fresa (*Fragaria annanasa*) es uno de los frutos rojos con mayor aceptación mundial y una fuente rica en ácido ascórbico, fibra, minerales, flavonoides y carotenoides (López et al., 2012). Sin embargo, aunque es un fruto muypreciado es altamente perecedero debido a su elevada tasa de respiración y la carencia de barrera exterior que limita la retención de agua, y lo hace susceptible a ataque microbiológico.

Una de las tecnologías utilizadas para la preservación pos-cosecha de los frutos es la aplicación de recubrimientos comestibles (RC) a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de estos. Los RC disminuyen la tasa de respiración, retrasan la pérdida de peso por deshidratación, prolongan su pérdida de firmeza y pigmentación, causado por microorganismos.

Por lo tanto, cualquier intento por mantener la calidad de las fresas frescas por períodos largos de tiempo es una prioridad para productores y consumidores. Es por ello que, este trabajo muestra una detallada información general acerca del fruto de fresa, así como la incorporación de los recubrimientos comestibles adicionándolos con aceites esenciales buscando así conocer los beneficios de la aplicación de estos recubrimientos comestibles y el efecto que tiene la adición de

los aceites esenciales ya antes mencionados, así mismo tomando como base la Norma Oficial Mexicana NOM-008-FITO-1995 para establecer condiciones fitosanitarias para frutas frescas y NMX-FF-062-SCFI-200 para formar lotes homogéneos de 10 frutos frescos. Cada apartado de este trabajo detalla partes importantes y fundamentales de la investigación.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Fresa

El género *Fragaria*, pertenece a la familia de las *Rosáceae*, se compone de ocho especies y es de distribución cosmopolita. Las fresas son plantas herbáceas perennes con estolones (brotes laterales) superficiales, que enraízan en los nudos, donde nacen unas rosetas de hojas trisectas (hojas que se componen de tres segmentos cada una), con largos pecíolos (rabillos) y bordes dentados. Son de color verde brillante y tienen los nervios muy marcados. Las florecillas son blancas, con cinco pétalos y numerosos estambres. Como es sabido, el llamado fruto de la fresa no lo es tal desde el punto de vista botánico: se trata en realidad del eje del receptáculo floral engrosado y carnoso. Los verdaderos frutillos son pequeñas núculas o nuececillas que están adheridas en el exterior de la fresa.

El género *Fragaria* aparece en estado silvestre en América, Asia y Europa. Los cultivares comerciales de frutilla (*Fragaria ananassa* Duch.), son derivados de dos especies, *Fragaria chiloensis* (L.) Duch y *Fragaria virginiana* Duch (Navarro, 2007).

2.1.1 Desde el punto de vista botánico

La frutilla o fresa se ubica en:

Familia: *Rosáceas*

Subfamilia: *Rosideas*

Tribu: *Potentilea*

Género: *Fragaria*

Especie: *Fragaria vesca*

Nombre científico: *Fragaria*, Nombre común: Fresa o frutilla (Berenjamo, 2008).

2.1.2 Descripción botánica

La fresa es considerada una planta herbácea y perenne, generalmente su raíz es de aspecto fibroso, su número de raíces es muy variable, la mayor parte se desarrolla superficialmente, tiene un tallo corto que contiene tejidos vasculares, sus hojas son palmeadas subdivididas en tres folios, son de color verde más o menos intenso y a veces rojizo en las épocas invernales, permiten la transpiración del fruto, presenta estolones que se forman a partir de las hojas formando una planta madre, posee flores que pueden ser perfectas o imperfectas de acuerdo a 10 las variedades cultivadas, constituida por un cáliz, por cinco a doce pétalos generalmente de color blanco (Branzati, 2014).

2.2 Propiedades

La fresa es uno de los frutos más apreciados en el mundo por su color, su sabor, y por su riqueza en vitaminas y minerales. Los frutos de la fresa son una excelente fuente de fibra y compuestos bioactivos, en particular carotenoides, fenoles, ácidos fenólicos, flavonoides y metabolitos endógenos. Las antocianidinas son cuantitativamente los más importantes polifenoles en esta fruta y son responsables de su color. De este grupo, el compuesto más abundante es la pelargonidina-3-glucosido (Hernández et al., 2008 & Villegas, 2012). Los ácidos fenólicos y sus derivados además pueden desempeñar un papel importante en las diferencias genotípicas y en la composición fotoquímica de la fresa parámetros que influyen en su la calidad, dado que contribuyen sus atributos sensoriales y a su valor nutricional y funcional (Villegas, 2012).

2.3 Caracterización sensorial de la fresa

2.3.1 Color

Es una experiencia visual, una impresión sensorial que recibimos a través de los ojos, independiente de la materia colorante de la misma, desde el punto de vista químico el color es una propiedad física de la luz emitida por los objetos y sustancias, deriva de la descomposición de la luz blanca proveniente del sol, o de un foco o fuente luminosa artificial. La apariencia siempre es visual y va a variar según la naturaleza de los rayos luminosos y el modo que son reflejados (Orozco, 2014).

2.3.2 Olor

Es la sensación resultante de la percepción las sustancias químicas volátiles, es una propiedad intrínseca de la materia, se genera por una mezcla compleja de gases en el aire que estimulan las células receptoras en nuestro sistema olfativo, el cerebro interpreta este estímulo como un olor, aquello que no podemos percibir por el olfato se denomina inodoro (Adame, 2005).

2.3.3 Sabor

Es la impresión que causa un alimento, está determinado principalmente por sensaciones químicas detectadas por el gusto (lengua) así como por el olfato (olor), se compone de cuestiones físicas y químicas que son las que se reciben en el organismo. Sin embargo, el sabor es algo que también tiene un componente psicológico o emocional, ya que no todos los individuos responden a un mismo sabor de igual manera (García, 2014).

2.4 Producción y exportación nacional y estatal de la fresa

2.4.1 Siembra y cosecha

Se puede sembrar en eras o en lomillos. Sin embargo, por el tipo de tecnología que se aplica al cultivo, como es la utilización de coberturas y riego, lo más recomendable es hacerlo en eras de 70 a 80 cm de ancho y de 20 cm de altura. En cada era se colocan dos hileras de plantas, separadas 40 cm entre sí y las plantas a 30 cm, con este sistema se obtiene una densidad entre 50,000 y 55,000 plantas por hectárea. La separación entre eras debe ser de por lo menos 40 cm, la planta debe sembrarse a una profundidad tal que el cuello de la raíz quede a nivel de suelo, de manera que no queden raíces expuestas ni la corona enterrada. La recolección es manual, debido a que la fruta es altamente perecedera, debe cosecharse cada tres días y manejarse con mucho cuidado.

Se debe empezar a manejar la fruta desde antes de su formación y su desarrollo, para que llegue en buenas condiciones a la cosecha. A partir del momento de la cosecha, se inicia otro proceso de gran importancia, como es el de seleccionar la fruta, empacarla, transportarla y almacenarla adecuadamente. Una fruta de fresa cosechada en plena maduración y mantenida a temperatura ambiente se deteriora en un 80 % en solo 85 horas. La selección de la fruta se hace de acuerdo con el mercado al que se dirige, lo mismo que el empaque. Estas labores se inician en el momento de la cosecha, cuando se separan las frutas de acuerdo con la calidad y se empacan en el mismo lugar (SAGARPA, 2012).

2.5 Producción nacional

La fresa es la frutilla de mayor producción y exportación en México (Figura 1). Según cifras de SAGARPA/SIAP en el 2017 el 91 % de todas las fresas del país se produjeron entre Baja California y Michoacán. Sin embargo, Baja California es el estado con mayor superficie de producción protegida de fresas — 108 has de producción.

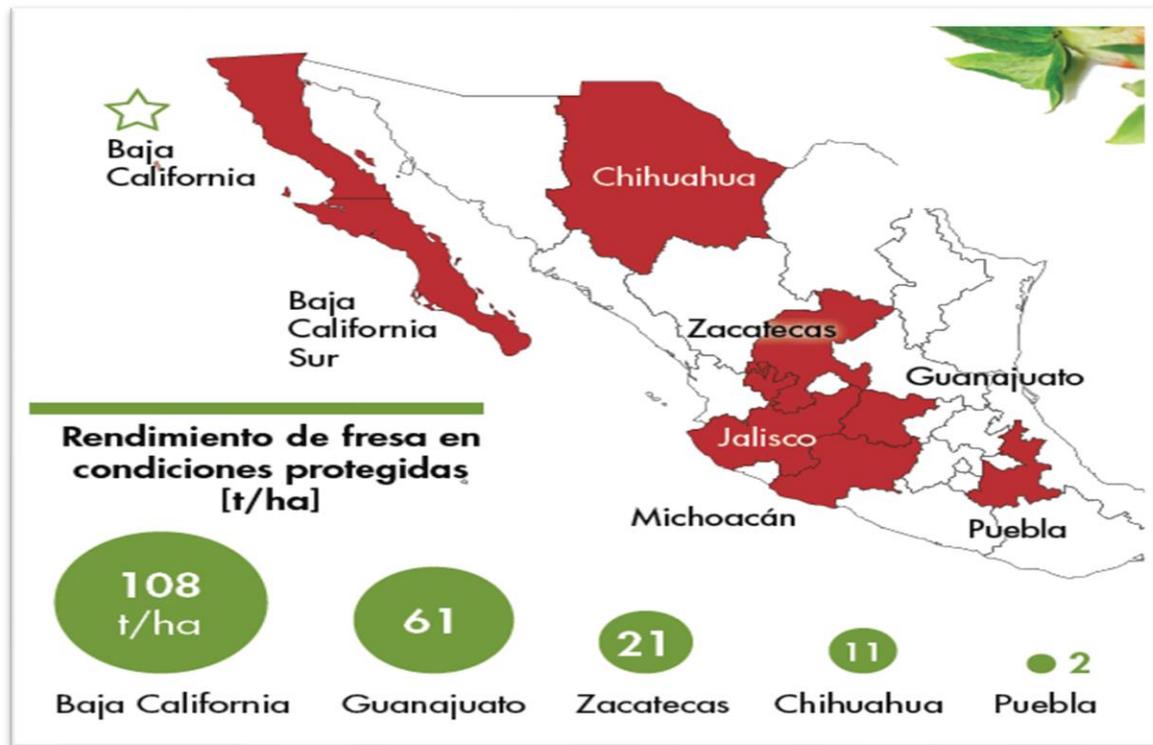


Figura 1. Mapa de producción de fresas en México (Fuente: SIAP, 2017).

El 52.21 % de la producción nacional se destina al mercado externo, por lo que la fresa es un producto exitoso en el comercio internacional. México es el tercer proveedor de fresa fresca al mercado internacional, con 14.83 % del valor de las exportaciones mundiales. En particular, las exportaciones mexicanas representaron el 87.79 % de las importaciones de estados unidos (SIAP, 2017).

Actualmente se satisface 100 % de los requerimientos nacionales con producción interna; asimismo, las importaciones mundiales han aumentado 35.55 % en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente con destino a Canadá y Estados Unidos (SIAP, 2017).

2.5.1 Producción estatal de la fresa

El estado de Guanajuato cuenta con varios municipios donde se cultiva la fresa, siendo 14 los principales municipios productores del fruto: Abasolo, Acámbaro, Cuerámbaro, Dolores Hidalgo, Huanímaro, Irapuato, Jerécuaro, Pénjamo, Pueblo Nuevo, Romita, Salamanca, Silao, Tarandacuao y Valle de Santiago. Aproximadamente más del 50 % de la superficie sembrada en los estados anteriormente mencionados, corresponde al municipio de Irapuato (Alcántara, 2009). En este municipio, para el año 2015, la cosecha fue de 600 hectáreas y para el 2016 aumento en un 40 %, debido a la incorporación de más freseros a la tecnificación por macro túneles, ya que por métodos tradicionales el cultivo genera muy poco rendimiento (Ramírez, 2016).

La exportación de fresa en Guanajuato va incrementando, debido a que en el año 2010 se vendían 50 mil cajas, cinco años más tarde aumentó a 600 mil, y en 2016 llegó a un millón de cajas exportadas, a pesar de que Irapuato, anteriormente conocido como la Capital Mundial de las Fresas, se encuentra en tercer lugar nacional en producción y exportación, sigue estando posicionado entre los principales exportadores por la calidad de su fruto. En segundo lugar, se ubica Baja California con 51 mil toneladas, seguido de Michoacán con un total de 122 mil toneladas de exportación (Hernández, 2010).

2.6 Factores pos-cosecha que afectan la calidad del fruto

2.6.1 Procesos fisiológicos

Los procesos fisiológicos que más inciden en el deterioro de las frutas durante la pos-cosecha son la respiración y la transpiración, los cuales son acelerados por condiciones de temperatura y humedad a las que se somete el producto durante las fases de cosecha. Las frutas una vez cosechadas cuentan únicamente con las reservas de nutrientes almacenados y como ya no puede reponerlos, en la medida en que se van agotando tales reservas, se produce el proceso de senescencia o envejecimiento (Badui, 2013).

2.6.2 Respiración

De acuerdo con Díaz (2003) menciona que: la respiración es un proceso central en las células de las frutas y vegetales después de cosechados, que produce la liberación de energía a través de la ruptura de los compuestos de carbono y la formación de esqueletos necesarios para el mantenimiento y reacciones sintéticas durante la maduración pos-cosecha. Por tanto, involucra reacciones complejas que en condiciones normales requiere de la presencia de (O_2) para la degradación de los compuestos (respiración aeróbica). Sin embargo, cuando los niveles de oxígeno son muy bajos, la respiración se desplaza hacia la ruta anaeróbica, generándose compuestos volátiles como el acetaldehído y etanol, que pueden dar origen a malos sabores.

Basándose en los patrones de respiración y producción de etileno (C_2H_4) durante la maduración, los frutos se clasifican en climatéricos y no climatéricos.

- No climatéricos: los frutos maduran en la planta. Su calidad como alimentos disminuye si se recolecta antes de que maduren plenamente, pues su contenido en azúcares y en ácidos no sigue aumentando. Su ritmo de respiración va reduciéndose gradualmente durante el

crecimiento y después de la cosecha. El pleno desarrollo y la maduración constituyen en ellos un proceso gradual. Ejemplo: Limón, sandía y piña.

- **Climatéricos:** los frutos pueden cosecharse cuando han alcanzado su pleno desarrollo, pero no han empezado a madurar. Esos productos pueden madurarse natural o artificialmente. El comienzo del proceso de maduración se acompaña de un rápido aumento de la velocidad de respiración, llamado climaterio respiratorio. Tras el climaterio el proceso de respiración se vuelve más lento, al tiempo de que el fruto madura y adquiere mayor calidad como alimento. Ejemplo: Aguacate, mango y plátano.

La fresa está considerada como una fruta no climatérica, no presentan crisis climatérica, es decir, se debe recolectar casi en su punto de madurez comercial, ya que una vez cortada de la planta no mejoraran sus características organolépticas (sabor, aroma y color).

2.6.3 Clima

La planta de fresa es termo y fotoperiódica, o sea que su crecimiento depende de las condiciones temperatura y luz. Las altas temperaturas y los días largos (más de doce horas de luz) provocan crecimiento vegetativo excesivo; las bajas temperaturas y días cortos inducen la floración. La zona apta para producción de fruta se ubica entre los 1,300 y 2,000 m. En condiciones, donde todos los días tienen menos de 12 horas de luz, el factor determinante para producir fruta es la temperatura óptima que en promedio de 14 °C, pero se adapta bien entre los 10 y 20 °C (SAGARPA, 2012).

2.6.4 Transpiración o pérdida de agua

De acuerdo con Pérez (2012) afirma que: el agua es el componente principal de las células vivas es también el de los alimentos: La forma, frescura y jugosidad de los alimentos viene

determinada en gran parte por los diversos modos de coordinarse el agua con las materias insolubles. La transpiración es la principal causa de la pérdida de agua de las frutas y vegetales ocasionando pérdidas de peso, deterioro en la apariencia (marchitamientos y arrugamientos), disminución de firmeza (ablandamiento, pérdida de turgencia), cambios en la calidad nutricional, además de una mayor susceptibilidad a determinadas alteraciones tanto fisiológicas como patológica.

La transpiración es un proceso por el cual los tejidos vegetales pierden agua en forma de vapor desde las células del interior hacia la atmósfera que los rodea. Las diferentes formaciones epidérmicas son las que regulan el flujo de vapor de agua hacia el exterior de los productos. El vapor de agua sale hacia el exterior desde los espacios intercelulares existentes entre las células del parénquima poroso, pasa a través de estomas, lenticelas, o epidérmicas representan la principal vía de pérdida de agua, mientras que la transpiración a través de la cutícula representa alrededor del 5-10 % de la pérdida total.

2.6.5 El etileno

El etileno es la hormona vegetal responsable de regular diferentes procesos durante la maduración de productos agrícolas, llevando a procesos de senescencia y finalmente, pérdida de valor nutricional y comercial. A través del tiempo se han desarrollado diversos retardantes químicos de la maduración para disminuir los efectos negativos del etileno en la pos-cosecha, los cuales actúan en las etapas de biosíntesis (Aminoetoxi-Vinil-Glicina (AVG) y ácido aminooxiacético (AOA), acción/señalización (1-MCP)) y sales de plata como nitrato y tiosulfato de plata (STS) y compuestos que oxidan al etileno de la atmósfera (permanganato de potasio (KMnO_4)) (Balaguera, 2012).

Por otra parte, Pérez (2012) menciona que: se sabe que el etileno (C_2H_4), es un gas natural que es producido por las plantas en forma constante. Su concentración en los frutos es muy baja y aumenta ligeramente antes de iniciar el proceso de maduración. Su producción aumenta cuando la planta está bajo mucho estrés, cuando ha sido maltratada físicamente, o cuando sufre algún ataque por microorganismos. Hay algunas frutas que producen más etileno que otras. El etileno constituye un importante factor desencadenante del proceso de maduración de los frutos.

2.7 Tecnologías emergentes para la conservación pos-cosecha

Entre los mayores y más importantes retos de la industria alimentaria se encuentra la conservación de los alimentos así también el poder alargar la vida útil de cualquier fruto en estado fresco, haciendo de este un mayor aprovechamiento en el mercado y su consumo además del procesamiento de estos.

De acuerdo con Artés et al. (2005) mencionan que: con el desarrollo de las técnicas avanzadas de producción de alimentos, el desafío es la forma de conservarlos con el fin de alargar su vida útil sin que se dañen sus características nutricionales y organolépticas. Se han identificado diferentes técnicas para extender la vida útil de estos vegetales: Desinfección, absorbentes de etileno, irradiación, recubrimientos comestibles, inmersión en baños químicos, atmósferas modificadas y controladas, tratamientos térmicos leves y radiación ultravioleta (UV-C). La reacción positiva a uno o varios tratamientos depende de la matriz vegetal que se esté empleando y de esta forma producir una barrera que permita prolongar su vida de anaquel.

2.8 Los campos magnéticos

La utilización de campos magnéticos oscilantes para la inactivación de microorganismos tiene el potencial de pasteurizar alimentos con una mejora en la calidad y en la vida de anaquel, en

comparación con los procesos convencionales de pasteurización. Los campos magnéticos pueden ser estáticos (CMS) u oscilantes (CMO). En el magnético estático la intensidad del campo magnético es constante con el tiempo, mientras que en un campo magnético oscilante se aplica en forma de pulso; el campo magnético puede ser homogéneo o heterogéneo.

La exposición a los campos magnéticos causa inhibición en el crecimiento y reproducción de los microorganismos, un simple pulso de intensidad de 5 a 10 tesla y frecuencia de 5 a 500 kHz se aplica generalmente para reducir el número de microorganismos por lo mínimo en dos ciclos logarítmicos (Fernández, 2001).

2.9 Atmosferas controladas

Atmosferas modificadas es una técnica física que no deja residuos químicos en los alimentos y se refiere básicamente a cualquier atmósfera con un contenido gaseoso diferente a la del aire normal (20-21 % de O₂, 0.03 % de CO₂, 78-79 % de N₂ y trazas de otros gases). Las atmosferas controladas se refieren aquellas atmosferas estrictamente controladas durante todo el periodo de almacenamiento, empaque o transporte. El uso de estas tecnologías proporciona grandes ventajas para el manejo de frutas como son: el retardo de la maduración y senescencia, el alivio y/o control de algunos desórdenes fisiológicos como es el daño por frío, el control de insectos (Escobar, 2014).

2.10 Irradiación

Irradiar o ionizar un alimento consiste en exponerlo a una fuente de energía con finalidades como: reducción de la bio carga, especialmente de microorganismos patógenos, eliminación de insectos en tratamientos de cuarentena de cereales o frutos, inhibición de brotes en tubérculos y

bulbos, retraso en los procesos fisiológicos pos-cosecha en vegetales frescos, mejora en las propiedades tecnológicas (Escobar, 2014).

2.11 Pulsos de Luz

Estos nuevos procesos son denominados por su nombre en inglés “Pure Bright”; los utilizan rayos de luz de corta duración en el espectro amplio de luz blanca para matar un amplio número de microorganismos incluyendo esporos y hongos. Cada pulso de luz dura solamente millonésimas de segundos. Durante cada pulso que pasa la intensidad de la luz es de unas 200.000 veces la intensidad de la luz en la superficie terrestre (Fernández et al., 2001).

2.12 Campos eléctricos pulsantes de alta densidad (CEPAI)

La pasteurización con CEPAI involucra la utilización de pulsos eléctricos de alto voltaje en el alimento colocado entre dos electrodos. El tratamiento se realiza a temperatura ambiente o por debajo de ésta en milésimas de segundos, y las pérdidas de energía por calor son minimizadas. Esta tecnología es considerada superior al tratamiento térmico convencional, debido a que reduce grandemente los cambios que ocurren en las propiedades sensoriales (sabor, color) y físicas (textura, viscosidad) de los alimentos.

La aplicación de los CEPAI está restringida a aquellos productos alimenticios que puedan soportar campos eléctricos de alta densidad, la constante dieléctrica del alimento está estrechamente relacionada con su estructura física y su composición química (Escobar, 2014).

2.13 Métodos de conservación de los alimentos

2.13.1 Recubrimientos y películas comestibles

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes de este. Los recubrimientos comestibles en frutas crean una atmósfera modificada en el interior de estas, reduciendo la velocidad de respiración y retrasando el proceso de senescencia, debido a que crean una barrera a gases (O_2 , CO_2 y vapor de agua). Esto retrasa el deterioro de la fruta causado por la deshidratación, mejorando las propiedades mecánicas, ayuda a mantener (Caudillo, 2016).

2.13.2 Recubrimientos comestibles a base de carbohidratos

Los RC a base de polisacáridos tienen baja permeabilidad al oxígeno, lo que puede reducir la tasa de respiración de los productos mínimamente procesados. El almidón es el polisacárido más importante utilizado en la formulación de películas biodegradables y recubrimientos comestibles. Aunque el almidón es un material barato y abundante, capaz de formar una matriz de polímero continua; presenta un carácter hidrófilico que constituyen barreras pobres al vapor de agua. La adición de lípidos puede reducir la permeabilidad al vapor de agua, pero también afectan la transparencia y las propiedades mecánicas de los recubrimientos (Santiago, 2015).

2.13.3 Recubrimientos comestibles a base proteínas

Los recubrimientos elaborados con matriz estructural de proteínas consisten en redes macromoleculares continuas, relativamente ordenadas y de baja humedad, presentan gran permeabilidad al vapor de agua, 2 o 4 veces más que los empaques de plásticos comerciales son

buenas formadoras de películas y se adhieren a las superficies hidrofílicas. Sin embargo, pueden aumentar su resistencia a la transmisión de vapor de agua mediante la combinación de proteínas con materiales hidrofóbicos. Estos recubrimientos compuestos, ofrecen una mayor expectativa de aplicación.

Las principales proteínas que pueden ser empleadas en la elaboración de películas compuestas comestibles son: caseína, colágeno, gelatina, proteína de leche, proteína de soya, proteínas derivadas de los cereales (Santiago, 2015).

2.13.4 Recubrimientos comestibles a base de lípidos

Entre los materiales lípidos que se han empleado para la elaboración de formulaciones destinadas a productos mínimamente procesados, se encuentran las ceras de abejas, mono glicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido láurico y ésteres de ácidos grasos (Jiménez et al., 2012). Por su naturaleza hidrofóbica los lípidos ejercen una buena barrera al vapor de agua, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas formando películas y recubrimientos quebradizos (Hernández, 2010).

Entre los materiales lípidos que se han empleado para la elaboración de formulaciones destinadas a productos mínimamente procesados, se encuentran las ceras de abejas, mono glicéridos acetilados, ácido esteárico, ácido láurico y ésteres de ácidos grasos (Jiménez et al., 2012). Por su naturaleza hidrofóbica los lípidos ejercen una buena barrera al vapor de agua, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas formando películas y recubrimientos quebradizos (Hernández, 2010). Generalmente, los recubrimientos y películas de cera han demostrado ser sustancialmente más resistentes a la humedad que al transporte de la mayoría de otros lípidos.

2.14 Mecanismos de formación de películas

En la formulación de películas y recubrimientos se necesita de una matriz estructural con suficiente cohesividad, así como de aditivos que pueden ser plastificantes y agentes bio activos, por el ejemplo: Antioxidantes, antimicrobianos. Estos compuestos formadores de películas son combinados y crean una estructura continua mediante interacciones entre moléculas bajo la acción de tratamiento químico o físico. El proceso de producción de la solución formadora de películas incluye generalmente, una primera etapa con la solubilización de las macromoléculas del polímero en un medio disolvente (por ejemplo, agua, etanol o ácidos); que puede contener uno o varios aditivos (plastificantes, agentes de reticulación, solutos, agentes de expansión, estabilizantes, entre otros).

La solución formadora de película se extiende en una capa delgada, normalmente seguido de un tratamiento de secado. Las propiedades funcionales de la película dependen de un número de parámetros, Formulación de solución (características y concentración de los componentes básicos y secundarios, pH, condiciones de desnaturalización) Condiciones de formación de la película (tipo de superficie sobre la que se extiende la solución, condiciones de secado, temperatura y velocidad). Condiciones en que se utiliza la película (temperatura y humedad relativa). La formación de una película también se puede realizar por los siguientes procesos: coacervación simple, coacervación compleja, gelificación o coagulación térmica, eliminación del disolvente y, fusión y solidificación (Aguilar, 2005).

2.15 Propiedades físicas de las películas y recubrimientos

Las películas y recubrimientos se caracterizan por constituir una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua que retrasan el deterioro del alimento, mejoran las propiedades

mecánicas, ayudan a mantener la integridad estructural del producto que envuelven, a retener compuestos volátiles y pueden actuar como vehículo de aditivos alimentarios y funcionales. Al ser aplicados a frutas permite controlar la respiración y senescencia de forma similar a las atmósferas modificadas, ejerciendo así una barrera a los gases y al vapor de agua, alargando la vida de anaquel y reduciendo de esta manera el deterioro del fruto.

Las películas y recubrimientos deben tener requerimientos funcionales en tres aspectos: Los referidos a sus propiedades de barrera, es decir, deben ser una barrera selectiva contra transmisión de gases, vapores y solutos; los requerimientos en cuanto a sus propiedades sensoriales, debiendo ser transparentes, inodoros e insípidos y aquellos que describen sus propiedades mecánicas, deben presentar manejabilidad, tensión y elasticidad. Así mismo, los recubrimientos pueden ser una protección mecánica y pueden servir como acarreadores de sustancias funcionales, como antioxidantes, antimicrobianas y nutrientes bio activos (Hernández, 2010).

Generalmente, las propiedades funcionales de estos materiales dependen en gran medida de su contenido de agua y de la humedad del medio circundante (Bertuzzi et al., 2007).

2.16 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas biodegradables dependen del tipo de material utilizado y especialmente de su cohesión estructural. La cohesión es el resultado de la propiedad del polímero para formar fuertes y/o numerosos enlaces moleculares entre cadenas poliméricas, dificultando así su separación. Las pruebas de esfuerzo y deformación son utilizadas para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Los parámetros comunes y principales que se caracterizan son: la tensión a la fractura (TF), el porcentaje de elongación (% E) y el módulo de elasticidad (ME o Módulo de Young) (Aguilar, 2005).

2.17 Propiedades de transferencia

Una de las funciones de un material de empaque es proteger al producto del medio que lo rodea. La permeabilidad al vapor de agua (PVA o por sus siglas en inglés, WVP), es una propiedad importante que indica la habilidad de la película de controlar el transporte de agua a través de esta. Otra propiedad que presentan las películas a base de almidón es la adsorción de agua, lo que significa que las moléculas de agua se ligan en 15 sitios hidrófilicos específicos, como pueden ser en residuos carboxilo e hidroxilo, a bajas humedades relativas o actividades de agua (aw). A altas (aw) la adsorción va acompañada de hinchamiento y cambios conformacionales en la estructura macromolecular (Bertuzzi et al., 2007).

2.18 Materiales utilizados en la investigación

2.18.1 Alginato de sodio

La obtención del alginato se basa en un conjunto de reacciones de intercambio iónico para la extracción del ácido algínico del alga en forma de alginato de sodio. El proceso se ha ido modificando y optimizando con el tiempo, permitiendo la producción de alginato con mayor calidad. Existen dos procesos básicos para la obtención de alginato de sodio. En el primero, los principales intermediarios son alginato de calcio y ácido algínico. En el segundo, no se forma alginato de calcio, solo ácido algínico.

En ambos procesos, durante la etapa de conversión del ácido algínico a alginato de sodio se usa agua o alcohol como solvente, obteniendo resultados muy diferentes. En el proceso para alginato de calcio normalmente el solvente es agua y en el proceso para ácido algínico se emplea más el alcohol, debido al alto contenido de agua en el ácido algínico (Arvizu et al., 2012). El ácido algínico y el alcohol pueden ser mezclados en un recipiente con agitación, añadiendo la cantidad

calculada del agente alcalino deseado, o bien, añadiéndolo simultáneamente con el alcohol. En algunas patentes se describen estos procesos, pero no se proporcionan detalles de la concentración o el volumen del solvente empleado.

El método describe que el ácido algínico se lava con agua hasta obtener un pH de 4 y se mezcla con carbonato de sodio hasta obtener un pH de 7. Se incorpora el álcali dependiendo de su naturaleza: a) se añade carbonato de sodio, potasio o magnesio como polvo seco y molido; b) los hidróxidos de potasio o sodio se añaden como soluciones acuosas concentradas o soluciones alcohólicas; c) el amoníaco se añade en la forma de amoníaco-agua, 28 % – 29 %, o como un gas en un recipiente de presión (Arvizu et al., 2012).

2.18.2 Aplicación de alginato de sodio como recubrimiento

El alginato de sodio muestra poseer características especiales en el desarrollo de matrices bio poliméricas destinadas a nuevas aplicaciones en empaques activos. Las películas comestibles a partir de alginato poseen un sin número de aplicaciones en el campo alimentario siendo su biodegradabilidad, biocompatibilidad, baja persistencia en el ambiente y grado de compatibilidad con diferentes sustancias sus principales características de innovación que han interesado en el campo a la investigación.

Claro está que muchas de sus funcionalidades como biomaterial se encuentran condicionadas por la cantidad, naturaleza y velocidad de liberación de las sustancias encapsuladas dentro de estas matrices, razón por la cual el estudio de su interacción con cada una de las sustancias anteriormente escritas deberá ser evaluada desde el aspecto mecánico, reológico y estructural, entre otros, y así vislumbrar su potencial en medio de las necesidades del campo agroalimentario (Méndez, 2015).

2.18.3 Incorporación de aditivos en los recubrimientos

Los recubrimientos se pueden utilizar como vehículo de aditivos, los cuales pueden proporcionar al producto vegetal funciones más específicas como una actividad antimicrobiana, para evitar o reducir el crecimiento de microorganismos en su superficie (Rodríguez et al., 2005). Sin embargo, se ha observado que se requiere de aplicaciones pequeñas para que sus atributos de calidad no se vean afectados. Dentro de los agentes antimicrobianos incorporados a los recubrimientos vegetales pueden considerarse a los aceites esenciales (Assis & Pessoa, 2004; Rodríguez et al., 2005; Rojas, 2006).

2.18.4 Aceites esenciales

Bakkali et al. (2008) menciona que: los aceites esenciales se encuentran en abundancia en el reino vegetal y se pueden localizar en diferentes partes de la planta por ejemplo: En hojas como albahaca (*Común basilicum* L.), mejorana (*Origanum majorana* L.), menta (*Mentha rotundifolia* L.), romero (*Rosmarinus officinalis* L.), salvia (*Salvia officinalis* L.), en raíces de cálamo (*Acorus calamos* L.), valeriana (*Valeriana officinalis* L.), en la corteza de canela (*Cinnamomum zeylanicum* Nees.), cedro (*Cedrela odorata* L.), sándalo (*Santalum álbum* L.), en flores como el jazmín (*Jasminum officinale* L.) y en la rosa (*Rosa* sp.).

En cáscara de algunas frutas como el limón, mandarina, naranja (*Citrus sinensis* L.) y en frutos de anís (*Pimpinella anisum* L.), cardamomo (*Elettaria cardamomum* L.), eneldo (*Anethum graveolens* L.) e hinojo (*Foeniculum vulgare* Miller). Los aceites esenciales son una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas. Las esencias son mezclas complejas en cuya composición se encuentran los hidrocarburos como terpenos,

alcoholes, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos, los cuales son los responsables del aroma que caracteriza a los aceites esenciales.

La actividad antifúngica de los aceites esenciales se asocia al contenido de fenoles monoterpenos especialmente el de tomillo (*Thymus vulgari* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) y clavo (*Eugenia caryophyllata* Thunb). Su mecanismo de acción se asocia con la capacidad de interactuar con el citoplasma del patógeno y su modo de acción parece estar estrechamente relacionado con la solubilidad de cada compuesto (Ronquillo, 2007). Se ha reportado toxicidad en humanos por la utilización de los aceites esenciales puros o en altas concentraciones, ocasionando desde irritaciones en la piel hasta cáncer. Sin embargo, la utilización de aceites en concentraciones mínimas no genera alteraciones en el organismo, siendo además productos considerados como GRAS (Bakkali et al., 2008).

2.18.5 Aceites esenciales y su actividad fungicida en hongos pos-cosecha

Los aceites esenciales han mostrado una actividad fungicida contra patógenos postcosecha en un amplio intervalo de hongos (Daferera et al., 2000). Actualmente, se han reportado varias investigaciones en donde se demuestra la actividad fungicida de los aceites esenciales.

2.18.6 Aceites esenciales y su actividad en bacterias que afectan la salud humana

La actividad bactericida de los aceites esenciales ha sido reportada por varios autores. Esta actividad podría estar relacionada con la respectiva composición de aceites volátiles de cada planta, a la configuración estructural de los componentes constituyentes de los aceites, a sus grupos funcionales y a posibles interacciones sinérgicas entre sus componentes. La hidrofobicidad de los aceites esenciales les permite incorporarse a los lípidos de la membrana bacteriana, ocasionando

trastornos en su estructura y permeabilidad, dando lugar a la fuga de iones y otros compuestos (Daferera et al., 2000).

2.18.7 Aplicación de aceites esenciales en recubrimientos comestibles

En la actualidad, varios autores han utilizado los aceites esenciales como aditivos en las formulaciones de sus recubrimientos. La incorporación de agentes antimicrobianos como es el caso de los aceites esenciales (anís, cardamo y tomillo) en películas, cubiertas o empaques, se ha probado en varios productos alimenticios como carne y productos de panadería, inhibiendo el desarrollo de hongos, bacterias y levaduras adicionaron aceite de tomillo (10 g) al recubrimiento, obteniendo en frutos de tomate una significativa inhibición en el crecimiento de *B. cinerea*.

En otras investigaciones, concentraciones por arriba de 0.06 % de aceite de tomillo redujeron el desarrollo de *R. stolonifer* en frutos de papaya, reportándose que a medida que aumentaban la concentración disminuía la severidad del hongo (Bosquez et al., 2010). En el caso de bacterias, el uso de aceites esenciales también ha sido benéfico para el control de estos microorganismos. Rojas et al. (2007) reportaron que el recubrimiento a base de puré de manzana alginato, glicerol y aceite esencial de orégano en trozos de mango, disminuyó el desarrollo de *Listeria innocua*, hasta un 50 % más que en los no tratados.

Al incorporar recubrimientos a base de Alginato y glicerol, y 0.3 % de ácido palmítico en melón cortado, inhibieron el crecimiento de *Salmonella entérica*, además de conservar el producto fresco con buenos parámetros de calidad (Rojas et al., 2007).

2.19 Aplicación de alginato de sodio y aceites esenciales y su efecto en el control de microorganismos

El alginato de sodio ha sido probado para la conformación de complejos poli electrolíticos para diferentes fines, es así como en mezcla con gelatina se utilizó para la formación de micro encapsulados, los cuales cumplen la función de matriz o pared envolvente para la protección de alimentos bioactivos frente a condiciones adversas del medio como luz, calor y aire; donde factores como el pH y la proporción de componentes, influenciaron la forma y tamaño de poros de las macropartículas y liberación de las sustancias retenidas.

De igual manera se han realizado comparaciones frente a la retención, liberación y disolución de sustancias farmacéuticas en 2 tipos de complejos poli electrolíticos conformado por quitosano en interacción con carragenina y otra con alginato, obteniéndose mejores resultados con la matriz conformada por quitosano y alginato al presentar un mayor tiempo de disolución y mayor control en la liberación del medicamento al reducir la proporción de polímeros en la formulación. El desarrollo y evaluación del efecto de recubrimientos comestibles (RC) en productos altamente perecederos, representa un acercamiento hacia la exploración de nuevas tecnologías de conservación amigables con el ambiente, al reducir el consumo de materiales sintéticos de alta persistencia en el ambiente y facilitar su disposición.

Adicionalmente, tienen el potencial de transportar compuestos bio activos, lo cual redundará en nuevas propiedades funcionales y beneficios para el consumidor (Wang et al., 2007; Silva et al., 2010), los aceites esenciales tienen la capacidad de generar matrices poliméricas, mediante el entrecruzamiento de sus cadenas adyacentes a través de las uniones con iones bivalentes como el calcio. Por tanto, ha sido utilizado en la elaboración de RC destinados a conferir protección a los productos alimentarios (Méndez, 2015).

III. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

Por sus características fisiológicas, la fresa es un fruto **no climatérico** (Thompson, 2003). Por consecuencia, no madura fuera de la planta y debe ser recolectada cuando están próximas a madurarse, lo cual reduce considerablemente su vida pos-cosecha (Alcántara, 2009). Su velocidad de respiración es alta, cerca de 15 mg CO₂/kg/h a 0 °C y se incrementa de 4 a 5 veces conforme se eleva la temperatura a 10 °C. La producción de etileno (hormona de la maduración) es muy baja, su valor oscila a menos de 0.1 µL/kg-h. En términos generales, el etileno, actúa incrementando la permeabilidad de la membrana celular, permitiendo un eficaz intercambio de oxígeno y productos finales de respiración, de igual manera, el etileno aumenta la actividad enzimática en la membrana.

La eliminación de etileno del aire de almacenamiento puede reducir el desarrollo de enfermedades de las fresas (DeEll, 2005). Un removedor de etileno, comúnmente usado en bodegas, contenedores de refrigeradores, etc. es el permanganato de potasio (KMnO₄), el cual oxida el etileno (Barreiro & Sandoval, 2006). Sin embargo, si la fruta sufre daño mecánico al momento de la cosecha por el alto contenido de carbohidratos, la producción de etileno es rápida, por efecto, madura el fruto y disminuye la firmeza (Barceló et al., 2005) y como resultado se acorta la vida de almacenamiento.

La fresa es un fruto no climatérico percedero, con una epidermis delgada, frágil, susceptible al daño mecánico y afectación por hongos durante la cosecha y almacenamiento; requiere de la aplicación de métodos de conservación que permitan prolongar la vida de anaquel. Una alternativa con potencial para lograrlo es la aplicación de recubrimientos comestibles, los cuales se pueden definir como una matriz continua, delgada, de material biopolímero (proteína o polisacárido como una solución hidrocoloide o como emulsión con lípidos), se estructura alrededor del alimento, generalmente mediante la inmersión de este en una solución formadora de

recubrimiento, actúa como una barrera física en defensa de daños mecánicos durante el transporte y almacenamiento.

Es por ello por lo que, el presente trabajo busca la incorporación de aceites esenciales de orégano, clavo y tomillo (AEs) para un recubrimiento comestible, y que este podría ser una alternativa interesante al proceso de conservación, gracias a las reconocidas propiedades antimicrobianas de los mismos.

Dando como resultado mucho más tiempo de vida de anaquel de la fresa sin perder sus propiedades organolépticas. Y así poder contribuir al mercado regional a través de los productores, empresas empacadoras y transportadoras de este fruto que deseen prolongar la vida de anaquel de la fresa y directamente a los consumidores finales, sin dejar fuera la posibilidad de que en un futuro podamos contribuir al mercado estatal y nacional a través de nuestra investigación brindando al consumidor mayor beneficio y una alta calidad en las fresas.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Elaborar recubrimientos comestibles enriquecidos con aceites esenciales de orégano (*Origanum vulgare*), clavo (*Syzygium aromaticum*), tomillo (*Thymus vulgaris*), para prolongar la vida de anaquel de la fresa (*Fragaria ananassa*).

4.2 Objetivos específicos

1. Obtener la formulación del recubrimiento comestible enriquecido con aceites esenciales.
2. Caracterizar parámetros físicos de los recubrimientos comestibles.
3. Evaluar las características fisicoquímicas y organolépticas de las fresas (*Fragaria ananassa*) tratadas con el recubrimiento comestible durante de su almacenamiento.
4. Determinar la aceptabilidad de las fresas (*Fragaria ananassa*), tratadas con recubrimientos comestibles por medio de una evaluación sensorial.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

La fresa (*Fragaria ananassa*) de la variedad San Andreas, se adquirió en el mercado Hidalgo del municipio de Salvatierra Guanajuato, se transportaron al laboratorio y se almacenaron en condiciones de refrigeración (4-6 °C). Las fresas fueron seleccionadas de acuerdo con las especificaciones de color, madurez y olor característico, según la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-062-SCFI-200 para formar lotes homogéneos de 7 frutos (se realizaron por triplicado para cada tratamiento), serán exentos y no se utilizaron para el experimento aquellos frutos que presentaban contaminación o daño mecánico. Los frutos se lavaron con agua potable y posteriormente con agua destilada, subsiguientemente fueron desinfectados en una solución salina al 0.9 %.

Los aceites esenciales de orégano, clavo, tomillo fueron obtenidos de la tienda B-NATURE sucursal Pachuca, Hidalgo y cuya matriz se encuentra en la Ciudad de México.

Alginato de sodio, glicerol fueron obtenidos en el laboratorio de alimentos de la universidad de Guanajuato ubicada en Salvatierra, sede el MAYORAZGO.

Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, la cantidad de muestra empleada en la investigación estuvo determinada por el número total de tratamientos establecidos los cuales fueron tres con triplicado y cada tratamiento contenía un total de 30 fresas para su estudio.

5.2 Métodos

El proyecto se realizó en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad Guanajuato en la División de Ciencias de la Salud e Ingenierías dentro del Departamento de Ingeniería Agroindustrial ubicado en privada de Arteaga s/n. Zona Centro. Salvatierra, Guanajuato. Sede Mayorazgo. En colaboración con la División de Ingeniería Bioquímica del Instituto Tecnológico Superior de la Región Sierra ubicado en la carretera Teapa-Tacotalpa en el km 4.5 Francisco Javier Mina.

A continuación, se presenta el diseño experimental de la caracterización del recubrimiento comestible (Figura 2), el diseño experimental de la preparación de la muestra para el objeto de estudio (Figura 3), por último, un diagrama de flujo de la aplicación de los recubrimientos comestibles aplicados a las fresas (Figura 4).

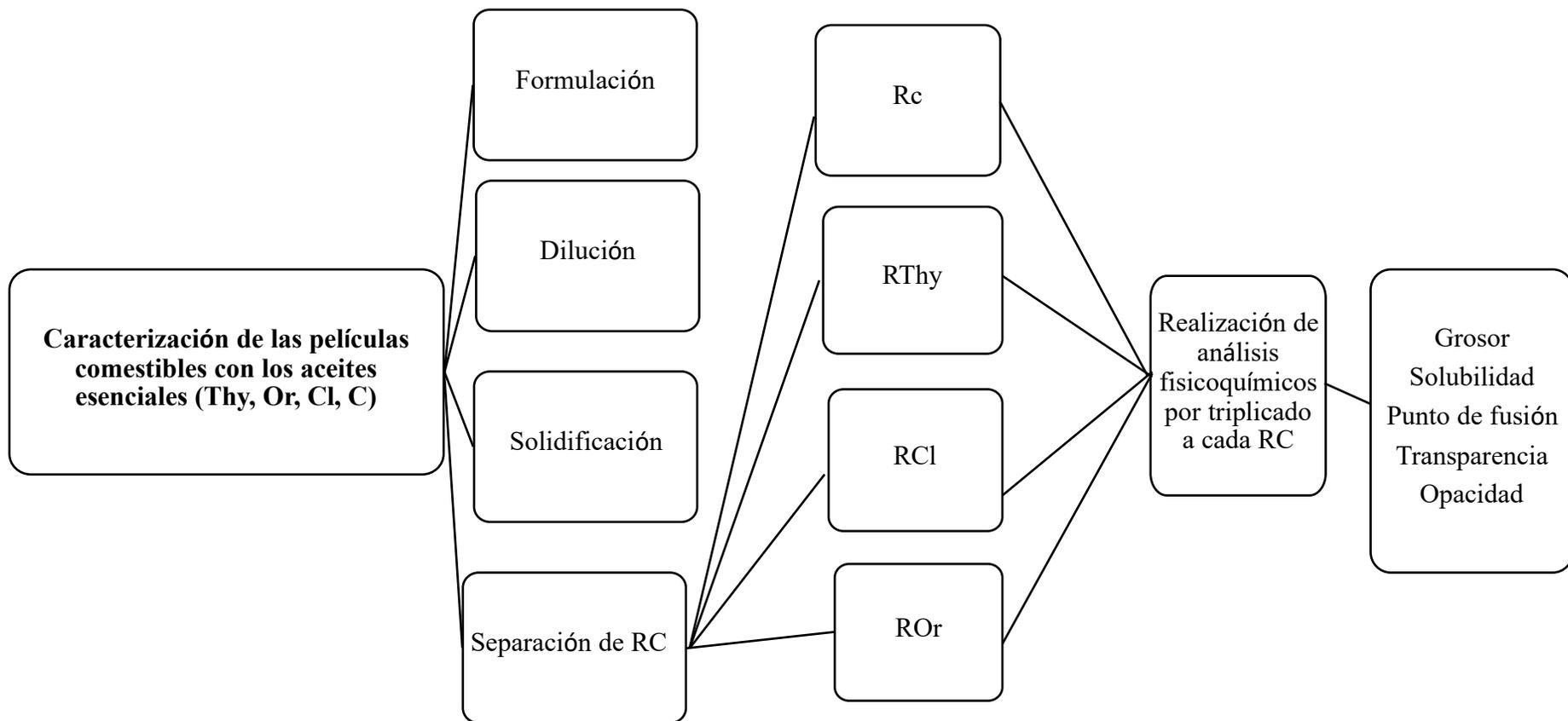


Figura 2. Diseño experimental de la caracterización de las películas comestibles (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC (Recubrimiento comestible) Rc (Recubrimiento control) RThy (Recubrimiento tomillo) RCl (recubrimiento clavo) ROr (recubrimiento orégano). Thy (Tomillo) Or (Orégano) Cl (Clavo) C (Control).

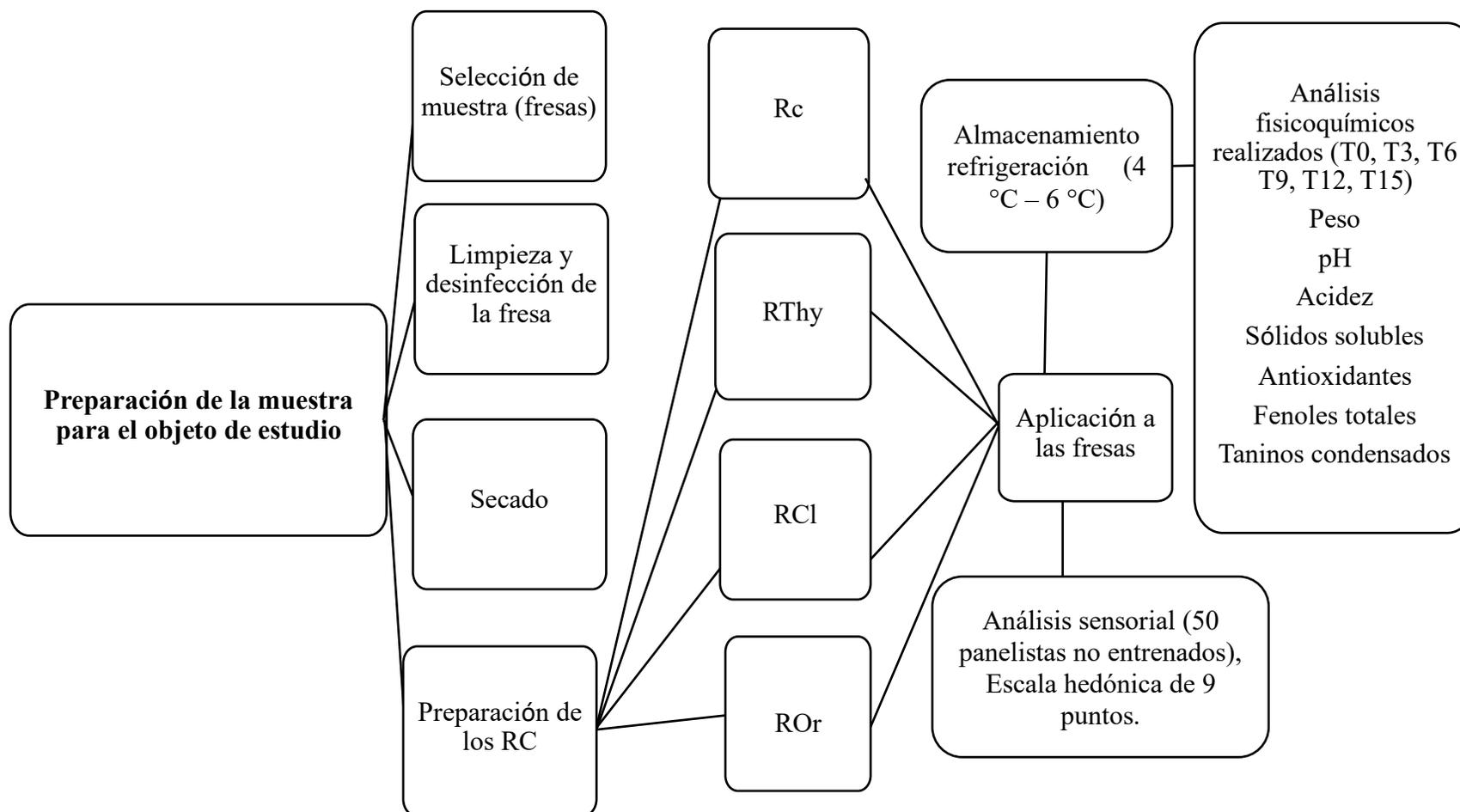


Figura 3. Diseño experimental de la aplicación del recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC (Recubrimiento comestible) Rc (Recubrimiento control) RThy (Recubrimiento tomillo) RCl (recubrimiento clavo) ROr (recubrimiento orégano)

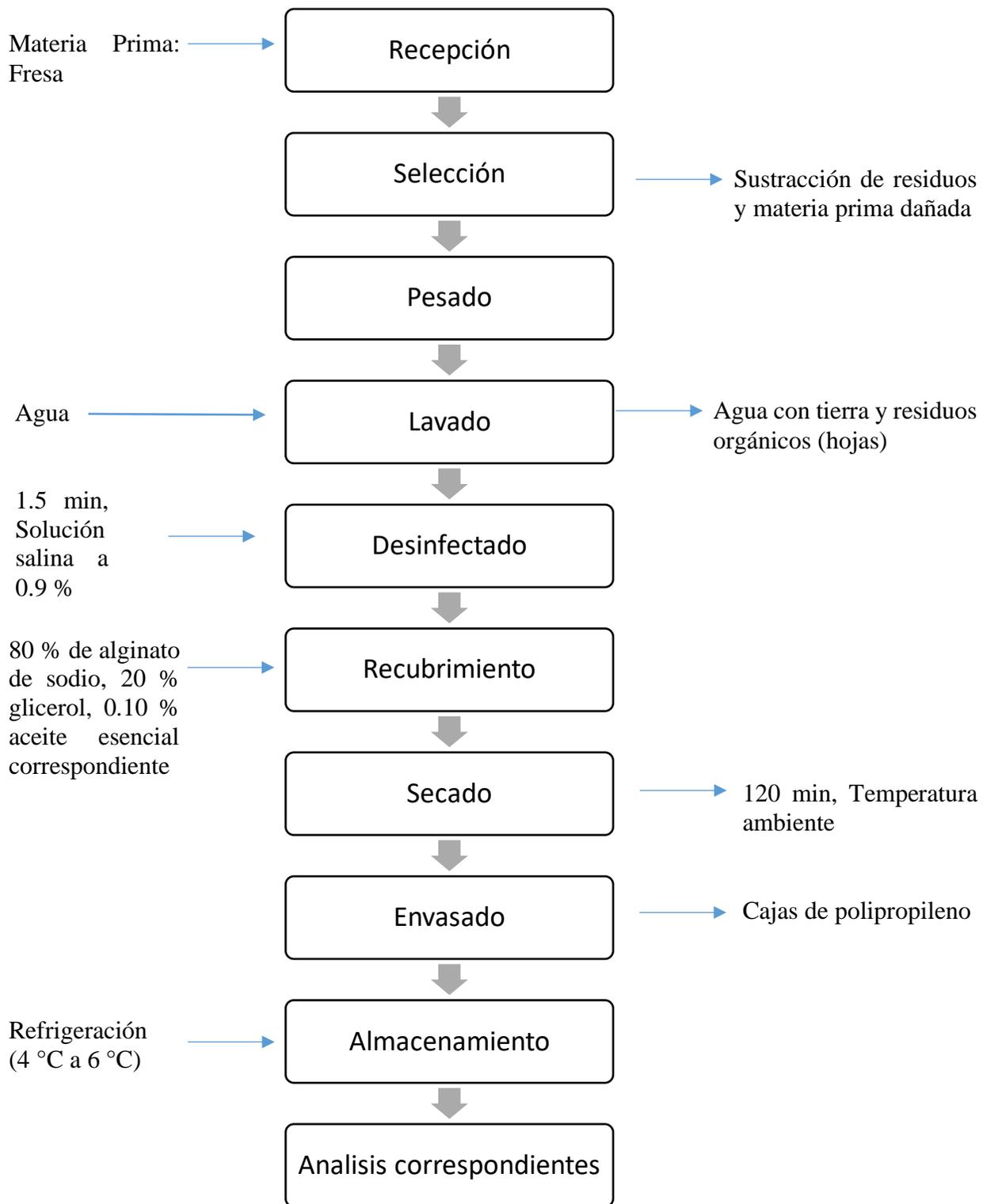


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de la aplicación de la película comestible a la fresa (Fuente: Elaboración propia).

5.3 Explicación del proceso

En la Figuras 2, 3 y 4 presentamos una descripción breve de los diseños experimentales, así como del diagrama de flujo.

Con respecto a la caracterización del recubrimiento comestible se basó en la formulación a base de alginato de sodio y glicerol en proporción 80:20 de alginato: glicerol a los cuales se adicionó 0.10 % de aceite esencial de acuerdo con el tipo de aceite a utilizar.

El recubrimiento control que estuvo libre de aceites esenciales. Se tomaron 3 ml de recubrimiento y se colocaron en cajas Petri, después se mantuvieron a temperatura ambiente por un periodo de 48 h para que el recubrimiento solidificara. Pasado ese tiempo, se retiraron de la caja Petri y se guardaron en bolsas herméticas a temperatura ambiente.

Se evaluó el punto de fusión en el equipo Fisher-Johns, Así mismo la transparencia en el espectrofotómetro, la opacidad se calculó de acuerdo a la Ecuación 3 y la solubilidad por medio de agitación se expresaron los resultados de acuerdo a lo propuesto por Herrera (2015) con algunas modificaciones, el grosor se realizó con ayuda de un vernier y se determinó de acuerdo a la Ecuación 1, la humedad se estableció de acuerdo con el método usado por Herrera (2015) de acuerdo a la Ecuación 2.

Posteriormente los recubrimientos se aplicaron en las fresas que servirían como muestra de estudio, por medio de inmersión se realizó la aplicación a las fresas las cuales fueron cubiertas completamente con el recubrimiento, se dejó un tiempo de secado de 120 min a temperatura ambiente y a continuación se almacenaron en cajas de polipropileno en refrigeración (4 °C a 6 °C) durante los 15 días del experimento.

Con referencia a las características fisicoquímicas del fruto se evaluó la pérdida de peso de la fresa al inicio y final durante los 15 días de experimento, y esta se calculó como la relación que hay entre el peso inicial menos el peso final entre el peso inicial, el cual está estipulado por Aguilar (2005) y cuyos resultados fueron expresados en porciento de pérdida de peso.

Se determinaron el pH, acidez y sólidos solubles de acuerdo con lo descrito por Trejo (2007) en el cual se utilizaron 10 g de la muestra de fresa recubierta de cada tratamiento, se diluyeron en 100 ml de H₂O destilada, después se llevaron a agitación por 30 min a 300 rpm para que pueda ser homogeneizada correctamente.

Posteriormente se filtró y se midió el pH a temperatura ambiente con ayuda del potenciómetro (OAKTONion700).

Para poder medir la acidez se utilizaron 30 ml de solución previamente descrita en el párrafo anterior, adicionando fenolftaleína al 1 % como indicador. La acidez se determinó por titulación directa con NaOH al 0.1 N. los resultados se expresaron en % de ácido cítrico, de acuerdo con la fórmula propuesta por Moncayo (2013).

Para saber el contenido de los sólidos solubles este se determinó por medio de lectura directa en el refractómetro portátil colocando una gota del zumo de la fruta sobre el prisma del equipo y los resultados se expresaron en grados °Brix.

Así mismo la determinación de los antioxidantes se llevó a cabo agregando 150 µl de extracto de fresa junto con 150 µl del reactivo DPPH. Se mezclaron en ausencia de luz y a temperatura ambiente, posteriormente la absorbancia se midió a una longitud de onda de 490 nm después de 30 minutos de reacción de acuerdo con lo propuesto por Velázquez & García (2017).

La determinación de fenoles totales se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Meda et al. (2005) con algunas modificaciones. Se colocaron 30 μl de extracto de fresa junto con 150 μl del reactivo Folin–Ciocalteu se dejó reposar durante 5 minutos, finalmente se agregaron 120 μl de Na_2CO_3 al 0.075 %, se incubaron a temperatura ambiente por 2 horas, pasado el tiempo se midió la absorbancia a una longitud de onda de 750 nm.

La medición de taninos condensados se realizó de acuerdo con Tlili et al. (2015) se mezclaron 10 μl de extracto de fresa, 197 μl de solución Etanol-Vainillina al 4 % y 99 μl de H_2SO_4 concentrado, finalmente se incubaron a temperatura ambiente por 15 minutos, y la absorbancia se midió a 490 nm.

La determinación de características organolépticas se realizó a través de la valoración de análisis sensorial, con 50 panelistas no entrenados, donde se evaluaron los atributos de olor, color, textura, sabor, de igual manera se evaluó la aceptabilidad global.

5.4 Preparación del recubrimiento comestible

El recubrimiento comestible se elaboró con alginato de sodio al 0.10 % siguiendo la metodología de Herrera (2015) con algunas modificaciones, en una solución al 0.10 % de glicerol, donde RC será el control, se adicionó para cada una los distintos aceites esenciales al 0.10 % (RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo en cada tratamiento utilizado respectivamente). Se formaron 4 tratamientos y se codificaron de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de los recubrimientos comestibles.

Tratamiento	Codificación	Alginato de sodio (%)	Glicerol (%)	Aceites esenciales (Cl, Thy, Or) (%)
1	RC	80	20	-
2	RThy	80	20	0.10
3	RCl	80	20	0.10
4	ROr	80	20	0.10

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con aceite esencial 0.10 %, en cada tratamiento utilizado respectivamente).

Conservando la relación del alginato de sodio (80 %) y el glicerol (20 %). Una vez que estuvieron en conjunto los tres ingredientes se mantuvieron en agitación constante por 30 min a 500 rpm para una mejor homogeneización de la mezcla.

El valor del alginato y del glicerol se mantiene constante, al igual que los aceites esenciales 0.10 % dependiendo del tratamiento nombrado respectivamente.

5.5 Caracterización del recubrimiento comestible

Para la caracterización de los recubrimientos comestibles, se tomaron 3 ml de tratamiento y se vertieron sobre cajas Petri, se incubaron a temperatura ambiente por un período de 48 h para que la cubierta solidificara. Transcurrido este tiempo, estas se retiraron de cada caja Petri y se almacenaron en bolsas herméticas a temperatura ambiente.

5.5.1 Grosor

Los recubrimientos comestibles obtenidos para su caracterización se recortaron con una perforadora de orificios de 0.8 cm de diámetro. El grosor de los recubrimientos comestibles se determinó con algunas modificaciones, con ayuda de un vernier (Figura 5) a 3 mediciones aleatorias del recubrimiento comestible se excluyeron aquellos con burbujas de aire, rasgadas o con algún defecto. Para obtener el grosor promedio de cada recubrimiento comestible se utilizó la Ecuación 1.

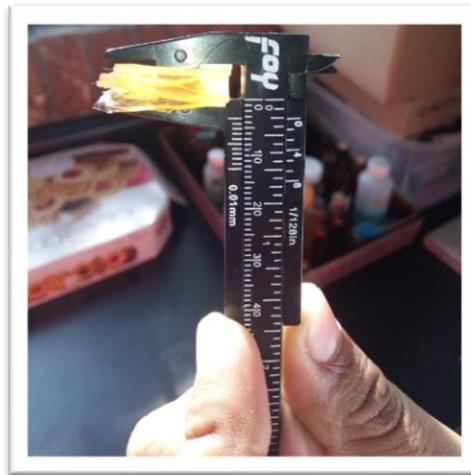


Figura 5. Medición de grosor (Fuente: Elaboración propia).

$$Grosor = \frac{\text{promedio de la medicion obtenida}}{\# \text{ de recubrimientos medidos}} \quad (1)$$

5.5.2 Porcentaje de contenido de humedad

Con referencia a la determinación de contenido de humedad se determinó de acuerdo con el método usado por Herrera (2015), se cortaron los recubrimientos comestibles en cuadros de 2x2 cm² y se colocaron al horno por 24 horas a temperatura de 100 °C (Figura 6). Los pesos de las muestras se registraron antes y después del secado. El contenido de humedad se determinó como porcentaje en la Ecuación 2.



Figura 6. Peso del recubrimiento (Fuente: Elaboración propia).

$$CH(\%) = \frac{(\text{peso inicial} - \text{peso final})}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (2)$$

5.5.3 Solubilidad

Las muestras usadas para el contenido de humedad (previamente secas) se colocaron en vasos de 250 ml y se adicionó 80 ml de agua destilada (Figura 7).



Figura 7. Dilución de la película comestible (Fuente: Elaboración propia).

Con ayuda del cronómetro se determinó el tiempo que tardará en diluirse el recubrimiento, se efectuó por triplicado para cada muestra. Se realizó modificaciones a lo propuesto por Herrera (2015).

5.5.4 Punto de fusión

Para la determinación del punto de fusión se midió de acuerdo con lo descrito por Aguilar (2005) con ciertas modificaciones.

Colocando la muestra del recubrimiento comestible sobre el cubreobjetos del equipo Fisher-Johns, una vez que la muestra llegó a su punto de fusión se determinó observando y anotando la temperatura marcada por el termómetro del equipo (Figura 8).



Figura 8. Determinación de punto de fusión (Fuente: Elaboración propia).

5.5.5 Transparencia

Con respecto a la transparencia se cortaron los recubrimientos comestibles con ayuda de una perforadora obteniendo círculos con un diámetro de 0.8 cm mismos que fueron puestos en placas de fondo plano para lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro a longitud de onda de 590 nm. Se realizó por triplicado para cada tratamiento. La transparencia se reportó como % de transmitancia.

5.5.6 Opacidad

Para el cálculo de la opacidad del recubrimiento comestible se utilizó los datos obtenidos como resultado de la transparencia y se sustituyó en la Ecuación 3, propuesto por Arredondo (2017).

$$N = 100 \% - T (\%) \quad (3)$$

En donde

N es la opacidad y **T** es la transmitancia en %.

5.6 Aplicación del recubrimiento comestible

Para la aplicación del recubrimiento comestible se realizó por inmersión del fruto: Se tomó del pedículo y sépalo y se sumergió durante un segundo.

Se retiró y se dejó escurriendo para eliminar el exceso de recubrimiento comestible sobrante, de acuerdo con lo propuesto por Oregel (2013) con algunas modificaciones.

Posteriormente se sometió a inmersión en una solución de CaCl_2 al 1 %, con el fin de plastificar el recubrimiento comestible.

Además de que el CaCl_2 ejerce un efecto importante sobre la conservación de las fresas almacenadas a bajas temperaturas por disminución de la permeabilidad de las membranas celulares, reducción de la absorción de agua y aumento de la dureza de la pulpa y por tanto retrasa la senescencia. La fresa se envasó en cajas de poliestireno biorientado.

Las cajas se almacenaron en refrigeración (4-6 °C). Durante los 15 días de almacenamiento se evaluaron cada tercer día y por triplicado los parámetros de pérdida de peso, pH, acidez, sólidos solubles, color, actividad antioxidante, fenoles totales y taninos condensados.

5.7 Pruebas fisicoquímicas

5.7.1 Pérdida de peso de la fresa

Los frutos con recubrimientos comestibles fueron pesados en una balanza OHAUS ARC 120 al inicio y cada tercer día durante los 15 días del experimento (Figura 9). Se calculó la diferencia de pérdida de peso mediante la relación que existe entre el peso inicial del fruto (p_i) menos el peso final (p_f) entre el peso inicial (p_i) por 100 de acuerdo con lo estipulado por Aguilar (2005). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso de acuerdo con la Ecuación 4. Cada uno de los tratamientos se mantuvo en refrigeración después de haber sido pesados.

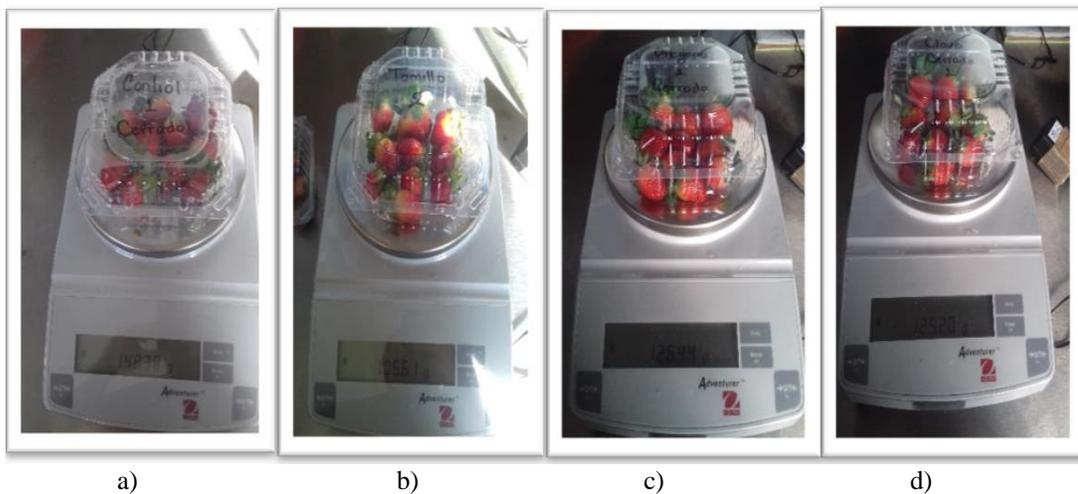


Figura 9. Peso de las fresas de los distintos tratamientos. a) control b) tomillo c) orégano d) clavo (Fuente: Elaboración propia).

$$\text{Pérdida de peso} = \frac{p_i - p_f}{p_i} \times 100 \quad (4)$$

5.7.2 Determinación de pH, Acidez y Sólidos solubles

En la presente prueba se evaluó el contenido de pH, Acidez, Sólido soluble a cada muestra y por triplicado cada tercer día durante los 15 días de experimento.

5.7.2.1 pH

Con respecto a la determinación del pH se llevó a cabo de acuerdo con Trejo et al. (2007) con algunas modificaciones.

Se obtuvieron 10 gramos de pulpa de fresa recubierta de cada tratamiento, se diluyó con 100 ml de agua destilada, posteriormente fueron llevados a agitación de 300 rpm por 30 min para homogeneizar.

Se filtraron y se midió el pH a temperatura ambiente con ayuda de un potenciómetro (OAKTON® ion700) (Figura 10).

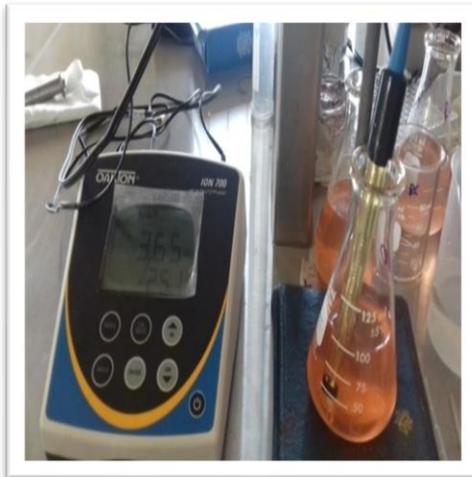


Figura 10. Titulación de los tratamientos (Fuente: Elaboración propia).

5.7.2.2 Acidez

Para la medición de la acidez se utilizaron 30 ml de solución previamente usada en la determinación del pH agregando fenolftaleína al 1 % como indicador. La acidez se determinó por titulación directa con NaOH al 0.1 N.

Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico Moncayo (2013) (Ecuación 5) (Figura 11 y 12).



Figura 11. Titulación directa con NaOH a los diversos tratamientos (Fuente: Elaboración propia).



Figura 12. Titulación de los tratamientos (Fuente: Elaboración propia).

$$\% \text{ acidez}(\text{ácido cítrico}) = \frac{V * N * 6.4}{M} \quad (5)$$

Dónde:

V: Volumen de solución de NaOH 0.1N gastado en la titulación de la muestra en ml.

N: Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

Constante 6.4: Equivalente de ácido cítrico.

M: Volumen de la muestra (ml).

NOTA: 0.001 ml de NaOH 0.1N es igual a 6.4 g de ácido cítrico.

5.7.2.3 Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles se determinó por lectura directa colocando una gota del zumo de fruta sobre el prisma de medición del refractómetro portátil digital marca KRÜSS DR 201-95, de acuerdo con lo descrito por Moncayo (2013) con algunas modificaciones. Para la obtención del zumo se trituraron las fresas en un mortero y se filtraron con ayuda de una manta. Esto se repitió para cada tratamiento de fresas con recubrimiento comestible. Los resultados fueron expresados en grados °Brix (Figura 13).



Figura 13. Lectura de sólidos solubles de los tratamientos (Fuente: Elaboración propia).

5.7.3 Determinación de actividad antioxidante, fenoles totales y taninos condensados

En la presente prueba se evaluó la actividad antioxidante, fenoles totales y taninos condensados, mismos que se llevaron a cabo por diferentes técnicas: % inhibición de DPPH, Folin–Ciocalteu y el de la Etanol-Vainillina, respectivamente. Para llevar a cabo las pruebas se obtuvieron extractos de fresa, los cuales se usaron como muestra.

5.7.3.1 Preparación de extracto de fresa

Para la obtención del extracto de fresas (Figura 14), mismo que fue usado en las pruebas de determinación de actividad antioxidante, fenoles totales y taninos condensados, se realizó conforme a lo descrito por Van (2013) con algunas modificaciones.

Se añadieron 0.66 g de zumo de fresas en 10 ml de metanol/agua (80:20), se centrifugó a 12,000 rpm por 20 min. Se separó el sobrenadante para el análisis.



Figura 14. Preparación del sustrato (Fuente: Elaboración propia).

5.7.3.2 Actividad antioxidante

La determinación de la actividad antioxidante se realizó agregando 150 μ l de extracto de fresa junto con 150 μ l del reactivo DPPH. Se mezclaron en ausencia de luz y a temperatura ambiente, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 490 nm a los 30 minutos de reacción (Figura 15) (Velázquez & García, 2017). Se efectuó por triplicado. Además, se realizó la curva de calibración de actividad antioxidante, se prepararon 11 concentraciones diferentes de ácido elágico de 0-20 mg/l en metanol y se realizó el procedimiento para la determinación de actividad

antioxidante y se obtuvo la curva de calibración graficando la absorbancia respecto a las concentraciones.

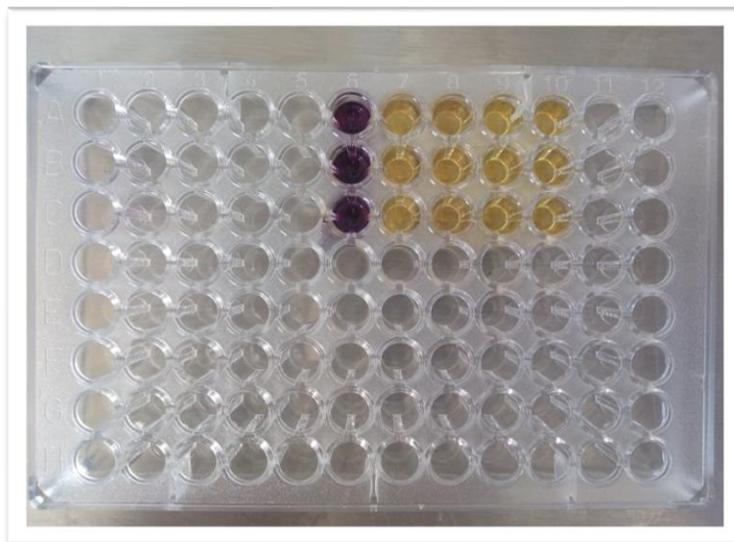


Figura 15. Lectura de DPPH (Fuente: Elaboración propia).

La actividad antioxidante se expresó en porcentaje de captación de radicales libres DPPH de acuerdo con la Ecuación 6 (Canadanovic et al., 2014).

$$\% \text{ inhibición del radical DPPH} = \frac{\text{Absorbancia del blanco} - \text{absorbancia muestra (30 min)}}{\text{Absorbancia del blanco}} \cdot 100 \quad (6)$$

5.7.3.3 Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Meda et al. (2005) con algunas modificaciones. Se colocaron 30 μl de extracto junto con 150 μl del reactivo Folin–Ciocalteu se dejó reposar durante 5 minutos, finalmente se agregaron 120 μl de Na_2CO_3 al 0.075 %.

Se incubó a temperatura ambiente durante 2 horas, pasado el tiempo la absorbancia se midió a una longitud de onda de 750 nm, usando etanol como blanco, se ejecutó por triplicado.

Se realizó una curva de calibración usando ácido gálico como estándar a 10 concentraciones diferentes de 0-20 mg/l. Los resultados fueron expresados en equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de muestra (Figura 16).

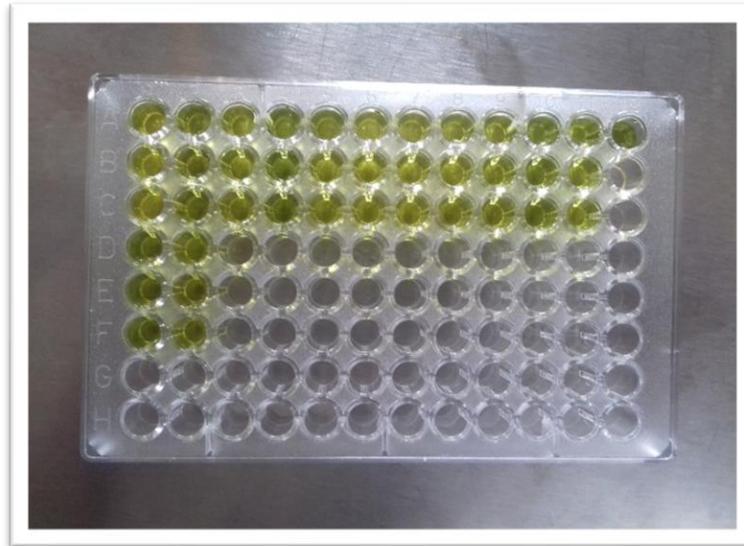


Figura 16. Lectura de fenoles totales (Fuente: Elaboración propia).

5.7.3.4 Determinación de taninos condensados

La determinación de proantocianidinas se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Tlili et al. (2015). Se mezclaron 10 μ l de extracto, 197 μ l de solución Etanol-Vainillina al 4 % y 99 μ l de H_2SO_4 concentrado.

Finalmente se incubaron a temperatura ambiente por 15 minutos, la absorbancia fue medida a 490 nm. Se realizó una curva de calibración usando catequina como estándar a partir de 11 concentraciones diferentes de 75 a 750 μ g/ml (Figura 17).



Figura 17. Lectura de taninos condensados (Fuente: Elaboración propia).

Los resultados fueron expresados en mg de equivalente de catequina (EC)/g de muestra.

5.8 Análisis sensorial

La valoración de análisis sensorial se realizó con 50 panelistas no entrenados, la prueba que se utilizó fue de un perfil sensorial mediante una escala hedónica de nueve puntos (me disgusta extremadamente –me gusta extremadamente) para los tratamientos, donde a través de la escala se evaluarán los atributos de olor, color, textura, sabor, de igual manera se evaluará la aceptabilidad global.

5.9 Análisis estadístico

De acuerdo con el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANOVA), con prueba de Tukey (0.05) para la comparación de medias, empleando el Software Statgraphics Centurión XVI y Microsoft Excel 2010. Además, se aplicó un formato-encuesta para análisis sensorial mediante una escala hedónica de 9 puntos para obtener la información acerca de las características organolépticas del fruto.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas al recubrimiento comestible

A continuación, presentamos los resultados de los distintos parámetros fisicoquímicos evaluados a los diferentes recubrimientos comestibles como son: El grosor, contenido de humedad, solubilidad, punto de fusión, transparencia y opacidad, ya que estos aportan información sobre el comportamiento del recubrimiento al momento de la aplicación.

6.1.1 Grosor

El grosor fue uno de los parámetros evaluados registrados en la Tabla 2, los recubrimientos comestibles más gruesos fueron los tratamientos ROr y RThy y RC con un grosor de 0.0013 mm y el tratamiento RCl presento el menor grosor con 0.0004 mm. Rico (2013) reporta el grosor de los recubrimientos comestibles formulados con alginato y dos distintos aceites esenciales, lima y naranja, se encuentran en un rango de 0.009-0.143 mm de grosor dependiendo de la concentración de ingredientes mencionados en su formulación.

Por otro lado, Herrera (2015) menciona que en estudios de caracterización óptica de películas comestibles compuestas a base de alginato-goma guar, las películas que contenían un solo componente eran más delgadas en comparación con las películas de material compuesto. También, Herrera (2015) reporta que sus recubrimientos comestibles a base de alginato y goma guara varían del grosor, la más delgada cuenta con 0.0005 mm hasta la más gruesa con 0.0014 mm variando según el % de alginato-goma guar que lo compone.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados a los recubrimientos comestibles.

Parámetros /Tratamientos	RC	RCl	RThy	ROr
Grosor (mm)	0.0013	0.0004	0.0013	0.0013
Contenido de Humedad (%)	33.50±0.007 ^b	23.21±0.001 ^a	14.29±0.0001 ^a	13.18±0.0001 ^a
Solubilidad (%)	100	100	100	100
Punto de Fusión (°C)	268.66 ^c	300 ^b	267.5 ^c	262.25 ^c
Transparencia (% Transmitancia)	86.23±0.0148 ^a	83.98±0.0066 ^a	85.34±0.0120 ^a	89.33±0.0211 ^b
Opacidad (%)	16.64±0.0148 ^{ab}	16.02±0.0066 ^b	14.66±0.0120 ^b	10.67±0.0211 ^a

Nota: Los superíndices con letra distinta muestran diferencias significativas ($p \geq 0.05$). RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con cada aceite esencial al 0.10 %).

Por otro lado, Navarro et al. (2007) mencionan que las propiedades de barrera dependen del grosor del recubrimiento, ya que determina la distancia que el permeado (vapor de agua y gases) debe recorrer para difundir de un lado a otro del recubrimiento. Se notó que, durante la caracterización de las distintas películas enriquecidas con los aceites esenciales, el RCl se despegaba de las cajas Petri con mayor facilidad, así como su secado era mejor en comparación a los tratamientos de ROr y RThy; esto podría deberse a que su grosor fue el menor.

6.1.2 Contenido de humedad

De acuerdo con los resultados obtenidos en contenido de humedad representados en % de pérdida de humedad se encontró diferencia significativa con un ($p \geq 0.05$) de confiabilidad (Tabla 2), se halló que el RCl tuvo mayor pérdida de humedad con un 25 %, en comparación con los otros tratamientos, los cuales registraron las siguientes pérdidas de humedad; 13 % para el ROr y 14 % para el RThy mientras que el recubrimiento RC fue el que mayor pérdida mostró con un 33.5 %

de pérdida. Dentro de los tratamientos con aceites esenciales el que tuvo una mayor pérdida de humedad fue el tratamiento RCI.

Rojas (2006) reporta que los recubrimientos elaborados a partir de polímeros naturales tales como los polisacáridos (almidón y derivados de la celulosa, alginatos, pectinas, gelano, carragenano, entre otros), muestran una baja resistencia al agua y poseen pobres propiedades de barrera, como consecuencia de su naturaleza hidrofílica. A medida que la película se vuelve más hidrofílica, las moléculas de agua son absorbidas con menos energía en los sitios activos del sustrato (Pastor, 2010) lo anterior podría explicar las diferencias encontradas entre los tratamientos, ya que al adicionar los aceites esenciales hicimos que el recubrimiento fuera menos hidrofílico respecto al control.

6.1.3 Solubilidad

De acuerdo con los datos registrados no se encontró una diferencia significativa de ($p \geq 0.05$) en la Tabla 2 en % de solubilidad de cada recubrimiento comestible a base de alginato enriquecido con diferentes aceites esenciales, donde todos los tratamientos obtuvieron una solubilidad del 100 %. En cuanto a los tiempos que tomaron para solubilizarse tampoco hubo una diferencia significativa, ya que oscilaron entre 5.5 min a 6 min para todos los tratamientos realizados por triplicado. Rodríguez et al. (2018) reportan las solubilidades de películas comestibles a base de alginato adicionados con frútanos de agave mostrando resultados muy semejantes a los obtenidos, con un 100 % de solubilidad.

Para la elaboración de las películas comestibles se emplean mezclas, con el fin de contrarrestar las deficiencias propias de cada componente y mejorar las propiedades del resultante (Tharanathan 2003; Jeng et al., 2007). De acuerdo con Rodríguez et al. (2018) menciona que: las

características fisicoquímicas como la solubilidad de las películas dependerá de cada uno de los compuestos que integran la formulación.

6.1.4 Punto de fusión

Con base a los datos registrados en la Tabla 2 en relación con el punto de fusión de los recubrimientos comestibles, estos muestran resultados con poca variabilidad en cuestión de temperatura registrada para el punto de fusión en el tratamiento RCl se separa estadísticamente del resto de los tratamientos con un valor de 300 °C, seguido de RC con 268.66 °C y el menor valor para el tratamiento ROr con 262.5 °C. Cabe mencionar que la diferencia fue notable y significativa para el RThy con temperatura de 300 °C con relación al de menor punto de fusión teniendo una diferencia aproximadamente de 33 °C.

Rodríguez et al. (2018) reportaron la temperatura de fusión para recubrimientos a base de alginato adicionados con frútanos de agave con un rango de 227 °C a 258 °C. Haciendo mención de que a mayor contenido de frútanos en la formulación, mayor fue la temperatura de punto de fusión alcanzada. Sin embargo, Aguilar (2005) reporta la temperatura de punto de fusión en recubrimientos elaborados a base de gelatina-almidón-glicerol se mantuvieron dentro de un intervalo de 199.17-209.87 °C; misma que disminuye conforme aumenta la concentración de glicerol, esto a concentraciones de almidón mayores a 0.142 % y a bajas concentraciones del polisacárido (0.032 %) la temperatura permanece constante.

Las diferentes temperaturas registradas en las distintas investigaciones fueron más bajas que las reportadas por esta investigación (262.5 – 300 °C).

6.1.5 Transparencia

Tomando en cuenta los datos registrados con referencia a la transparencia de los recubrimientos comestibles reportados en % de transmitancia, tenemos que ROr fue la de mayor transmitancia con 89.33 %, seguido de RC con 86.23 %, RThy con 85.34 % y el de menor transmitancia RCl con 83.98 %. (Tabla 2). Arredondo (2017) reporta resultados acerca de la evaluación de propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua de películas de quitosano los cuales reportan el % de transmitancia en un rango de 65.2395 % a 71.875 %. Los diferentes % de transmitancia reportados en este trabajo son mayores a las reportadas por Arredondo (2017), ya que están en un rango de (83.98 - 89.33 %).

6.1.6 Opacidad

Con respecto a la opacidad de los recubrimientos comestibles reportados en esta investigación se muestra en la Tabla 2. Al igual que en los resultados de transparencia, estos tienen relación directa a la transparencia, ya que son el resultado de emplear la ecuación n° 7, así mismo se registran los resultados en % de opacidad, teniendo, así como resultado un 16.02 % para el RCl, 14.66 % para el RThy y un 10.67 % para el ROr y un 16.64 %. Donde ROr es el de menor opacidad y RC el de mayor opacidad. Por otra parte, Arredondo (2017) en su trabajo de investigación reporta datos de opacidad con un rango de (28.12 - 34.76 %).

Evidentemente se puede señalar que los resultados de esta investigación son menores a los registrados por el autor ya antes mencionado y que estos dependen del tipo de recubrimiento utilizado y de las condiciones experimentales.

6.2 Resultados de pruebas fisicoquímicas realizadas al fruto

El resumen de los distintos parámetros evaluados a las fresas con recubrimientos comestibles adicionados con aceites esenciales se muestra en la Tabla 3. Estos resultados aportan información al final del periodo experimental del comportamiento que mostraron los tratamientos al aplicar las distintas formulaciones elaboradas en el presente trabajo y poder observar el efecto en cada tratamiento experimental, así como el impacto sobre la calidad y vida de útil de la fresa.

Tabla 3. Resultados de prueba de la fresa.

Tratamientos	Pérdida de peso	pH	% Acidez	Sólidos solubles (° Brix)
RC	15.0 %	3.22±0.03 ^a	0.014±0.07 ^a	4.65±0.014 ^a
ROr	9.84 %	3.27±0.02 ^a	0.013±0.07 ^a	6.45±0.014 ^b
RThy	14.74 %	3.47±0.02 ^a	0.013±0.12 ^b	6.20±0.014 ^a
RCI	12.16 %	3.48±0.05 ^a	0.013±0.00 ^a	5.85±0.014 ^a

Nota: Los superíndices con letra distinta muestran diferencias significativas ($p \geq 0.05$). RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con cada aceite esencial al 0.10 %).

Los resultados de pérdida de peso muestran que el tratamiento control fue el que perdió mayor cantidad de agua con un 15 % seguido del tratamiento RThy con 14.74 %, el tratamiento ROr fue el de menor pérdida con 9.84 %. En general podemos decir que los recubrimientos utilizados pudieron reducir la pérdida de agua en el fruto de fresa y solo para el tratamiento ROr esta pérdida fue significativa. Tanto el pH como la acidez expresada como porcentaje de ácido cítrico no mostraron diferencias significativas entre tratamientos al final del periodo experimental. Respecto al contenido de sólidos solubles si hubo una diferencia significativa de tratamiento control comparado con el resto de los tratamientos, el RC mostró el menor contenido de sólidos solubles mientras que ROr fue el que tuvo el mayor contenido.

6.2.1 Pérdida de peso

De manera más específica y de acuerdo con el análisis de porcentaje de pérdida de peso en la Figura 18 se muestra de manera gráfica que la menor pérdida fue para el tratamiento ROr (9.84 %) seguida del tratamiento RCI (12.16 %), RThy (14.74 %) y RC (15.00 %) respectivamente; el tratamiento RC presento la mayor pérdida respecto a los demás tratamientos durante los 15 días de almacenamiento.

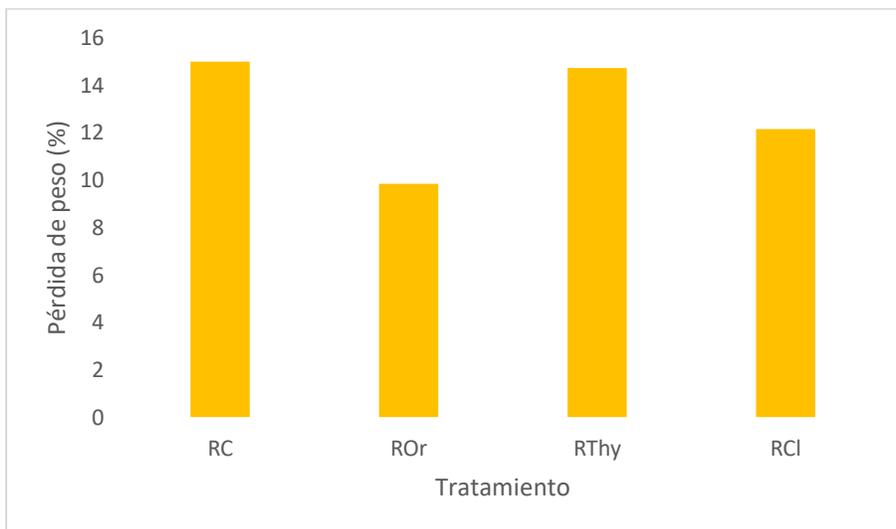


Figura 18. Porcentaje de pérdida de peso de los lotes de fresa con recubrimientos comestibles (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

De acuerdo con la Figura 19 se muestra el comportamiento de pérdida de peso a lo largo del período experimental, donde se aprecia claramente que la pendiente de tratamiento ROr es menos pronunciada que el resto de los tratamientos concordando con lo dicho en la figura anterior del porcentaje de pérdida de peso. Para nuestro conocimiento, no se encontraron publicaciones sobre pérdida de peso en recubrimientos comestibles enriquecidos con los aceites esenciales utilizados en esta investigación. Pero existen reportes de la aplicación de un recubrimiento

comestible a base de alginato de sodio en fresa, el cual disminuyó la pérdida de peso durante el almacenamiento (Meda et al., 2005).

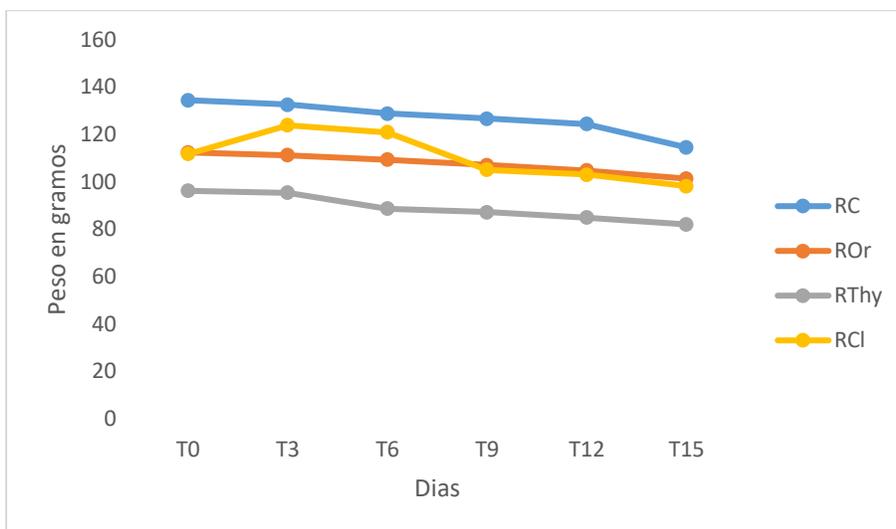


Figura 19. Pérdida de peso en gramos de los lotes de fresa con recubrimiento comestible durante el periodo experimental (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Asimismo, Rodríguez et al. (2018) mencionan en su trabajo de investigación acerca de recubrimiento comestible adicionado con frútanos de agave para las fresas un intervalo de 43.13 a 49.46 % de pérdida de peso con este tipo de recubrimiento. Por otro lado, Moncayo (2013) menciona que la pérdida de peso en frutos se produce por la pérdida de agua ocasionada por el proceso de respiración y transpiración, en su investigación Moncayo trabajo con recubrimientos comestibles a base de dextrana, pectina, sorbitol y aceite de canola y canela aplicados en fresa durante 18 días. El porcentaje de pérdida de peso que reporta el autor es de entre 11.1 % y 19.95 %, donde, el valor mayor de pérdida de peso fue para el tratamiento control con 19.95 %.

Nuestros datos están de acuerdo con lo reportado por ambos autores obteniendo una mayor pérdida de peso las fresas con el recubrimiento control con 15 % de perdida. La aplicación del recubrimiento ayudo a la fresa, retardando la deshidratación y por ende la pérdida de peso,

además podemos decir que los tratamientos ROr y RCl fueron lo que mejores resultados mostraron en este parámetro evaluado.

6.2.2 pH

Después de analizar los resultados de pH de los frutos de fresa con los recubrimientos comestibles se puede notar que el tratamiento RC comparado con el resto de los tratamientos (Figura 20) tuvo los cambios de pH menos pronunciados y terminó casi con el mismo valor de pH inicial. El resto de los tratamientos elevaron ligeramente su valor del pH inicial a lo largo del periodo experimental.

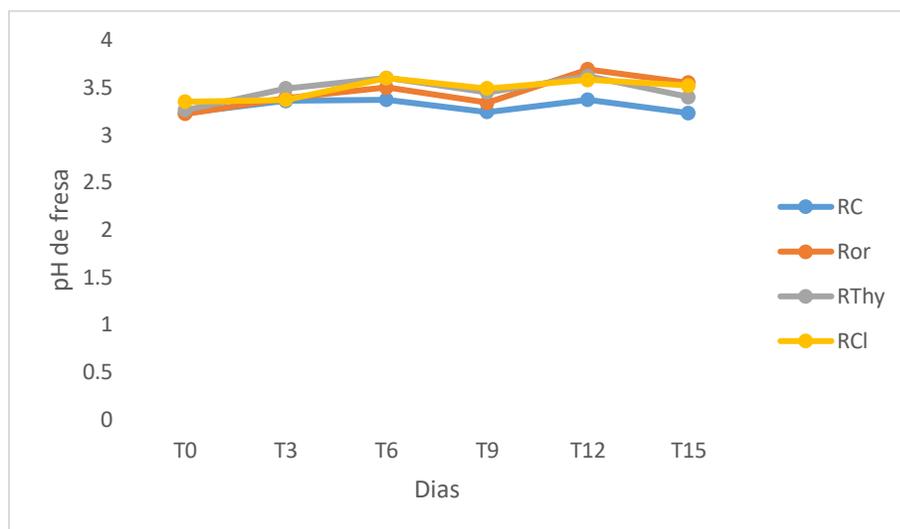


Figura 20. pH en fresa con recubrimiento comestible durante todo el periodo experimental (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

En la Figura 21 se observa el comportamiento de cada uno de los tratamientos para este parámetro evaluado y podemos apreciar que los tratamientos con aceites esenciales RCl, ROr, RThy, tienen fluctuaciones en el pH, pero la tendencia es a subir su valor, siendo ROr y RCl quienes mostraron un mayor cambio.

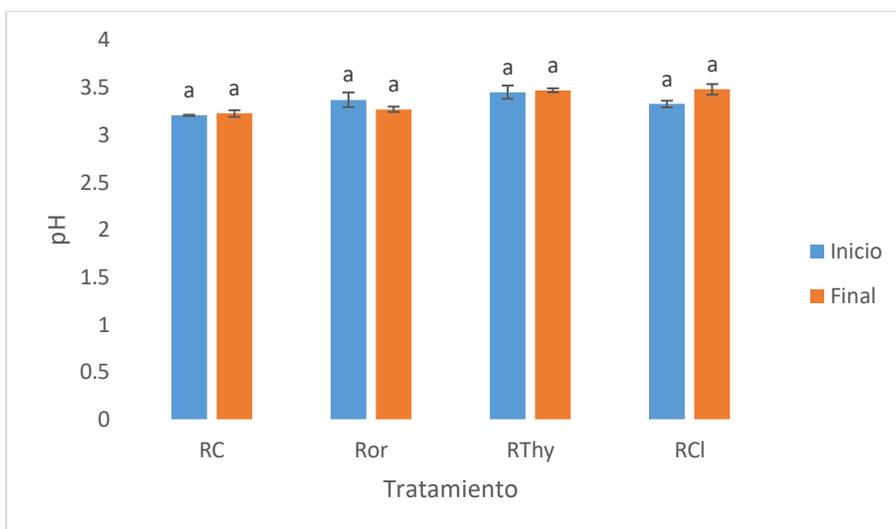


Figura 21. Diferencia inicial y final de pH en fresa con recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

El rango de pH de nuestro experimento fue de 3.22 a 3.55 que concuerda con lo reportado Rodríguez et al. (2018) para recubrimientos comestibles adicionados con fructáns de agave lo cuales tuvieron un rango de 3.4 a 3.8. Moncayo (2013) reporta que: el pH es importante desde el punto de vista sensorial de las frutas, cuando el pH aumenta la percepción de dulzor también lo hace. De acuerdo con los datos obtenidos a lo largo del periodo fue incrementando el valor de pH, lo que nos indica que la fresa seguía con su proceso de maduración natural.

6.2.3 Acidez

Los resultados de la determinación de acidez expresados como porcentaje de ácido cítrico se observan en la Figura 22, donde observamos la tendencia de este parámetro con respecto al tiempo del experimento, en general los tratamientos tienen ligeras fluctuaciones con tendencia a disminuir progresivamente conforme avanza el experimento. Cabe mencionar que en el día 12 se

observa un incremento en los tratamientos RC (0.017) y RCl (0.013) pero no es estadísticamente significativo, a partir de ese día vuelven a disminuir los valores de acidez.

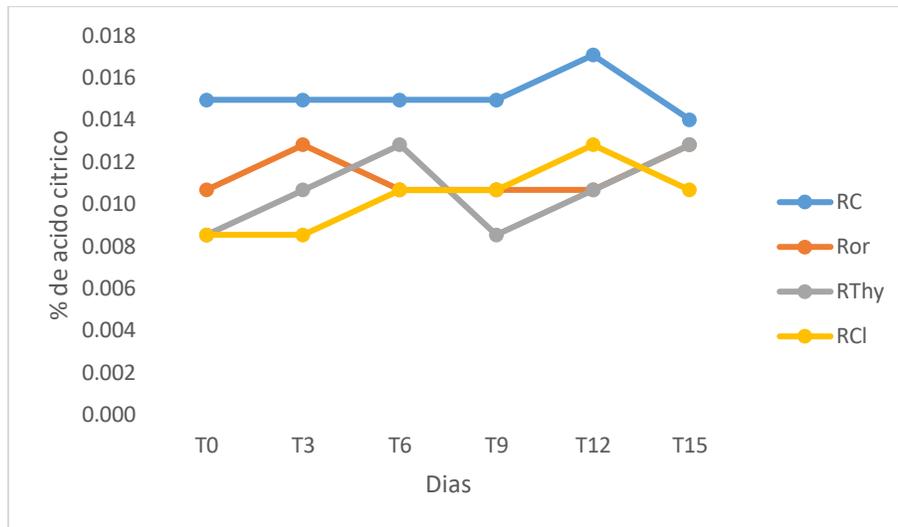


Figura 22. Acidez de la fresa con recubrimiento adicionado con aceites esenciales (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Mientras que en la Figura 23 se muestra la diferencia que existe entre los tratamientos del día inicial y final, donde vemos de forma más clara que los tratamientos con aceites esenciales incrementan su acidez al final del experimento y que está se encuentre dentro del rango establecido por la Norma que es de 0.8 %. Por otro lado, Rodríguez et al. (2018) en su trabajo de investigación de recubrimiento comestible para fresas adicionado con fructános de agave mencionan que el porcentaje de ácido cítrico tiende a disminuir para el tratamiento control. Mientras que los tratamientos adicionados con fructános de agave aumentaron su nivel de acidez.

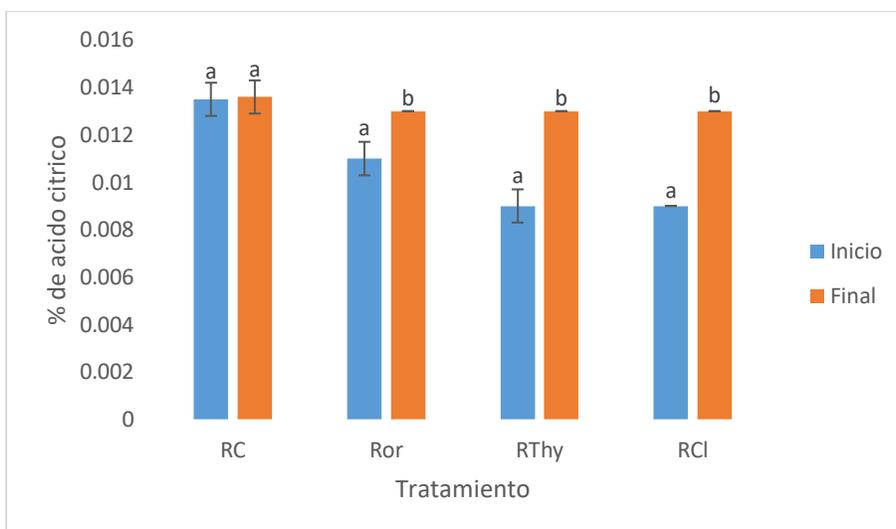


Figura 23. Diferencia inicial y final de porcentaje de acidez en fresa con recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Mismos comportamientos se ven reflejados por los datos recaudados por esta investigación. Por otro lado, Chitarra (2005) reportan que la reducción de acidez se debe a la utilización de ácidos orgánicos como fuente energética para sustentar el proceso de maduración del fruto, podríamos pensar con los datos obtenidos que los tratamientos con aceites esenciales retardan el proceso de maduración y la utilización de los ácidos orgánicos.

6.2.4 Sólidos solubles

Después de analizar los datos acerca del contenido de sólidos solubles, estos presentaron un incremento en fresas recubiertas con los tratamientos RCl, RThy, ROr desde el T0, a diferencia del tratamiento RC. Los valores obtenidos influyeron significativamente ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos evaluados en la Tabla 3. En la Figura 24 y Figura 25 se muestra la diferencia de sólidos solubles del día inicial y final de fresa con recubrimiento comestible, donde se observa que

existe diferencia entre los tratamientos del día inicial al final. Los tratamientos con mayor contenido de sólidos solubles fueron RThy, ROr y RCl, en ese orden.

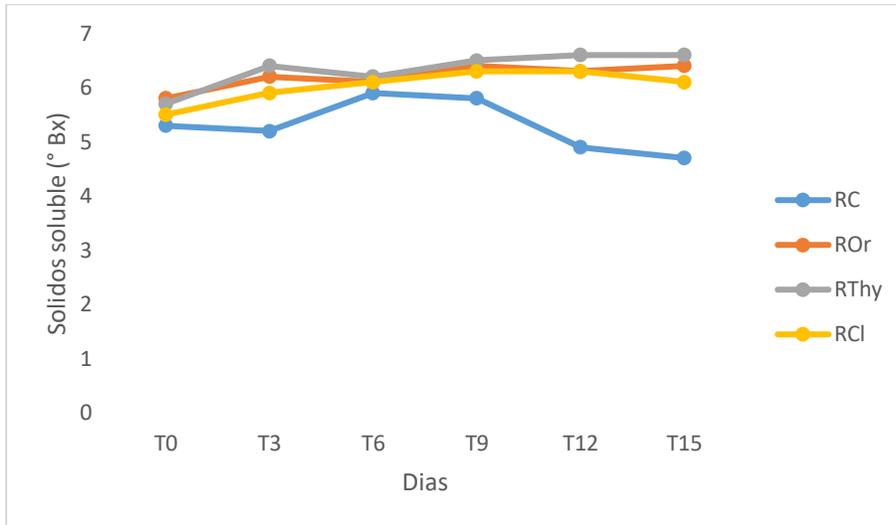


Figura 24. Sólidos solubles en fresa con recubrimiento comestible durante todo el periodo experimental (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

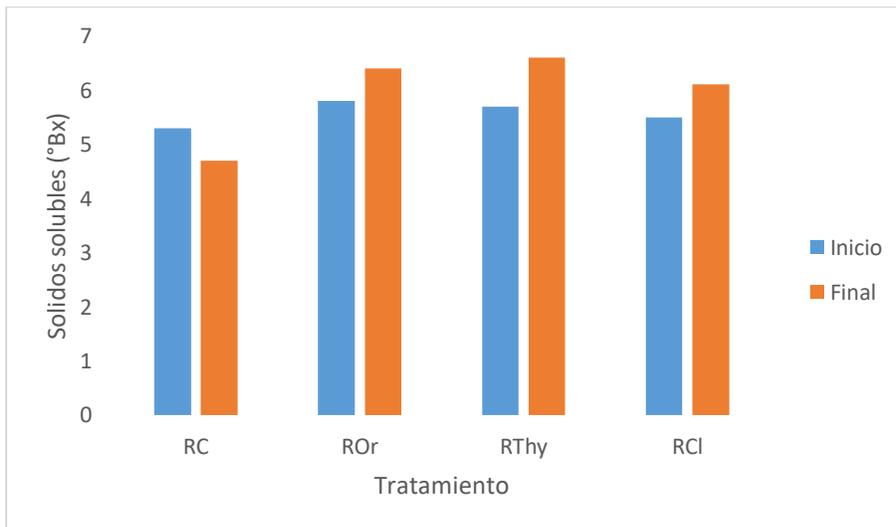


Figura 25. Diferencia inicial y final en sólidos solubles en fresa con recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Los resultados de Pastor (2010) en fresas con recubrimiento comestible a base de Hidroxipropil Metilcelulosa mantienen sus valores de sólidos solubles entre 5 a 6.17 °Brix, desde el inicio hasta el fin del experimento y son encontrados semejantes con los expuestos en esta investigación donde sus valores van desde los 4.7 a 6.6 °Brix, estos valores se ven afectados por el grado de maduración y la variedad de la fresa que se utilizó en cada investigación.

En investigaciones realizadas por Nimitkeatkai (2016) en piñas recubiertas con Semperfres (éster de ácido graso y sacarosa) evaluaron las cualidades del fruto mediante la pérdida de peso, el desarrollo del color de la piel, el pardeamiento interno, la acidez valorable, los sólidos solubles totales y el contenido de ácido ascórbico.

El tratamiento fue efectivamente significativo y determinan que un recubrimiento comestible es altamente efectivo si no hay cambio en el contenido de sólidos solubles, en la disminución de la pérdida fisiológica de peso y el color de la piel, por mencionar algunos, esto se realizó en piñas recubiertas.

Con lo obtenido podemos decir que los tratamientos más efectivos en ese sentido son RThy y RCl que no mostraron cambios durante el periodo experimental.

Por otro lado, la aplicación del recubrimiento comestible enriquecido con los aceites esenciales utilizados en esta investigación, mostraron resultados favorables, ya que se logró prolongar la vida de anaquel de la fresa hasta por 15 días, sin embargo, el fruto sigue su proceso de maduración y por ende un aumento de oxidación de sus reservas acelerando el proceso de obtención de azúcares a pesar de que la fresa es un fruto no climatérico utiliza los azúcares como sustituto para su actividad respiratoria.

6.2.5 Actividad antioxidante

Diversos métodos para la determinación de actividad antioxidante en frutos han sido empleados como: DPPH, FRAP y ABTS (Canadanovic et al., 2014). En este trabajo el método utilizado fue DPPH para la determinación de actividad antioxidante en los cuatro tratamientos experimentales. El ensayo mostró que el porcentaje de inhibición del radical DPPH de las fresas en esta investigación se encontró entre 67 % y 79 % al inicio del periodo experimental (Tabla 4).

Tabla 4. Capacidad antioxidante de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental.

Tratamiento/días	T 0	T3	T6	T9	T12	T15
RC2	71.98±0.80 ^b	86.04±0.19 ^b	82.26±0.75 ^b	77.23±0.74 ^a	77.83±0.97 ^b	88.57±0.62 ^b
ROr	67.20±0.30 ^a	85.86±0.71 ^b	76.33±0.21 ^a	78.67±0.33 ^b	72.62±0.20 ^a	88.53±0.43 ^b
RThy	78.07±0.30	86.30±0.57 ^b	82.31±0.25 ^b	77.81±0.10 ^a	76.66±0.99 ^b	88.53±0.27 ^b
RCI	79.68±0.30	83.79±0.96 ^a	81.56±0.59 ^b	78.38±0.53 ^b	78.23±0.47 ^b	84.45±0.35 ^a

Nota: Los resultados están expresados en % de inhibición del radical DPPH. Los superíndices con letra distinta muestran diferencias significativas ($p \geq 0.05$). RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con cada aceite esencial al 0.10 %).

Posteriormente conforme fue avanzando el experimento al día 3 hubo un aumento en % de inhibición del radical de DPPH en todos los grupos experimentales, en los días siguientes hubo fluctuaciones en el % de inhibición del radical pero de forma general hubo un ligero incremento en todos los tratamientos al finalizar el experimento lo que podría indicar que la fresa se encontraba en su proceso de maduración natural incrementando el contenido de antocianinas impactando así en la actividad antioxidante.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Ferreyra et al. (2007) donde estudiaron las etapas de maduración de la fresa.

En la Figura 26 se muestra de manera gráfica el comportamiento del porcentaje de inhibición donde observamos que la tendencia fue a incrementar el parámetro evaluado conforme avanzó el periodo experimental.

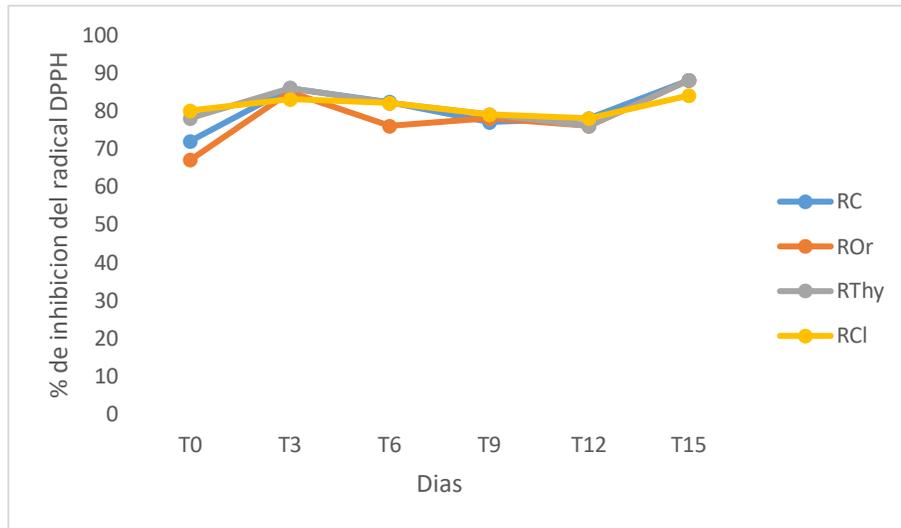


Figura 26. Antioxidantes en fresa con recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite de acuerdo con los tratamientos utilizados respectivamente).

Estos resultados están de acuerdo con lo que reporta Santos et al. (2008) donde encontraron que la cereza que era tratada con aceite esencial eugenol incrementaba de manera significativa su contenido de fenoles y por ende su actividad antioxidante durante el almacenamiento en frío.

Bajo los tratamientos y condiciones experimentales nuestros resultados indican también hubo un incremento significativo en la actividad antioxidante en todos los grupos de los valores iniciales respecto a los finales (Figura 27).

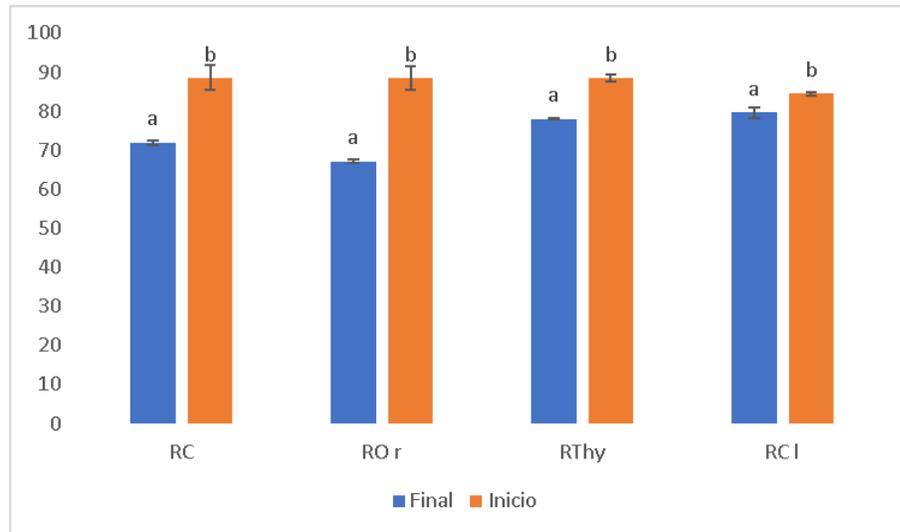


Figura 27. Comportamiento de antioxidantes en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Mostrando así que el tratamiento con menor % de inhibición al inicio fue el tratamiento ROr con un 67 %, sin embargo, al T 15 aumentó un 22 %, el tratamiento que mostró menor incremento fue el RCl, ya que del T0 (79.68 %) al T15 (84 %) tuvo un incremento de solo 4 % en relación inicio y final.

6.2.6 Fenoles totales

De acuerdo con la relación tratamiento-tiempo (Tabla 5) (Figura 28) a lo largo del experimento, se encontró que para el grupo RC hubo ligeras fluctuaciones de los valores de fenoles totales, pero, para el T15 su valor no cambio significativamente ($p \geq 0.05$) respecto al valor inicial.

El resto de los tratamientos también mostraron fluctuaciones a lo largo del experimento, sin embargo, si mostraron un cambio respecto al valor inicial donde ROr incremento de 100.24 a 146.46; RThy de 147.35 a 134.46 % y RCl de 142.91 a 152.02 lo que representa 46.34 %, 5.58 %

y 4.02 % respectivamente cabe resaltar que para los tratamientos RThy y RCl este incremento no fue significativo.

Tabla 5. Fenoles totales de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental.

Tratamiento/días	T0	T3	T6	T9	T12	T15
RC	109.35±6.19 ^{ab}	89.57±4.01 ^b	121.35±8.80 ^b	130.68±13.68 ^{ab}	105.35±2.52 ^{ab}	110.02±7.12 ^a
ROr	100.24±19.25 ^a	74.68±4.53 ^a	110.46±13.33 ^{ab}	140.24±2.69 ^b	93.13±5.03 ^a	146.46±4.66 ^c
RThy	127.35±14.30 ^b	85.57±13.87 ^{ab}	97.35±7.31 ^a	123.57±5.04 ^a	101.35±5.40 ^{ab}	134.46±13.13 ^{bc}
RCl	142.91±14.08 ^c	79.35±3.07 ^{ab}	154.68±12.38 ^c	125.13±8.19 ^{ab}	129.35±9.24 ^b	152.02±12.33 ^{ab}

Nota: Los resultados están expresados en mg de ácido gálico (EAG)/100 g. Los superíndices con la misma letra en las columnas no muestran diferencias significativas ($p \geq 0.05$) y los que cuentan con letras distintas muestran una diferencia significativa ($p \leq 0.05$). RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con aceite esencial 0.10 %, en cada tratamiento utilizado respectivamente).

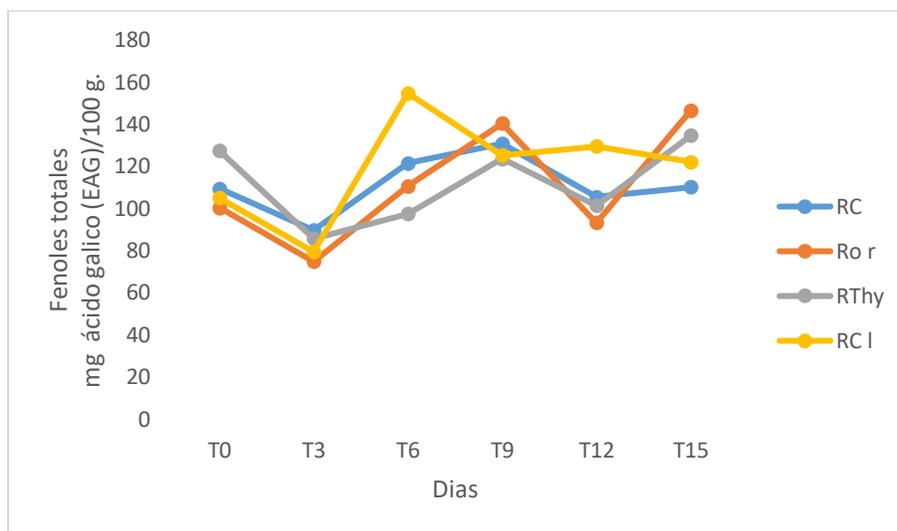


Figura 28. Fenoles totales en fresa con recubrimiento comestible (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite de acuerdo con los tratamientos utilizados respectivamente).

López et al. (2012) menciona que: se puede observar que el comportamiento en los cambios de concentración de fenoles totales y la capacidad antioxidante son muy similares; y algunos

autores han relacionado la acumulación de compuestos fenólicos con el incremento en la capacidad antioxidante en plantas y frutas. Al efectuar la comparación de forma gráfica del contenido de fenoles totales en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa (Figura 29), y de acuerdo con el análisis de ANOVA no hay diferencia significativa con los tratamientos a excepción del tratamiento RO r.

Birt et al. (2001) reportaron que: la concentración en polifenoles de cualquier alimento es muy variable porque depende de muchos factores, tales como la variedad o el grado de maduración de los vegetales. Esto mismo concuerda con lo afirmado por López et al. (2012) donde mencionan que el contenido fenólico en las fresas también depende del cultivo y del grado de maduración. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por los autores antes mencionados donde observamos que al incrementar el contenido de fenoles lo hizo también la actividad antioxidante.

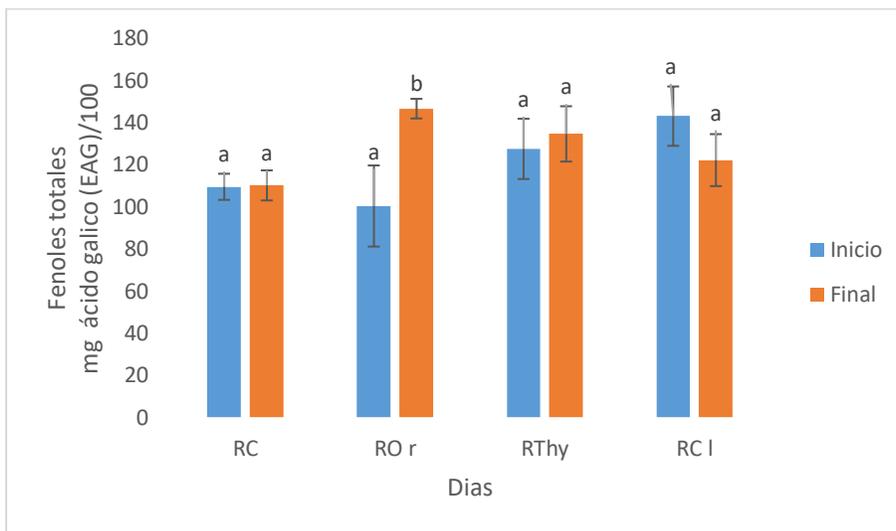


Figura 29. Comportamiento de fenoles totales en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, RO r-Orégano, RThy-Tomillo, RC I-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

López et al. (2012) reportan que: cuando existe un menor valor de fenoles totales es porque tiene menor deterioro el fruto, además de presentar mayor aceptabilidad por el consumidor y quizá

esté relacionado el que existe una disminución la actividad de la Enzima Fenilalanina Amonioliasa (PAL) que retrasar el proceso de deterioro y con ello disminuye la acumulación de dichos compuestos fenólicos, debido a la disminución de los procesos metabólicos del producto en la senescencia.

6.2.7 Taninos

Tomando en cuenta los estadísticos de la Tabla 6 y Figura 30 no muestran diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos cuando son comparados en cada uno de los tiempos experimentales. Todos los tratamientos muestran un descenso del T0 hasta T9 posteriormente incrementan en T12 y vuelven a disminuir en T15.

De acuerdo con, Rodríguez et al. (2018) en su investigación mencionan que: el descenso de los taninos condensados está relacionado con el contenido de compuestos polifenólicos que comienzan a disminuir y retrasar el proceso de deterioro del fruto, lo que hace que el sabor del fruto sea más dulce por el acomodo del esqueleto durante la polimerización.

Tabla 6. Taninos condensados de la fresa recubierta aplicando aceites esenciales a lo largo del periodo experimental.

Tratamiento /días	T0	T3	T6	T9	T12	T15
RC	208.53±41.70 ^a	127.42±22.33 ^a	116.09±23.49 ^a	86.98±10.46 ^a	134.76±19.02 ^a	107.42±6.93 ^a
ROr	170.76±28.47 ^a	143.20±7.51 ^a	122.76±18.01 ^a	100.98±7.81 ^a	141.20±21.36 ^a	100.53±8.32 ^a
RThy	209.42±35.18 ^a	127.42±20.81 ^a	129.64±11.97 ^a	85.42±5.00 ^a	141.64±4.43 ^a	95.87±4.66 ^a
RCI	210.53±44.81 ^a	147.22±19.97 ^a	117.64±12.32 ^a	94.98±20.35 ^a	139.64±16.47 ^a	96.98±4.33 ^a

Nota: Los resultados se encuentran expresados en mg de catequina (EC)/g de muestra. Los superíndices con la misma letra en las columnas no muestran diferencias significativas ($p \geq 0.05$). RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible enriquecido con aceites esenciales al 0.10 % de acuerdo con el tratamiento utilizado).



Figura 30. Taninos condensados en fresa con recubrimiento comestible durante los 15 días de experimentación (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, RO r-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible al 0.10 % de aceite esencial utilizado de acuerdo con el tratamiento).

Con respecto a la Figura 31 muestra los rangos de taninos los cuales se encontraron en 170.76-210.53 al inicio y 95.87-107.42 mg de catequina (EC)/g de muestra para el final del experimento los cuales no muestran diferencias significativas.

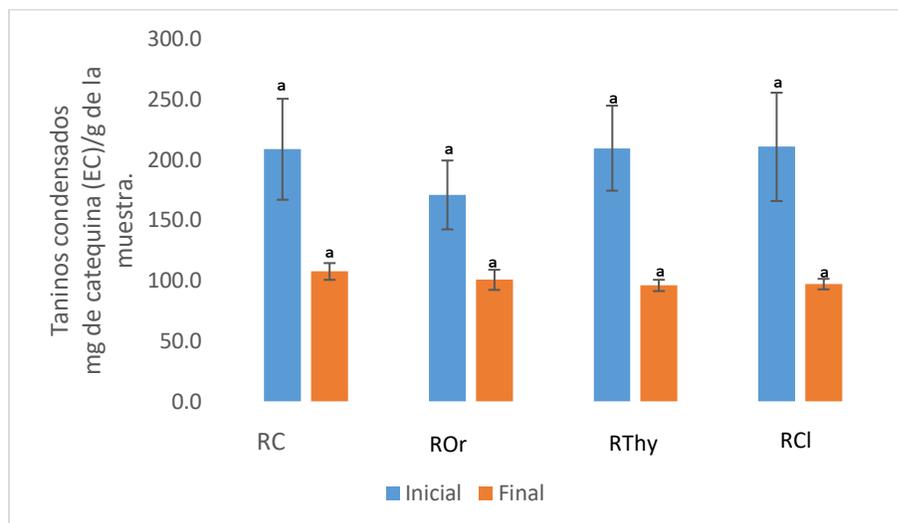


Figura 31. Comportamiento de taninos condensados en los días inicial y final de almacenamiento de la fresa de manera comparativa (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, RO r-Orégano, RThy-Tomillo, RCI-Clavo (Recubrimiento comestible de aceites esenciales al 0.10 % de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

6.3 Análisis sensorial

El análisis sensorial realizados mediante la escala hedónica de nueve puntos evaluados como son: Olor, color, textura, sabor, y aceptabilidad global en los diferentes recubrimientos aplicados a base de aceites esenciales se detallan a continuación en la Tabla 7.

El análisis de cada atributo que se calificó mostró diferencias mínimas entre cada tratamiento los cuales si influyen en los resultados de la aceptación global. Las pruebas hedónicas mostraron de acuerdo con el análisis en cuestión de color no hay diferencia significativa y son aceptables todos los tratamientos, con valores similares, los análisis de sabor, olor y textura muestran diferencias significativas al igual que el análisis de aceptación global.

Los tratamientos con menor aceptabilidad por los panelistas fueron RC, ROr, RCl ya que percibían sabores no muy agradables los cuales se reflejan a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de análisis sensorial.

Código del RC	Aceptabilidad Global	Olor	Color	Textura	Sabor
RC	7.02±0.18 ^a	7.42±0.26 ^b	7.10±0.15 ^a	7.40±0.14 ^b	6.54±0.26 ^a
ROr	6.95±0.17 ^a	6.92±0.27 ^{ab}	7.26±0.17 ^a	7.06±0.17 ^{ab}	6.44±0.25 ^a
RThy	7.41±0.16 ^b	6.94±0.30 ^{ab}	7.20±0.21 ^a	6.78±0.22 ^a	7.06±0.23 ^b
RCl	6.93±0.16 ^a	6.66±0.24 ^a	7.04±0.20 ^a	6.80±0.18 ^a	6.74±0.21 ^a

Nota: Valores medios; RC, ROr, RThy, RCl (Recubrimiento comestible enriquecido con 0.10 % de los aceites esenciales respectivamente). *Los superíndices con la misma letra en las columnas no muestra diferencias significativas ($p \geq 0.05$) respecto a la prueba de Tukey y diseño de un ANOVA Simple ($p \geq 0.05$).

Las puntuaciones de color no mostraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos (Figura 32). En general, la mayoría todos los tratamientos obtuvieron puntuaciones arriba de los 7 de acuerdo con la escala édonica de nueve puntos.

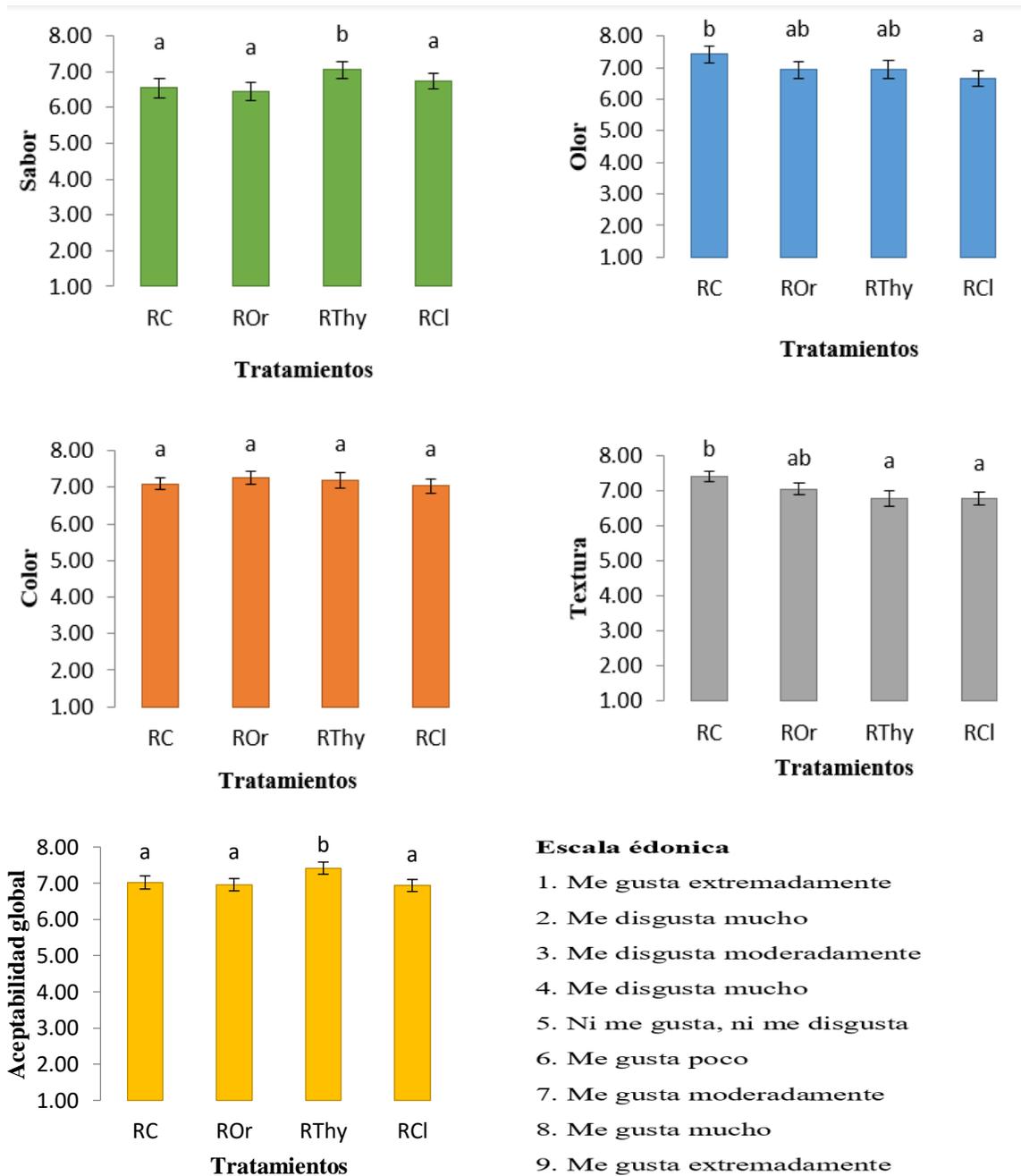


Figura 32. Gráficas de análisis sensorial (Fuente: Elaboración propia).

Nota: RC-Control, ROr-Orégano, RThy-Tomillo, RCl-Clavo (Recubrimiento comestible de aceites esenciales al 0.10 % de acuerdo con el tratamiento respectivamente).

Por otro lado, para el análisis de sabor, si se encontró una diferencia significativa entre los tratamientos donde RThy obtuvo una mejor puntuación con un valor 7.06 seguido por el resto de los tratamientos RCl-6.74, RC-6.54 y ROr 6.44 y entre estos últimos no hubo una diferencia significativa.

Para Textura la mejor puntuación la tuvo el RC con 7.40 y el de menor valor para este atributo fue el tratamiento RThy con 6.78. En cuestión de sabor el tratamiento RThy fue el de mejor puntuación con 7.06 seguido de RCl con 6.74; RC 6.54 y ROr con 6.44, en general podemos decir que las fresa recubiertas tuvieron buena puntuación de sabor, ya que los valores fueron superiores al control.

Por último, las puntuaciones de aceptabilidad global si mostraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre los tratamientos. El tratamiento que obtuvo la puntuación más alta en la escala fue el tratamiento de RThy (7.41 ± 0.16^b). Obteniendo así la mayor aceptabilidad en relación los otros tratamientos cuyos valores fueron; (7.02 ± 0.18^a), ROr (6.95 ± 0.17^a), RCl (6.93 ± 0.16^a). En la aceptabilidad global intervienen varias puntuaciones como el olor, color, textura y sabor, entre otras que influyen en los resultados.

De acuerdo con los términos generales los resultados fueron satisfactorios para cualquier parámetro evaluado, presentaron un valor por encima del valor promedio en la escala hedónica (ni me gusta ni me disgusta). Y de acuerdo con los análisis todos los recubrimientos comestibles tienen aceptabilidad por parte de los panelistas no entrenados, destacando en cada parámetro el tratamiento RThy, siendo el de mayor aceptabilidad.

VII. CONCLUSIÓN

Se concluyo que las fresas tratadas con las formulaciones alginato de sodio-aceites esenciales perdieron menos peso durante el almacenamiento con respecto a al tratamiento de fresas control. Entre las tres formulaciones el ROr confirió mejores propiedades de barrera corroboradas con la menor pérdida de peso, color, sin embargo, el tratamiento con mayor aceptabilidad por el consumidor con base a los datos del análisis sensorial fue el RThy durante su almacenamiento a 8 ± 2 °C. La disminución de color se presentó en todos los tratamientos, sin embargo, ROr presentó menor perdida de color y el RCl el que más pérdida de color obtuvo aún por debajo del RC.

El uso de aceite esencial y alginato de sodio en la formulación final evitó el crecimiento de mohos y levaduras durante el almacenamiento a 4 ± 2 °C por un periodo experimental de 15 días. La aplicación de un recubrimiento formulado con alginato de sodio-aceites esenciales constituye una alternativa para prolongar la vida pos-cosecha de la fresa. Se puede aseverar que la aplicación de recubrimientos comestibles es una excelente alternativa de conservación para la cadena hortofrutícola, ya que además de ser un envasado natural y biodegradable, aporta beneficios en pro de la preservación de las cualidades del alimento y a su vez extendiendo la vida de anaquel de este.

En esta investigación no se realizaron pruebas en pro de los beneficios de los aceites esenciales, sin embargo, se cuenta con referencias bibliográficas donde demuestran que son usados como alimentos funcionales, aportando sus cualidades nutraceúticas además de contribuir en la aceptabilidad visual del producto al darle mayor brillo y verse apetecible para la aprobación de los consumidores.

7.1 Recomendaciones

- ❖ Manejar solo un recipiente con las 30 fresas requeridas para los análisis fisicoquímicos.
- ❖ Realizar una selección minuciosa de las fresas en cuestión de tamaño, color, grado de madurez y calidad de esta.
- ❖ Adicionar algún colorante natural para los recubrimientos que potencialice el color natural de la fresa.
- ❖ Minimizar el proceso de secado en relación con la caracterización de las películas comestibles.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adame. (22 de Septiembre de 2005). *Generador online*. Obtenido de *Generador online*
http://env.alpha-mos.com/es/odeurs_nuisances/definitions.php
- Aguilar, M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. (*Tesis de maestría*). Instituto Politecnico Nacional, México.
- Alcántara, G. M. (2009). Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado. (*Tesis Doctoral*). Universidad Politécnica de Valencia y de Guanajuato, España, España.
- Arredondo. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas y permeabilidad al vapor de agua de películas de quitosano. *Revista jóvenes de la ciencia*, p. 31. Obtenido de <https://www.researchgate.net/scientific-contributions/2141256876-Rivera-Arredondo>
- Artés, F., & Allende, A. (2005). Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. DA–WEN, Sun. Emerging technologies for food processing. *Revista Elsevier Academic*, 27(1), pp. 677-716. Obtenido de <https://www.elsevier.com/books/emerging-technologies-for-food-processing/sun/978-0-12-676757-5>
- Arvizu., Salvador, A., & Fiszman, S. M (2012). A film of alginate plus salt as an edible susceptor in microwaveable food. Food Hydrocolloids. *Revista Elsevier Academic*, 27(2), p. 89. Obtenido de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201400157830>
- Assis, O., & Pessoa, J. (2004). Scientific note: Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. Brazilian Journal of Food Technology. *Revista, Elsevier academic*, 1(42), pp.17-22. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/76589011.pdf>
- Badui, D. S. (2013). *Química de lo Alimentos*. México: Pearson.
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils– A review. Food and Chemical Toxicology. 28(46), pp. 446-447. Obtenido de <http://www.bashaar.org.il/files/ביוחקר%20-%20הנמלה%20202.pdf>

- Balaguera López, H. E., & Gutiérrez, F. A. (2012). Ethylene and maturation retardants in the postharvest of perishable horticultural products. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), pp. 303-311. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000200012
- Barceló Coll, J. N. (2005). Fisiología Vegetal. *Revista Ediccion piramide*, 1(2), p.20. Obtenido de <https://www.edicionespiramide.es/libro.php?id=5914737>
- Barreiro, J. A., & Sandoval, A. J. (2006). *Operaciones de conservacion de alimentos por bajas temperaturas*. Caracas : EQUINOCCIO.
- Berenjamo. (2008). La frutilla o fresa . (*Tesis de licenciatura*). Universidad de los andes
- Bertuzzi, M. E. (2007). Water vapors permeability of edible starch-based starch-based films. *Journal of Food Engineering. Revista. Elsevier academic*, 2(80), pp. 927-978. Obtenido de https://www.academia.edu/4675450/Water_vapor_permeability_of_edible_starch_based_films
- Birt, D. H. (2001). Dietary agents incancer prevention. Flavonoids and isoflavonoids. *Pharmacology and Therapeutics. Revista, NCBI*, 90(2), pp. 157-77. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11578656>
- Bosquez–Molina, E. R.–d.–B.–C.–L. (2010). Evaluation of the inhibitory effect of essential oils against *Colletotrichum gloeosporioides* and *Rhizopus stolonifer* in stored papaya fruit and thei. *Revista, Scielo*, 27(2), pp. 132-137. Obtenido de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301844136>
- Branzati. (26 de Septiembre de 2014). *Descripcion botanica* .
- Canadanovic, B. J. (2014). Evaluation of phenolic content, antioxidant activity and sensory characteristics of Serbian honey-based product. *Revista, Industrial Crops and Product*, 67(1), pp. 1-7. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/265128981_Evaluation_of_phenolic_content_antioxidant_activity_and_sensory_characteristics_of_Serbian_honey-based_product

- Caudillo, C. D. (2016). Conservación pos-cosecha de fresa utilizando recubrimientos formulados con quitosano-quínoa. (*Tesis de maestría*). Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Chitarra, I. y. (2005). Póscolheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. *Revista, EMBRAPA, 1(1)*, p. 45. Obtenido de [https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=505900&biblioteca=vazio&busca=autoria:"CHITARRA,%20A.%20B."&qFacets=autoria:"CHITARRA,%20A.%20B."&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1](https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=505900&biblioteca=vazio&busca=autoria:)
- Daferera, D. Z. (2000). GC-MS analysis of essential oils from some Greek aromatic plants and their fungitoxicity on *Penicillium digitatum*. *Revista, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 6(48)*, p. 78. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10888587>
- DeEll, J. (2005). Manejo pos cosechapos-cosecha y almacenamiento de bayas. *Revista, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 12(85)*, pp. 85-116. Obtenido de http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/storage_berries.htm
- Díaz, S. (2003). Evaluación de la morfología y permeabilidad al vapor de agua de recubrimientos formulados con polisacáridos para ser aplicados como tratamiento fitosanitario en mango (*Mangifera indica* cv. manila). (*Tesis de Doctorado*). Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Escobar, A. N. (2014). Determinación de Ácidos Grasos Trans en Productos Fritos que se Expenden en la Ciudad de Barranquilla-Colombia. *Revista, Barranquilla Colombia, 2(67)*, p. 67. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/275214943_Determinacion_de_Acidos_Grasos_Trans_en_Productos_Fritos_que_se_Expenden_en_la_Ciudad_de_Barranquilla-Colombia/link/5535c5fa0cf268fd0015e93b/download
- Fernández, S. P. (2001). Optimization of the biocidproperties of chitosan for its application in the design of active films of interest. *Revista, Elsevier academic, 23(3)*, pp. 913-921. Obtenido de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42200/1/CLV11004.pdf>
- Ferreira, R. M., Viña, Z. S., Mugridge, A., & Chaves, A. R. (2007). Growth and ripening season effects on antioxidant capacity of strawberry cultivar Selva, *Scientia Horticulturae*.

- Revistas, Elsevier academic, 112(12), pp. 27-32. Obtenido de*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423806004821>
- García, M. (23 de Septiembre de 2014). *Definicion de sabor. Obtenido de*
<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3082/1/AL487.pdf>
- Hernández, V. (2010). Efectos de un recubrimiento de Quitosano sobre la calidad pos cosechapos-cosecha de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). (*Tesis de Maestría*). Universidad Autónoma de Tamaulipas, Tamaulipas.
- Hernández-Lauzardo, A. N.-B.-d.-R.-P. (2008). Antifungal effects of chitosan with different molecular weights on in vitro development of *Rhizopus stolonifer*. *Revista, 1(1)*, p. 67. Obtenido de <http://europepmc.org/article/med/26048219>
- Herrera, S. M. (2015). Caracterización óptica, porcentaje de humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua en películas comestibles compuestas a base de alginato-goma guar. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Jeng, Y. L. (2007). Effects of chitosan coating on shelf life of c. *33(7)*, P. 45. Obtenido de <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/effects-of-chitosan-coating-on-shelf-life-of-cold-stored-litchi-fruit-TaW0aXtkEC>
- Jiménez, A. M. (2012). Edible and biodegradable starch films: a review. *Revista, Food and Bioprocess Technology, 5(6), pp. 2058-2076. Obtenido de*
<https://riunet.upv.es/handle/10251/77247>
- López, M. M. (2012). Efecto de Recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. *Revista, Ciencias biológicas y de la salud, 14(1), pp. 33-43. Obtenido de*
<https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/113>
- Meda, A. L. (2005). Determination of the phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. *Revista, Elsevier, 126(3), pp. 571-577. Obtenido de*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814604007186>

- Méndez reyes, D. A. (2015). Méndez reyes Daniel Alexander, 2015. Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista, Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 5(2), pp. 91-106. Obtenido de <http://oaji.net/articles/2017/4924-1495547761.pdf>
- Mendez, M. A. (2015). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. (*Tesis Doctorado*). . Instituto Politécnico Nacional,, México.
- Moncayo, M. D. (2013). Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil frutas frescas. (*Tesis de Maestría*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Navarro, T. M. (2007). Efecto de la Composición de Recubrimientos Comestibles a base de Hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas. (*Tesis de Doctorado*). Universidad Politecnica de Valencia, España.
- Nimitkeatkai, H. S. (2016). Effect of edible coating on pineapple fruit quality during cold storage. *Revista, Internatiional conference on managing quality in chains*, 1(1), pp. 948-956. Obtenido de https://www.ishs.org/ishs-article/712_79
- Oregel, Z. E. (2013). Aplicación de cubiertas comestibles formuladas con cera de candelilla para la conservaciín de fresa. (*Tesis de Maestria*). Instituto Politécnica Nacional, Mexico.
- Orozco, J. (23 de Septiembre de 2014). *Definicion de color*. Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/color/>.
- Pastor, N. C. (2010). Recubrimiento Comestible a base de Hidroxipropil Metilcelulosa: Caracterización y Aplicación. (*Tesis Doctoral*). Universidad Politecnica de Valencia, España. España.
- Pérez, G. C. (2012). Fresa variedad chandler. 1(1), pp. 145-150. Obtenido de <file:///C:/Users/gomez/Documents/adolfo/Fresa%20variedad%20Chandler.pdf>

- Rico, R. F. (2013). Estudio de la aplicacion de recubrimiento comestible de quitosano y su adiccion con aceites esenciales sobre la vida util del mango. (*Tesis de Maestria*). Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Rodríguez, & Vieyra, G. (2018). Recubrimiento comestible enriquecido con fructanos de Agave angustifolia para prolongar la vida de anaquel de la fresa. (*Tesis de licenciatura*). Universidad de Guanajuato, Guanajuato.
- Rodríguez, S. A. (2005). Uso de quitosano en alimentos In: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 17(3), p. 558. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/612/61214206005.pdf>
- Rojas, G. M. (2006). Recubrimientos y sustancias de origen natural en manzana frescacortada: una nueva estrategia. (*Tesis Doctoral*). Universitat de Lleida, España.
- Rojas–Graü, M. R.–M.–F.–B.–B. (2007). Apple puree–alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf–life of fresh–cut apples. *Revista, Postharvest biology and technology*, 45 (2 pp. 254-264), pp. 254-264. Obtenido de <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/707614>
- Ramirez , G. N. (2016). Effects of pre– and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. . *Revista, Journal of Food Science*, 67(5), pp. 1862–1867. . Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08737.x>
- Ronquillo, E. (2007). Evaluación del potencial antimicrobiano de películas comestibles con aceites esenciales in vitro e in situ. (*Tesis de Maestría*). Universidad Autónoma Metropolitana, Mexico.
- SAGARPA. (24 de Septiembre de 2012). *Aumento de exportacion de fresas en México*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255627/Planeaci_n_Agr cola_Nacional_2017-2030-_parte_uno.pdf
- Santiago, S. (2015). Elaboración de películas a partir de almidón nano estructurado de maíz.. (*Tesis de Maestría*). Universidad Veracruzana, México.

- Silva, S. M., Cocenza, D. S., de Melo, N. F., Grillo, R., & Rosa, A. H. (2010). Silva Mariana dos Santos; Cocenza, Daniela Sgarbi; de Melo, Nathalie Ferreira Silva; Grillo, Renato; Rosa, André Henrique e Fraceto, Leonardo Fernandes. 2010. Nanopartículas de alginato como sistema de liberação para o herbicida clomazone. *Revista, Quimica nova*, 9(33), p. 1868. Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000900009.
- Tharanathan, R. (2003). Películas biodegradables y recubrimientos compuestos; pasado, presente y futuro. *Revista, Trends in food science and technology*, 1(1), pp. 71-78. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/222225009_Biodegradable_films_and_composite_coatings_Past_present_and_future
- Thompson, A. (2003). *Almacenamiento en Atmósferas Controladas de frutas y hortalizas. (Tesis de maestría) Zaragoza: Acribia. Ecuador; Zaragoza.*
- Tlili, N. M. (2015). Phenolic profile and antioxidant activity of Capparis spinosa seeds harvested from different wild habitats. *Revista, Industrial Crops and Products*, 1(76), pp. 930-935. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/282924624_Phenolic_profile_and_antioxidant_activity_of_Capparis_spinosa_seeds_harvested_from_different_wild_habitats
- Trejo, M. A. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria vesca* L.) almacenada en refrigeración. V Congreso Iberoamericano de tecnología Po. *Revista, V Congreso Iberoamericano de tecnología*, 1(1), pp. 231-233. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/242247221_EFECTO_DE_LA_APLICACION_DE_UN_RECUBRIMIENTO_COMESTIBLE_A_BASE_DE_GELATINA SOBRE LA CALIDAD DE FRESA_Fragaria vesca_L_ALMACENADA_EN_REFRIGERACION
- Van, D. V. (2013). Van De Velde, F., Tarola, A., Güemes, D., y Pirovani, M. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Camarosa and Selva Strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Revista, NCVI*, 4(3), pp. 120-131.

Villegas, C. (2012). Determinación de compuestos con actividad antioxidante en productos untables de fresa. (*Tesis de Maestría*). Universidad politécnica de Valencia, España.

Wang, L. Z., Liu, L., Holmes, J., & Kerry, J. F. (2007). Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharidebased biopolymer films. *International Journal of Food Science & Technology*. *Revista, International Journal of Food Science & Technology*., 2(42), p.68. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1365-2621.2006.01440.x>

ANEXOS

Ejemplo del formato utilizado para recaudar los datos del análisis sensorial de acuerdo con la escala hedónica de nueve puntos.

FORMATO PARA EVALUAR LA ACEPTABILIDAD DE ATRIBUTOS DE FRESA CON RECUBRIMIENTOS COMESTIBLE

Sexo: Femenino Edad: 25 años

Evalúe las muestras en el orden presentado, una a la vez y escriba el número según la escala que proporciona el grado de aceptabilidad que usted le da a cada uno de los atributos de la muestra.

1. Me disgusta extremadamente	6. Me gusta poco
2. Me disgusta mucho	7. Me gusta moderadamente
3. Me disgusta moderadamente	8. Me gusta mucho
4. Me disgusta poco	9. Me gusta extremadamente
5. Ni me gusta, ni me disgusta	

Muestra: 5

Olor	Color	Textura	Sabor
9	8	6	8

Muestra: 15

Olor	Color	Textura	Sabor
7	8	7	4

Muestra: 25

Olor	Color	Textura	Sabor
6	5	6	6

Muestra: 35

Olor	Color	Textura	Sabor
7	8	8	7

FORMATO PARA EVALUAR LA ACEPTABILIDAD GLOBAL DE DE FRESA CON RECUBRIMIENTOS COMESTIBLE.

Evalúe las muestras en el orden presentado, una a la vez y escriba el número según la escala que proporciona el grado de aceptabilidad que usted le da a cada muestra.

5	15	25	35
9	8	5	7