

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“EFECTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE
ALMIDÓN DE JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) EN LA VIDA DE
ANAQUEL DE LA FRESA”**

Por:
MAYRA ALEJANDRA SOSA FLORES

TESIS
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre del 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS

"EFECTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE
ALMIDÓN DE JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L Urban) EN LA VIDA DE ANAQUEL
DE LA FRESA"

Por:

MAYRA ALEJANDRA SOSA FLORES

Que se somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Aprobada por el comité:

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Presidente



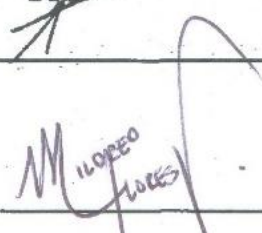
M.C. Sarahí del Carmen Rangel Ortega

Vocal



M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Vocal



Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez

Vocal suplente



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre del 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS

*“EFECTO DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE ELABORADO A BASE DE
ALMIDÓN DE JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus* L. Urban) EN LA VIDA DE ANAQUEL
DE LA FRESA”*

Por:

MAYRA ALEJANDRA SOSA FLORES

Que se somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido dirigido por el siguiente comité:



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor principal



Dr. José Antonio González Fuentes

Asesor



M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui

Asesor



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Diciembre del 2016

AGRADECIMIENTOS.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser la institución que me formó profesionalmente.

A cada uno de los docentes que contribuyeron para mi formación académica durante mi estancia dentro de esta Universidad.

A la Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez, por proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación y sobre todo, por aportarme nuevos conocimientos, además de su gran apoyo para presentar este trabajo en el 5° Simposio Nacional de Ingeniería Química y Bioquímica Aplicada.

Al Dr. José Antonio González Fuentes, por las facilidades otorgadas para llevar a cabo la experimentación de este trabajo.

A la M.C. Sarahí del Carmen Rangel Ortega y M.C. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui, por contribuir a mi formación académica y práctica en el área de laboratorio.

A mi padrino, Dr. Miguel Ángel Capo Arteaga, por el apoyo brindado a lo largo de mi vida.

Al personal del Departamento de ciencias básicas, M.C. Carmen Julia García, L.C.N. Graciela Martínez Leija, M.C. Carlos García Agustince, M.C. Patricia Acuña, Sra. Bertha Martínez Leija y Lupita, quienes me ayudaron en mi formación práctica dentro del área de laboratorio y por brindarme su apoyo y confianza.

A José Luis Velasco López, por su cariño y apoyo.

A mis amigas y amigos, Itzel Cervantes Hernández, Ángeles Martínez Hurtado, Rafa Venegas, Noel Alva, Paco Reyes, Oscar Piña, por su valiosa amistad y buenos momentos compartidos.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Se agradece especialmente al *Ing. Ignacio González Leal* y al personal que labora en el *Rancho Guadalupe* por proporcionar los frutos de fresa utilizados para llevar a cabo esta investigación y por recibirnos con amabilidad dentro de sus instalaciones.

En nombre de:

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez

Asesor principal de tesis.

Mayra Alejandra Sosa Flores

Tesista de la Carrera de Ciencia y Tecnología de Alimentos.

DEDICATORIAS

*Este gran logro se lo dedico a mis padres
Sr. Miguel Sosa Morales y Sra. Dora Elía
Flores Salas por su cariño y apoyo para
Poder Superarme, también a mis hermanas
Mónica y Viviana, por su apoyo en todo
Momento.*

“He fallado en mi vida, una y otra vez.

Esa es la causa de mi éxito”.

Michael Jordan.

“Ningún mar en calma hizo experto a un marinero”

Anónimo.

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	1
CAPÍTULO I	2
1. INTRODUCCION.....	2
1.1. <i>Justificación</i>	3
1.2. <i>Hipótesis</i>	4
1.3. <i>Objetivos</i>	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
CAPITULO II	5
2. REVISION DE LITERATURA	5
2.1. <i>Importancia del consumo de frutas frescas</i>	5
2.2. <i>Fisiología poscosecha de las frutas</i>	5
2.2.1. Respiración	5
2.2.2. Transpiración.....	6
2.2.3. Etileno	6
2.2.4. Comportamiento climatérico.....	6
2.2.4.1. Frutas climatéricas.....	7
2.2.4.2. Frutas no climatéricas.....	7
2.2.5. Maduración.....	7
2.2.6. Cambios composicionales.....	7
2.2.6.1. Desarrollo de color.....	7
2.2.6.2. Desarrollo de sabor y aroma	8
2.2.6.3. Cambios en firmeza	8
2.2.7. Enfermedades	8
2.3. <i>Importancia de las pérdidas poscosecha</i>	8
2.4. <i>Principales causas de las pérdidas poscosecha</i>	9
2.4.1. Causas primarias:	9
2.4.2. Causas secundarias:.....	9
2.5. <i>Daños poscosecha que afectan la calidad de las frutas</i>	9
2.5.1. Daño por enfriamiento.....	9
2.5.2. Daño por alta temperatura	9
2.5.3. Daño por baja concentración de oxígeno (O ₂).....	10
2.5.4. Daño por alta concentración de dióxido de carbono	10
2.5.5. Daño por pérdida de agua.....	10
2.5.6. Daño físico	11
2.6. <i>Tecnologías poscosecha</i>	11
2.6.1. Conservación por frío	11
2.6.2. Atmósferas controladas.....	11
2.6.3. Ceras.....	12
2.7. <i>Cubiertas comestibles</i>	12
2.7.1. Definición.....	12
2.7.2. Características	12
2.7.3. Propiedades funcionales.....	13
2.7.3.1. Barrera contra la pérdida de humedad	13
2.7.3.2. Barrera contra los gases	13
2.7.3.3. Limitar el intercambio de compuestos volátiles.....	13
2.7.3.4. Protección contra el daño mecánico	13
2.7.3.5. Contener ingredientes funcionales.....	14
2.7.4. Métodos de aplicación.....	14
2.7.4.1. Inmersión	14

2.7.4.2.	Aspersión.....	14
2.7.5.	Composición.....	14
2.7.6.	Polisacáridos.....	15
2.7.7.	Proteínas.....	15
2.7.8.	Lípidos.....	15
2.7.8.1.	Aceite de maíz.....	16
2.7.9.	Plastificantes.....	16
2.7.9.1.	Glicerol.....	16
2.7.10.	Antimicrobianos.....	17
2.7.11.	Tween 80.....	17
2.8.	<i>Recubrimientos de almidón</i>	17
2.9.	<i>Fresa</i>	18
2.9.1.	Origen.....	18
2.9.2.	Descripción botánica.....	18
2.9.3.	Producción en México.....	19
2.9.4.	Importancia económica.....	20
2.9.5.	Importancia nutricional del consumo de fresa.....	21
2.9.6.	Parámetros de calidad.....	22
2.9.6.1.	Definiciones.....	22
2.9.6.2.	Clasificación.....	23
1.1.1.1.	Especificaciones.....	23
2.9.6.3.	Características físicas al momento de la cosecha.....	23
2.9.6.4.	Daños permitidos.....	25
2.9.7.	Pudriciones del fruto.....	25
2.9.7.1.	Moho gris o moho ceniciento.....	25
2.9.7.2.	Pudrición por Rhizopus.....	26
2.9.8.	Pérdidas poscosecha de fresa.....	27
2.10.	<i>Cinética del deterioro en alimentos</i>	27
2.10.1.	Tipos de pruebas para predecir la vida útil.....	28
2.10.1.1.	Pruebas aceleradas.....	29
2.11.	<i>Efecto de la temperatura</i>	30
2.12.	<i>Q10</i>	32
2.12.1.	Determinación de parámetros cinéticos.....	34
2.13.	<i>Expresión del orden de reacción de deterioro</i>	34
2.10.1.2.	Predicción real de la vida útil de los alimentos.....	35
CAPITULO III.....		36
3.	MATERIALES Y METODOS.....	36
3.10.	<i>Materia prima</i>	37
3.11.	<i>Lavado del almidón de jícama</i>	37
3.12.	<i>Preparación del recubrimiento comestible</i>	38
3.13.	<i>Acondicionamiento de la fruta</i>	39
3.14.	<i>Aplicación del recubrimiento comestible</i>	40
3.15.	<i>Evaluación de atributos en fresa</i>	41
3.15.1.	Determinación de color.....	41
3.15.2.	Determinación de firmeza.....	41
CAPITULO IV.....		44
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.10.	<i>Parámetro de luminosidad (L)</i>	44
4.11.	<i>Parámetro de cromaticidad rojo (a)</i>	45
4.12.	<i>Parámetro de cromaticidad amarillo (b)</i>	47
4.13.	<i>Parámetro de firmeza (Kg_f)</i>	48
CAPITULO V.....		50
5.	CONCLUSIONES.....	50

CAPITULO VI	51
6. BIBLIOGRAFIA	51
CAPITULO VII	56
7. ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ejemplos de frutas climatéricas y no climatéricas.	6
Tabla 2: Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro.	10
Tabla 3: Composición nutrimental de la fresa	21
Tabla 4: Descripción de la carta de color.	24
Tabla 5: Especificaciones de tamaño.....	24
Tabla 6: Tolerancia de daños permitidos	25
Tabla 7: Principales índices de deterioro en alimentos	28
Tabla 8: Ecuaciones para calcular la vida útil de un alimento de acuerdo al orden de la reacción.....	35
Tabla 9: Reactivos, material y equipo utilizado.	36
Tabla 10: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de opacidad.	44
Tabla 11: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de cromaticidad (a).	46
Tabla 12: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de cromaticidad (b).	47
Tabla 13: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de firmeza (K_g).	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible en frutas y hortalizas frescas.	14
Figura 2: Estructura de amilosa (A) y amilopectina (B)	18
Figura 3: Morfología de una planta de fresa.....	19
Figura 4: Principales estados productores de fresa en 2015	19
Figura 5: Rendimiento de fresa en condiciones protegidas (t/ha)	20
Figura 6: Estados de maduración de la fresa a través del color.....	24
Figura 7: Frutas de fresas atacadas por el moho ceniciento.	25
Figura 8: Fruta de fresa con micelio blanco ocasionado por Rhizopus.	27
Figura 9: Grafica empleada para obtener la EA.	30
Figura 10: Gráfica empleada para obtener el Q_{10}	33
Figura 11: Diferencias entre reacciones de orden cero y uno para la pérdida de calidad de un alimento en función del tiempo.....	35
Figura 12: Etapas experimentales.....	36
Figura 13: (A) almidón de jícama y, (B) fresas recién cosechadas.	37
Figura 14: Procedimiento para el lavado del almidón de jícama.	38
Figura 15: (A) sobrenadante después de la centrifugación con NaOH y HCl, (B) pasta de almidón, (C) pulverización de almidón de jícama en mortero de ágata. .	38
Figura 16: Preparación del recubrimiento comestible	39
Figura 17: Acondicionamiento de la fruta.	40
Figura 18: (A) desinfección y, (B) secado de la fresa.....	40
Figura 19: Procedimiento para la aplicación del recubrimiento comestible.	40

Figura 20: (A) aplicación de la cubierta comestible y (B) secado posterior de la fruta.....	41
Figura 21: Evaluación de parámetros en fresa.....	42
Figura 22: (A) medición de parámetros de color y (B) firmeza a los frutos.....	42
Figura 23: Procedimiento para el cálculo de la vida de anaquel y el factor Q_{10}	43

RESUMEN

El aumento en la demanda de los consumidores por una alta calidad y larga vida de anaquel en alimentos listos para consumirse, ha impulsado el desarrollo de varias técnicas innovadoras para conservar la apariencia natural y fresca lo más posible y al mismo tiempo mantenerlos seguros.

El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles biodegradables, los cuales son elaborados a base de polímeros naturales e ingredientes funcionales, ofrecen excelentes perspectivas para la protección, conservación e incremento en la vida de anaquel de productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados. Estos recubrimientos tienen como objetivo generar una atmósfera modificada con la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes, gases (O_2 , CO_2) e incluso la migración de sustancias desde la matriz ubicada en la superficie del alimento, además de tener efectos positivos sobre el control de la tasa de crecimiento microbiano, y mantener características deseables por los consumidores tales como firmeza, brillo y color.

Por lo anterior, en este trabajo se formularon cubiertas comestibles a base de almidón de jícama (AJ) al 4%, utilizando glicerol (GLY) al 1.71% como plastificante, aceite de maíz (AM) con concentración variable (0.5, 1 y 1.5%) como la fase lipídica, tween 80 (0.1%) como emulsificante y como antimicrobianos el ácido sórbico y el benzoato de sodio, ambos en la misma proporción (0.05%). Los recubrimientos fueron colocados por inmersión en fresa recién cosechada. Posteriormente se evaluó la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas, en condiciones extremas de temperatura y humedad, para este estudio se experimentó con 3 temperaturas diferentes, 35°C, 45°C y 55°C con una humedad relativa fija de 60%, también se calculó el coeficiente de temperatura por medio del método Q_{10} , considerando el color, la textura y el pH, como atributos de calidad.

Se obtuvo que la cubierta con concentración de 1% de AM fue la que mejor mantuvo la firmeza, además de incrementar la luminosidad de la fresa, las cuales tuvieron una vida útil de 1.093 y 9.63 veces mayor que el testigo, respectivamente.

Para los parámetros (a) y (b), se determinó que la cubierta óptima para la conservación del color fue la correspondiente a la concentración de 0.5% de AM, prologando la vida de anaquel del color rojo en 1.65 veces más y para el color amarillo su comportamiento fue similar con respecto del testigo.

Palabras clave: *Vida de anaquel, fresa, almidón de jícama*

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

Se estima que a nivel mundial existen pérdidas poscosecha de productos hortofrutícolas aproximadas entre 15 y 85%, las principales causas de estas pérdidas son las pudriciones, daño mecánico, trastornos fisiológicos y la inadecuada o falta de tecnología que regule la maduración y la senescencia de los productos agrícolas (García, 2008).

Las frutas forman parte de una actividad económica muy importante dentro de la agricultura, debido a que son parte esencial de la dieta humana por sus características organolépticas como su agradable sabor, aroma delicado y colores exóticos además de proveer energía, fibra, minerales, vitaminas y antioxidantes indispensables para el organismo (Rolz, 2011).

El ingerir frutas genera beneficios a la salud, por lo que actualmente han surgido técnicas para el procesamiento mínimo de frutas frescas para disponer de ellas por un mayor tiempo posible, como parte de los cambios de estilo de vida actuales los consumidores buscan alimentos listos para comer pero sin dejar a un lado las características nutricionales de los mismos, las frutas frescas mínimamente procesadas ofrecen al consumidor productos con alta calidad nutricional y organoléptica, las cuales también representan una solución a la problemática actual sobre problemas de obesidad (Vázquez y Guerrero, 2013).

Los parámetros de calidad más importantes dentro de la comercialización de productos frescos y mínimamente procesados son la apariencia, color, textura, sabor, valor nutrimental y estabilidad microbiana, dichos atributos dependen de la variedad de la planta, madurez y condiciones antes y después de la cosecha, es importante mencionar que los características anteriormente mencionadas son propensos a modificarse después de la cosecha (Ruelas et al, 2013).

La fresa (*Fragaria vesca*) es uno de los productos frutícolas con mayor aceptación a nivel mundial, es una fuente rica de vitamina C, además de minerales, flavonoides y carotenoides. Los frutos de color rojo, actualmente son mayormente consumidos, ya que diversos estudios revelaron los beneficios que estos otorgan contra enfermedades degenerativas.

Una de las desventajas que presenta este apreciado fruto es la elevada respiración y la escasez de una barrera exterior que limite la retención de agua, lo que genera que este producto sea muy perecedero.

Como consecuencia de la elevada perecibilidad es necesario el impulso de nuevos tratamientos poscosecha con el fin de minimizar el ataque microbiano y la degeneración de atributos de calidad (López et al, 2012).

Una alternativa a los métodos de conservación tradicionales como la refrigeración y la aplicación de atmósferas controladas para la conservación de frutas es la utilización de recubrimientos comestibles (RC), los cuales se caracterizan por ser capas delgadas formadas a partir de materiales comestibles aplicados sobre la superficie de los alimentos con el objetivo de incrementar la vida útil de los mismos y generar una defensa entre el interior y el exterior del producto (Restrepo y Aristizábal, 2010).

Generalmente, se utilizan películas comestibles que reduzcan el intercambio gaseoso entre el producto y el ambiente, restrinjan el metabolismo del producto y prolonguen su vida útil, los componentes con las que son elaboradas son de diferente naturaleza, como ceras y almidones.

En los últimos años se ha intensificado el estudio de recubrimientos comestibles elaborados a partir de almidón como alternativa para la conservación de frutas y hortalizas, debido a su bajo costo, diversas fuentes de obtención y sus diferentes aplicaciones (Almeida et al, 2011).

1.1. Justificación

El ritmo de vida actual provoca que los consumidores opten por adquirir alimentos procesados listos para comer, este factor genera gran preocupación mundial debido al aumento de obesidad y de las diversas enfermedades desencadenadas por este tipo de condición física.

De acuerdo a la OMS (Organización Mundial de la Salud) una alternativa factible para combatir esta problemática es el consumo de al menos cinco porciones de frutas y verduras diarias las cuales disminuyen el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, diversos tipos de cáncer y diabetes tipo 2.

La fresa, fruto propuesto para este estudio es uno de los productos hortofrutícolas con mayor aceptación a nivel mundial, además es fuente rica de vitamina C, minerales, flavonoides y carotenoides, estudios recientes han demostrado que la ingesta de frutos de color rojo reduce considerablemente el riesgo de padecer enfermedades degenerativas.

Además, la fresa de origen mexicano es un producto que ha abastecido por más de cuatro décadas al mercado norteamericano, por lo que es considerado un fruto que deja grandes derramas económicas para el país. Por tales motivos, se decidió realizar el presente estudio para evaluar el efecto de un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón de jícama para ser aplicado en fresa recién cosechada con el fin de preservar sus características nutricionales y organolépticas, logrando así que este valioso alimento cumpla con los parámetros de calidad adecuados que le permitan llegar a mercados distantes y se disponga de él por mayor tiempo al prolongarse su tiempo de vida útil.

1.2.Hipótesis

- La aplicación de una cubierta comestible elaborada a partir de almidón de jícama influye positivamente en la vida de anaquel de fresa recién cosechada.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de un recubrimiento comestible elaborado a base de almidón de jícama (*pachyrhizus erosus* L. Urban) en la vida de anaquel de la fresa”

1.3.2. Objetivos específicos

- Incorporar una fase lipídica a la formulación del recubrimiento comestible para crear una barrera que limite la permeabilidad al vapor de agua.
- Añadir antimicrobianos a la formulación del recubrimiento comestible para brindar estabilidad microbiológica al fruto en estudio.
- Aplicar un recubrimiento elaborado a base de almidón de jícama en fresa recién cosechada.
- Evaluar atributos de calidad como color y textura en condiciones aceleradas de vida de anaquel en fresa recién cosechada.

CAPITULO II

2. REVISION DE LITERATURA

2.1.Importancia del consumo de frutas frescas

Las frutas y hortalizas frescas son alimentos necesarios en la dieta humana porque satisfacen los requerimientos nutricionales para llevar a cabo los procesos vitales, un ejemplo de esto es la importancia de consumir frutas y hortalizas con vitamina C (ácido ascórbico), ya que es un nutriente importante y que el organismo es incapaz de producir. Las frutas y hortalizas contienen importantes cantidades de carbohidratos simples, minerales, proteínas y diversos tipos de vitaminas.

Algunas enfermedades desarrolladas en personas de edad avanzada son relacionadas por la falta o insuficiencia de fibra cruda en la dieta, debido a un bajo consumo de frutas y hortalizas (FAO, 1987).

2.2.Fisiología poscosecha de las frutas

Algunas consideraciones que deben de tomarse en cuenta para lograr un buen manejo poscosecha es saber que las frutas y verduras continúan con los procesos de respiración, maduración, senescencia aun después de cosechadas, lo que desencadena modificaciones bioquímicas y estructurales para cada producto en específico (FAO, 2000).

2.2.1. Respiración

Por medio de este proceso la fruta obtiene la energía indispensable para llevar a cabo los procesos biológicos que ocurren en ella, la respiración ocurre con el consumo de azúcares o almidones, los cuales se oxidan, por tal motivo hay un consumo de oxígeno (O_2) y generación de dióxido de carbono (CO_2), como consecuencia a este proceso hay un desprendimiento de calor.

El valor del calor generado es de vital importancia para establecer las condiciones de sistemas de enfriamiento, refrigeración y ventilación.

Un aspecto importante a considerar es que el ritmo respiratorio define la vida útil del producto, es decir, al ser mayor el ritmo respiratorio menor es la vida útil (FAO, 2000).

2.2.2. Transpiración

Los productos provenientes del campo son susceptibles a la pérdida de agua a consecuencia de la transpiración (FAO, 2000).

2.2.3. Etileno

La importancia del etileno radica en que es una sustancia producida naturalmente por los productos hortofrutícolas, el cual es responsable de acelerar los procesos de maduración y senescencia de las frutas, por lo tanto, esta hormona reduce la vida útil de frutas y verduras (FAO, 2000).

2.2.4. Comportamiento climatérico

Todas las frutas son diferentes en cuanto a su ritmo respiratorio y producción de etileno, es por esta razón, que son clasificadas en climatéricas y no climatéricas.

Tabla 1: Ejemplos de frutas climatéricas y no climatéricas.

	Climatéricas	No climatéricas
Frutas de clima templado	<ul style="list-style-type: none">• Manzana• Pera• Durazno• Damasco (Chabacano)• Ciruela	<ul style="list-style-type: none">• Cereza• Uva• Frutilla (fresa)
Hortalizas de fruto	<ul style="list-style-type: none">• Melón• Tomate• Sandía	<ul style="list-style-type: none">• Pepino
Frutas tropicales comunes	<ul style="list-style-type: none">• Palta (aguacate)• Banana (plátano)• Mango• Papaya• Higo• Guayaba• Maracuyá• Caqui	<ul style="list-style-type: none">• Naranja• Pomelo (toronja)• Limón• Lima• Aceituna• Piña• Litche
Fruta tropical menos común	<ul style="list-style-type: none">• Chirimoya• Guanábana• Fruta del pan• Jackfruit• Mamey	<ul style="list-style-type: none">• Castaña de cajú• Ciruela de java• Eugenia spp.

Fuente: FAO, 1987

2.2.4.1. *Frutas climatéricas*

Este tipo de frutas acelera su ritmo de respiración y generación de etileno en la etapa de maduración, como consecuencia, las características organolépticas del producto cambian repentinamente. Las frutas climatéricas pueden permanecer en la planta hasta alcanzar su grado de madurez óptimo o bien, pueden continuar con el proceso en la poscosecha (FAO, 2000).

2.2.4.2. *Frutas no climatéricas*

Las frutas no climatéricas se caracterizan por tener baja respiración y producción de etileno, además de que sus atributos sensoriales varían gradual y continuamente, estas frutas alcanzan la madurez exclusivamente en la planta, por lo tanto, deben de ser cosechadas hasta que sean óptimas para el consumo (FAO, 2000).

2.2.5. Maduración

La maduración son una serie de cambios observados en la etapa del desarrollo de las frutas, siendo estos principalmente cambios físicos y químicos, a partir de estas modificaciones se pueden establecer:

- Niveles de madurez para la cosecha.
- Técnicas adecuadas y periodicidad de la cosecha.
- Requerimientos de calidad en el mercado.
- Proceso de destino.
- Tipo de técnicas para el procesamiento, distribución y mercadeo.
- Vida útil (FAO, 2000).

2.2.6. Cambios composicionales

En la etapa de desarrollo y maduración, existen una serie de modificaciones que sufren las frutas, las cuales se relacionan directamente con la calidad de las mismas (FAO, 2000).

2.2.6.1. *Desarrollo de color.*

El cambio más evidente sin duda es el color, ya que debido al proceso de maduración las frutas degradan la clorofila y se comienza con la producción de pigmentos característicos de cada fruta, como lo son carotenoides y antocianinas, por esta razón los productos pasan de un color verde a amarillo, naranja o rojo según sea el caso, los cuales les otorgan a las frutas mayor atracción (FAO, 2000).

2.2.6.2. *Desarrollo de sabor y aroma*

El cambio del sabor se debe a la degradación de almidón, dispersión de taninos, y la degradación de los ácidos orgánicos, lo cual genera sabor dulce y cambio en la acidez.

Por su parte, el aroma se desarrolla por efecto de la producción de compuestos volátiles, los cuales otorgan el olor característico a cada fruta.

2.2.6.3. *Cambios en firmeza*

La razón por la cual la firmeza y textura de las frutas cambia es debido a la degradación de almidones y pectinas presentes en la cáscara, además de los procesos que degeneran las paredes celulares. Provocando el ablandamiento de las frutas incrementando la posibilidad de daño durante el manejo, transporte y comercialización (FAO, 2000).

2.2.7. Enfermedades

La presencia de heridas en la superficie de las frutas ocasiona que estas sean atacadas por microorganismos, los cuales producen enzimas que degradan las paredes celulares, además de provocar cambios de color, olor y sabor en los frutos (FAO, 2000).

2.3. Importancia de las pérdidas poscosecha

Los productos hortofrutícolas son alimentos perecibles, ya que su deterioro es inevitable, siendo variadas las causas que lo ocasionen pudiendo ser fisiológicas, por plagas, infecciones y/o enfermedades. La pérdida de frutas y hortalizas se pueden generar en cualquier parte del proceso, es decir, durante la cosecha, acopio, transporte, mercadeo y consumo del mismo.

Los niveles de producto de origen vegetal desperdiciados van desde un 25% a un 50% de la producción en los países en vías de desarrollo, debido a la falta de instalaciones adecuadas para su comercialización.

Las consecuencias de estas pérdidas representan un riesgo para la economía de los comerciantes y productores, además de generarse grandes cantidades de desecho de alimentos.

Al paso de los años se han reducido las pérdidas en productos como granos, carne, lácteos, entre otros, pero en el caso de los productos hortofrutícolas no se ha logrado minimizar las mermas de producto (FAO, 1989).

2.4.Principales causas de las pérdidas poscosecha

Las circunstancias por las que se generan las pérdidas de frutas y vegetales son variadas y múltiples, las cuales se clasifican en primarias y secundarias:

2.4.1. Causas primarias:

- Aparición de plagas y enfermedades.
- Presencia de pesticidas, productos químicos y/o toxinas.
- Generadas por la inadecuada manipulación, ocasionando heridas y magulladuras en el producto.
- Incremento o decaimiento busco de las condiciones climatológicas.
- Presencia de brotes y/o raíces, cambios provocados por la respiración y transpiración.

2.4.2. Causas secundarias:

- Proceso de secado, deshidratado o curado deficiente.
- Condiciones inadecuadas durante el acopio.
- Distribución inapropiada.
- Exceso de producción (FAO, 1987).

2.5.Daños poscosecha que afectan la calidad de las frutas

A causa de factores climatológicos desfavorables como las altas temperaturas, atmósferas inapropiadas y las descompensaciones nutricionales en el cultivo, se generan variaciones en el desarrollo normal de las frutas viéndose afectada la calidad de la misma (FAO, 2000).

2.5.1. Daño por enfriamiento

Las características más notables de este tipo de daño son deficiencias en la maduración, presencia de olores y sabores anormales, pérdida de color, además del oscurecimiento y daño de los tejidos del fruto (FAO, 2000).

2.5.2. Daño por alta temperatura

Es uno de los factores que más afectan la descomposición de frutas y vegetales cosechados, ya que la velocidad de deterioro se acelera de 2 a 3 veces por el aumento de 10°C de la temperatura recomendada para su conservación (Tabla 1). Otra consecuencia desfavorable de las altas temperaturas es que reduce los efectos del etileno, O₂ y CO₂, modificando el nivel de respiración del producto.

Existen riesgos por las altas temperaturas debido a la germinación de esporas de hongos y la posible proliferación de otros microorganismos, es importante mencionar que una temperatura mayor a los 40°C ocasionará grandes defectos en

el producto y a una temperatura cercana a los 60°C la actividad de las enzimas queda inhibida, además de que la fruta sufrirá gran pérdida de agua debido a la transpiración, dejando la fruta en condiciones inadecuadas para su comercialización y consumo (FAO, 2000).

Tabla 2: Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro.

Temperatura °C	Supuesto Q10	Velocidad relativa de deterioro	Vida relativa de almacenamiento
0		1.0	100
10	3.0	3.0	33
20	2.5	7.5	13
30	2.0	15.0	7
40	1.5	22.5	4

Fuente: FAO, 2000

2.5.3. Daño por baja concentración de oxígeno (O₂)

Una reducción en los índices de O₂ provoca el desarrollo de procesos fermentativos, los cuales producen olores y sabores ajenos al alimento, además de contribuir al deterioro del producto por la actividad microbiana, este problema se presenta cuando la ventilación de los almacenes es ineficiente (FAO, 2000).

2.5.4. Daño por alta concentración de dióxido de carbono

La presencia excesiva de CO₂ dentro del ambiente de almacenes provoca que el ablandamiento normal de las frutas se vea atrasado y que se pierda el color verde característico de algunos productos.

En la mayoría de los casos se llega a observar la pérdida de color, presencia de sabores extraños y descomposición interna del fruto (FAO, 2000)

2.5.5. Daño por pérdida de agua

Después de la cosecha, las frutas continúan respirando, es por esta razón que se acelera el proceso de senescencia, producción de etileno y el inevitable deterioro de los tejidos, agregando que los productos comienzan a deshidratarse y aparecerles arrugas, lo que afecta considerablemente su calidad. Este fenómeno se ve favorecido a altas temperaturas y baja humedad relativa.

La máxima pérdida de agua aceptable en frutas es del 5%.

2.5.6. Daño físico

La presencia de heridas en la superficie de las frutas genera que comiencen las reacciones químicas que dañan las células, observándose coloraciones marrón o negras producto de la síntesis de melanina, además del desarrollo de olores y sabores extraños.

2.6. Tecnologías poscosecha

La producción de cultivos alimentarios a nivel mundial se realiza de manera estacional, por lo que se dispone de ellos solo en ciertas épocas del año, durante este periodo se producen a una escala mayor que la que demanda el mercado siendo necesario emplear método de conservación y almacenamiento con el fin de evitar el desperdicio de alimentos y pérdidas económicas (FAO, 1993).

Para reducir la pérdida poscosecha de las frutas se debe de tener un amplio conocimiento sobre la fisiología de las mismas para saber seleccionar el tipo de tratamiento poscosecha que se adecue a las características del fruto, además de brindar un buen manejo, condiciones óptimas de almacenamiento, transporte y mercadeo de los productos hortofrutícolas (Téllez et al, 2007).

Para lograr que los productos se conserven frescos es necesario detener o destruir los agentes causantes del deterioro de los alimentos sin que estos pierdan sus propiedades nutricionales y de calidad, algunas de las técnicas empleadas actualmente son:

2.6.1. Conservación por frío

Cuando las frutas y vegetales son almacenados en condiciones frías es muy común que estas pierdan peso debido al efecto de la transpiración de las mismas, lo que se traduce en pérdida de peso reflejando así pérdidas en la calidad del alimento, económicas y hasta del tipo legal en caso de no cumplir con el peso neto declarado en los envases (Barreiro, 2006).

2.6.2. Atmósferas controladas

Esta técnica se basa en reducir los niveles de CO₂ y C₂H₄ y/o elevar las concentraciones de CO₂ y vapor de agua para frenar el metabolismo, reducir la transpiración y retrasar el deterioro fisiológico o microbiano de los productos, estas concentraciones son reguladas mediante el uso de equipos los cuales mantienen constantes la composición atmosférica alrededor de los productos durante el transporte y el almacenamiento (Artés, 2006).

2.6.3. Ceras

En gran variedad de productos hortofrutícolas se están aplicando ceras, ya que estas controlan la difusión de gases, además de modificar la composición al interior del producto, inhibir la tasa de respiración y con ello reducir las pérdidas de agua debido a la transpiración.

2.7. Cubiertas comestibles

2.7.1. Definición

Los recubrimientos comestibles (RC) son productos comestibles que forman una capa fina sobre la superficie de los alimentos y son capaces de constituir una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua causantes del deterioro de los alimentos, las cubiertas comestibles mejoran las propiedades mecánicas del producto al que son aplicadas, además de proteger la estructura del producto, retener compuestos volátiles y en ellas se pueden añadir aditivos alimentarios que ayuden a la conservación del alimento (Saavedra y Algecira, 2010).

En la actualidad se habla de recubrimientos y películas comestibles, sin embargo estos dos no significan lo mismo ya que los recubrimientos comestibles deben formarse directamente sobre la superficie de los alimentos y por el contrario las películas son preformadas y después aplicadas en el alimento (Ávila y López, 2008).

La primer película comestible fue la Yuba, desarrollada en Japón en el siglo XV, la cual estaba elaborada a partir de soya de leche, en el siglo XVI en Inglaterra comenzaron a cubrirse productos con lardo de cerdo y a partir del año de 1930 en Estados Unidos empezó a utilizarse la cera para recubrir naranjas y manzanas (Ávila y López, 2008).

Actualmente se utilizan mayormente en frutas ya que permiten controlar la respiración y con ello la senescencia reduciendo así el deterioro, lo que permite ampliar la disponibilidad de este tipo de productos (Saavedra y Algecira, 2010).

El uso de RC no pretende reemplazar a los empaques de origen sintético los cuales están diseñados para proteger alimentos cuyo almacenamiento es prolongado, el propósito de los RC es actuar como un accesorio que mejore la calidad de un alimento, además de extender su vida de anaquel y la posible incorporación de sustancias que aumenten las propiedades funcionales del alimento (Ávila y López, 2008).

2.7.2. Características

La cualidad de mayor importancia de los RC es actuar como agente para la conservación de alimentos, es por esto que son catalogados como aditivos alimentarios y como tal deben de cumplir con ciertas características para poder ser utilizados en alimentos para consumo humano:

- ❖ Ser compatible nutricional y organolépticamente con el alimento al que será aplicado.
- ❖ Tener propiedades mecánicas que contribuyan a proteger el producto.
- ❖ Estabilidad a diversas condiciones ambientales.
- ❖ Fácil adhesión a la superficie del alimento.
- ❖ Cumplir con la legislación existente sobre aditivos alimentarios.
- ❖ Utilización de equipo sencillo y de bajo costo para su fabricación y aplicación (Parzanese, 2016).

2.7.3. Propiedades funcionales

La combinación de compuestos adecuados en la formulación de cubiertas comestibles permite que estas desempeñen funciones favorables (Figura 1) que contribuyen al aseguramiento de calidad y valor nutrimental de los alimentos en los que se aplican, las principales ventajas de utilizar RC son:

2.7.3.1. Barrera contra la pérdida de humedad

Es una de las propiedades más importantes que deben de tener los RC, ya que tienen la función de reducir la deshidratación de las frutas, este atributo depende en gran medida del área sobre la cual se está aplicando la cubierta y el espesor de esta, además de las diferencias de presión del vapor de agua al interior y exterior del producto (García, 2008).

2.7.3.2. Barrera contra los gases

Una de las funciones primordiales de los RC es regular el intercambio de gases, principalmente oxígeno y dióxido de carbono entre el alimento y el ambiente que lo rodea, minimizando la respiración y con ello la degradación del producto. Esta acción de barrera también puede ejercer un efecto favorable en el retraso de procesos oxidativos ayudando a controlar el pardeamiento enzimático y el ablandamiento de textura.

2.7.3.3. Limitar el intercambio de compuestos volátiles

Consiste en controlar la transferencia de sustancias volátiles entre el alimento y el exterior con el fin de evitar la pérdida de los compuestos responsables de otorgar sabor y color, además de proteger al fruto de adquirir olores o sabores anormales.

2.7.3.4. Protección contra el daño mecánico

Los RC otorgan cierta resistencia contra el impacto al que están expuestas las frutas durante la manipulación y el transporte de las mismas.

2.7.3.5. Contener ingredientes funcionales

Debido a la tendencia actual por consumir alimentos fortificados o adicionados con compuestos que proporcionan beneficios a la salud, se han incorporado a las formulaciones de cubiertas comestibles compuestos tales como antioxidantes, vitaminas y minerales, entre otros, además de agentes antimicrobianos, colorantes y saborizantes con el objetivo de ofrecer productos con mayor valor agregado (Ruelas et al, 2013).

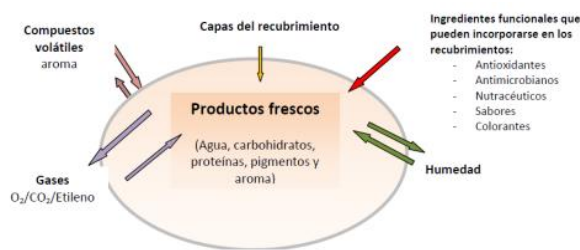


Figura 1: Propiedades funcionales de un recubrimiento comestible en frutas y hortalizas frescas.

Fuente: Ruelas et al, 2013

2.7.4. Métodos de aplicación

El método más adecuado para aplicar el recubrimiento comestible depende del tipo de superficie que tiene la fruta a la que deseamos aplicarlo, por esta razón existen 2 métodos de aplicación:

2.7.4.1. Inmersión

Utilizado para frutas con superficies irregulares, ya que es necesario un recubrimiento uniforme. La fruta debe pasar por un proceso de lavado y secado para después sumergirse directamente en la formulación del recubrimiento para obtener un recubrimiento más uniforme, posteriormente debe dejarse drenar el exceso para continuar con un último secado, el método anteriormente descrito es aplicado para frutas enteras (Vázquez y Guerrero 2013).

2.7.4.2. Aspersión

Empleado en frutas con superficies lisas y uniformes, consiste en aplicar la formulación con aspersores de alta presión en donde se consiguen diferentes tamaños de gota y por lo tanto se obtienen recubrimiento más delgados y uniformes en comparación con los obtenidos por inmersión (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.7.5. Composición

Los recubrimientos comestibles pueden ser formulados con polisacáridos, compuestos de naturaleza proteica, lipídica o una mezcla de los mismos

permitiendo aprovechar las propiedades de cada compuesto y la asociación entre ellos, dependiendo de los materiales empleados los recubrimientos adquieren ciertas propiedades mecánicas y de barrera a los gases como H₂, O₂ y CO₂ (Vázquez y Guerrero 2013).

2.7.6. Polisacáridos

Generalmente se utilizan polisacáridos los cuales permiten constituir una matriz estructural como: derivados de celulosa (metilcelulosa MC, hidroximetil celulosa HMC, hidroxipropil metilcelulosa HPMC y carboximetilcelulosa CMC), pectinas, derivados de almidón, alginatos, carragenina, quitosano y gomas, los cuales permiten obtener cubiertas comestibles transparentes y homogéneas, cabe mencionar que estos presentan poca solubilidad en agua por lo tanto crean una mínima barrera a la humedad con propiedades mecánicas moderadas, sin embargo, pueden hacerse mezclas con diferentes biopolímeros o materiales hidrófobos como aceites y ceras para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera (Vázquez y Guerrero 2013).

Los recubrimientos formados a partir de polisacáridos son permeables al CO₂ y O₂, este tipo de compuestos nos ayudan a retardar la transpiración y el envejecimiento de las frutas y verduras al limitar la disponibilidad de oxígeno (Ávila y López, 2008).

2.7.7. Proteínas

Los recubrimientos elaborados a partir de proteínas tienen mejores propiedades de barrera a los gases pero debido a su naturaleza hidrofílica presentan una menor resistencia al vapor de agua (Ramos, Bautista y Barrera, 2010), pero ejercen buenas propiedades de barrera al oxígeno, lo que permite controlar el intercambio de gases al interior y exterior del fruto, los aspectos que hay que tomar en cuenta para formular recubrimientos a base de proteína es el peso molecular de la misma, además de su conformación, propiedades eléctricas y estabilidad térmica (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.7.8. Lípidos

Los lípidos ejercen una escasa permeabilidad al vapor de agua lo que reduce considerablemente la deshidratación de los frutos, además de mejorar el brillo, por otro lado, también presentan ciertas desventajas y entre ellas están sus bajas propiedades mecánicas y en ocasiones mala apariencia (Ramos, Bautista y Barrera, 2010), la combinación de lípidos con polisacáridos permite mejorar la resistencia mecánica del recubrimiento comestible (Vázquez y Guerrero, 2013).

2.7.8.1. *Aceite de maíz*

En un estudio comparativo realizado por Cerqueira y col (2012) sobre el efecto de la glicerina y el aceite de maíz en las propiedades físico-químicas de las películas de polisacáridos, obtuvieron que, la presencia de glicerol y aceite de maíz produce cambios en la estructura de las biopelículas debido a la formación de nuevos enlaces o el aumento del número de los mismos en la estructura, se demostró que la incorporación de aceite reduce la afinidad por las moléculas de agua y con ello se limita la permeabilidad al vapor de agua (Cerqueira et al, 2012).

2.7.9. **Plastificantes**

La incorporación del plastificante en la formulación del RC es con el objetivo de debilitar las interacciones moleculares del biopolímero incrementando así la flexibilidad y con ello se favorece la formación de una red estructural más homogénea, por esta razón es importante determinar el tipo y concentración del plastificante a emplear ya que puede afectarse la función del RC en cuanto a la regulación de la transferencia de masa (Bósques y Vernon, 2005).

El uso del plastificante dentro de la formulación de los RC es de vital importancia ya que este es el encargado de emulsificar partes que no son miscibles, además de brindar características como flexibilidad y resistencia al recubrimiento (Ávila y López, 2008)

El uso de plastificantes ayuda a disminuir la temperatura de fusión y transición vítrea, modificando sus características reológicas por efecto de la movilización de las moléculas logrando dar plasticidad al RC.

A mayor cantidad de plastificante mejor serán sus características de elongación y de deformación y por el contrario, el esfuerzo de ruptura y el módulo de Young disminuirán. (Enríquez y et al, 2012).

2.7.9.1. *Glicerol*

El glicerol contiene dentro de su estructura química dos grupos hidroxilos primarios y un secundario, esta característica le permite diferentes posibilidades de reacción, es por esto que tiene una variedad de aplicaciones como humectante, plastificante, emoliente, espesante, disolvente, lubricante, edulcorante, anticongelante, entre otras (Posada y Cardona, 2010).

La efectividad de un plastificante depende de su peso molecular, es decir, los glicoles de bajo peso molecular son aptos para plastificar, mientras que los de alto peso molecular resultan deficientes para plastificar, en un estudio realizado por Texeira y col (2009) se encontró que los pesos moleculares del glicerol y sorbitol son de 92 g/mol y 180 g/mol respectivamente, por lo que el glicerol resultó ser un adecuado plastificante con respecto del sorbitol (Enríquez y et al, 2012).

2.7.10. Antimicrobianos

La formulación de las cubiertas comestibles ofrece la posibilidad de poder incorporar sustancias que permitan inhibir y/o controlar el crecimiento microbiano del alimento, la elección del antimicrobiano a emplear se puede basar en diversos factores como el tipo de microorganismo que se encuentre presente en el alimento y la velocidad de propagación del antimicrobiano en el producto.

La difusión del antimicrobiano a través del alimento depende en gran medida del tipo de polímero, plastificante, proceso de elaboración y propiedades hidrofílicas del recubrimiento, así como también de las características del alimento como pH y la actividad del agua, además del tiempo y temperatura en el almacenamiento del producto (Ávila y López, 2008).

2.7.11. Tween 80

Es un aditivo que cumple las funciones de un surfactante, es decir, reduce las fuerzas de cohesión y por lo tanto hace que haya una disminución en la tensión superficial de la solución, además favorece la humectabilidad de la solución con la superficie de la fruta (Quintero, Falguera y Muñoz, 2010).

2.8. Recubrimientos de almidón

Una de las ventajas de utilizar este polisacárido como ingrediente principal es su amplia disponibilidad en la naturaleza, lo que lo convierte en un importante compuesto para su uso a nivel industrial.

La estructura de almidón está constituida por dos moléculas (Figura 2) poliméricas muy importantes, las cuales son amilosa y amilopectina, la primera tiene una conformación lineal, mientras que la segunda se encuentra ramificada.

La importancia de la relación entre ambas moléculas debe a que estas determinan las propiedades mecánicas y físicas de la película comestible.

Un mayor contenido de amilosa dentro de la formulación dará como resultado películas con mayor dureza, un estudio realizado por Talja et al., (2008) demostró que el aumento de amilosa del 14.2% al 18.4% incremento la fuerza tensil de 7.4 a 9.6 MPa.

En general, los recubrimientos elaborados a base de almidón se caracterizan por ser quebradizos, sin embargo, el almidón es catalogado como el mejor polisacárido que otorga cualidades de flexibilidad a los recubrimientos, cabe mencionar que esta característica puede mejorarse con la incorporación de plastificantes y otros biopolímeros a la formulación.

El almidón puede provenir de diversas fuentes, aun así, todas las películas elaboradas a partir de él comparten ciertas características como ser quebradizas, ser solubles en agua fría y agua caliente (Domínguez y Jiménez, 2012).

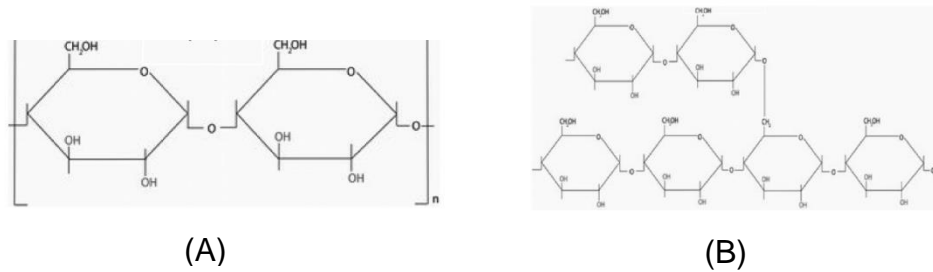


Figura 2: Estructura de amilosa (A) y amilopectina (B)

Fuente: Bourtoom, 2008

2.9. Fresa

2.9.1. Origen

Antes del descubrimiento de América, en Europa se conocían las especies *Fragaria vesca* y *F. alpina*, las cuales eran de tamaño pequeño pero de excelente calidad organoléptica. En los años posteriores al descubrimiento de América se encontraron nuevas especies, en Chile, *Fragaria Chilensis* y una más en Estados Unidos, *Fragaria virginiana*, que debido a su gran tamaño se le llamó fresones, estas nuevas variedades fueron llevadas a Europa con el fin de hibridarlas, actualmente las fresas producto de estas cruces son las que encontramos en el mercado (Gutiérrez, 2002).

2.9.2. Descripción botánica

Pertencientes a la familia Rosaceae y al género *Fragaria*, esta planta puede llegar a medir 50 cm de altura, tiene un sistema radicular fasciculado, ya que se compone de raíces y raicillas.

Sus hojas son numerosas y de forma trilobulada con pecíolos largos, las cuales nacen en una corona o rizoma corto encontrándose a nivel de suelo sobre el cual se da el crecimiento de la planta. En ella se encuentran tres tipos de yema, unas desarrollan tallos, otras, estolones que al estar en contacto directo y constante con el suelo generan raíces y por ende nuevas plantas, el tercer tipo de yemas forma las flores.

Generalmente, las flores son hermafroditas, que significa que en la misma flor se encuentran ambos sexos, estas desarrollan comúnmente cinco pétalos de forma oval color blanco, en la parte del cáliz podemos encontrar cinco sépalos.

La polinización regularmente es llevada a cabo gracias a los insectos, siendo principalmente cruzada, este tipo de polinización ayuda a impulsar el crecimiento

del receptáculo para la buena formación de frutos, de lo contrario se desarrollarían frutos deformes.

La fruta es formada por los receptáculos desarrollados a causa de la fecundación de los óvulos, este receptáculo contiene a los frutos reales llamados aquenios, generalmente conocidos como semillas (Gutiérrez, 2002).

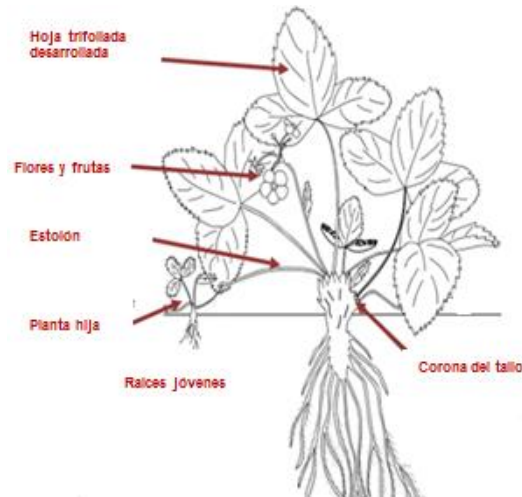


Figura 3: Morfología de una planta de fresa

Fuente: Haifa, 2014

2.9.3. Producción en México

Un 90% del volumen y valor de la producción de fresa se concentra principalmente en los estados de Michoacán, Baja California, Jalisco y Guanajuato (Figura 4) (Panorama de la fresa, 2015).

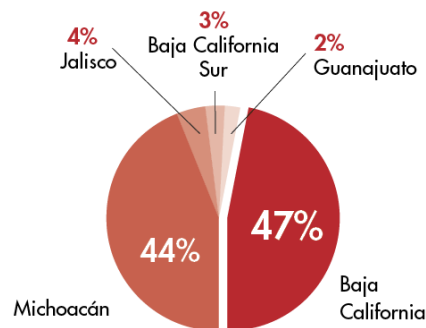


Figura 4: Principales estados productores de fresa en 2015

Fuente: Hortalizas, 2015

La fresa es una de las frutillas que más se produce y exporta en México, de acuerdo al SIAP y SAGARPA en el 2014 el 91% de la producción total de fresa provenía de Michoacán y Baja California, en esta última se cuenta con la mayor superficie de producción protegida en México con 108 hectáreas (Hortalizas, 2015).

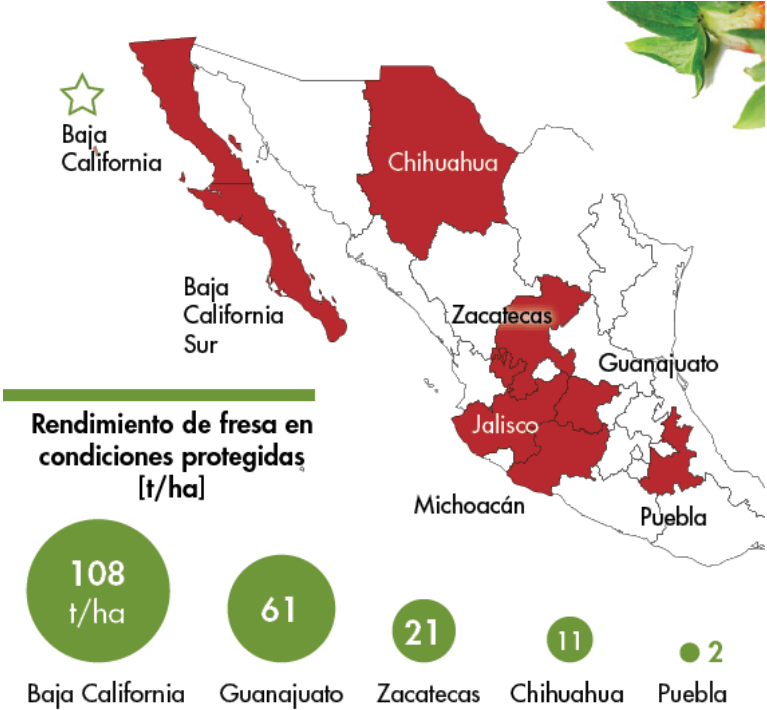


Figura 5: Rendimiento de fresa en condiciones protegidas (t/ha)

Fuente: Hortalizas, 2015

2.9.4. Importancia económica

El segundo país con mayor producción de fresa es México, seguido de Estados Unidos, la fresa es un importante producto de exportación y genera alrededor de 15,000 empleos directos y 4,500 indirectos.

La exportación de fresa ha ido incrementando en los últimos años, del 2008 al 2013 hubo un aumento del 10.5% anual en este producto, en el 2013 se alcanzaron niveles de exportación de 236 mil toneladas, que representa un 60% de la producción nacional.

El principal país al que se exporta fresa y otros productos es Estados Unidos, cada año se exporta un 63% de fresa fresca, 35% de fresa congelada y 2% de fresa conservada y preparada (Panorama de la fresa, 2015).

En el 2015 el Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP), informó que hubo una superficie sembrada de 9,162.71 hectáreas de las cuales se cosecharon 9,072.71 hectáreas, obteniendo una producción total de 359,980.14 toneladas, las

cuales dejaron una derrama económica de \$5,584,317.08 miles de pesos, en dicho año agrícola (SIAP, 2015).

2.9.5. Importancia nutricional del consumo de fresa

Una de las frutas con bajo aporte calórico es la fresa, la cual proporciona 30 kcal/100 gr, además su contenido de proteínas, grasas y sodio también es muy bajo.

Los azúcares son uno de los nutrientes más importantes (Tabla 1) que nos proporciona la fresa, esta contiene apenas un 5% de su peso, otros compuestos importantes que contiene la fresa es la vitamina C, los folatos, potasio y hierro.

El color característico de la fresa y el cual le otorga gran aceptación a nivel mundial se debe a unos pigmentos llamados antocianinas, las cuales tienen propiedades antioxidantes, ayudan a reducir los niveles de colesterol en el hígado.

Un estudio realizado en la Universidad Tufts de Boston (E.E.U.U.) se demostró que la fruta con mayor capacidad antioxidante son las fresas, seguido de las ciruelas, naranja y uva. La capacidad antioxidante de la fresa se debe a causa del contenido de vitamina C, bioflavonoides y antocianinas, esta acción antioxidante se definió por el efecto de neutralizar radicales libres oxidantes (Pamplona, 2007).

Tabla 3: Composición nutrimental de la fresa
por cada 100 g de parte comestible cruda

Energía	30,0 kcal=127 kJ
Proteínas	0,610 g
Hidratos de carbono	4,72 g
Fibra	2,30 g
Vitamina A	3,00 µg ER
Vitamina B₁	0,020 mg
Vitamina B₂	0,066 mg
Niacina	0,347 mg EN
Vitamina B₆	0,059 mg
Folatos	17,7 µg
Vitamina B₁₂	-
Vitamina C	56,7 mg
Vitamina E	0,140 mg EcT
Calcio	14,0 mg
Fósforo	19,0 mg
Magnesio	10,0 mg
Hierro	0,380 mg
Potasio	166 mg
Zinc	0,130 mg
Grasa total	0,370 g
Grasa saturada	0,020 g
Colesterol	-
Sodio	1,00 mg

% de la CDR (cantidad diaria recomendada)

Cubierta por 100 g de alimento

Fuente: Pamplona, 2007

2.9.6. Parámetros de calidad

Las especificaciones mínimas de calidad que debe de presentar la fresa fresca comercializada en territorio mexicano para su consumo en fresco deben estar basadas en la NMX-FF-062-SCFI-2002, dicha norma incluye las definiciones técnicas, especificaciones, clasificación de la fresa, características físicas, metodología para el muestreo, métodos de verificación, además de higiene y contaminantes, consideraciones para el etiquetado, envasado y embalaje de las mismas.

2.9.6.1. Definiciones

- **Canastilla:** contenedor de plástico con seis caras con redecillas, la cara superior se presenta sin éstas, las proporciones de dicha caja son, base inferior 6,5 cm, base superior 10,0 cm x 10,0 cm y con una altura de 6,0 cm, las cuales deben de tener una capacidad de 250 gr a 454 gr.
- **Daño:** cualquier tipo de lesión ocasionado al tejido interno o externo del fruto.
- **Daño menor:** degrada minimamente las características físicas, generalmente no hay lesión del mesocarpio pero si existe una ligera lesión del epicarpio. Los daños menores mas comunes son raspaduras y daños ocasionados por el sol.
- **Daño mayor:** este tipo de daño no es grave, sin embargo el fruto de fresa presenta defectos a causa de lesiones fuertes en epicarpio y ligeras en la parte del mesocarpio, pero si afectan considerablemente la apariencia física, además de restar calidad comercial a la fresa. Generalmente el daño mayor se debe a plagas o enfermedades.
- **Daño crítico:** son laceraciones graves, afectando principalmente gran parte del mesocarpio, a causa del progreso del ataque causado por plagas, enfermedades o heridas, la presencia de este defecto ocasiona que el producto sea rechazado por los consumidores.
- **Defecto fisiológico:** son cambios presentes en el fruto, ocasionadas específicamente por las condiciones ambientales, genéticas o metabólicas.
- **Fresa no desarrollada:** se presenta cuando la fresa no logra alcanzar un desarrollo de forma adecuado, el cual genera que esta obtenga una forma anormal a causa de factores ambientales, biológicos, insectos, microorganismos y mal manejo del cultivo.
- **Diámetro:** para conocer este valor, se considera medir el fruto de manera horizontal tomando el valor mas alto.
- **Sobremaduración:** etapa en la que se encuentra la fresa cuando esta completamente roja y blanda, es decir, se encuentra en estado óptimo para su consumo inmediato, cuando la fresa presenta estas características no es muy recomendable embarcarla o transportarla a los puntos de venta, ya que esta próxima a la senescencia.

- **Pudrición:** estado de la fresa en la cual los tejidos y células se encuentran en descomposición a causa de la proliferación microbiana, otorgando olores y sabores anormales a la fruta (Secretaría de economía, 2002).

2.9.6.2. Clasificación

- **Extra:** las fresas pertenecientes a este grado son de una calidad superior con respecto a las demás clasificaciones, por lo tanto, no deben presentar anomalías, además deben de tener tamaño y color uniforme.
- **Primera:** las fresas que se encuentran en esta clasificación pueden presentar daños mínimos, además de tener forma, desarrollo y coloración característica de la variedad.
- **Segunda:** las frutas correspondientes a esta categoría pueden tener raspaduras, magulladuras o daños ocasionados por el sol, hasta en un 10% del total del fruto, es por esta razón que son clasificadas con una menor calidad (Secretaría de economía, 2002).

1.1.1.1. Especificaciones

Las clasificaciones antes mencionadas deben de cumplir con requerimientos mínimos para su comercialización:

- a) Tener aspecto fresco y completamente sanas.
- b) Estar íntegras y desarrolladas.
- c) Presentar una coloración rosa o rojo tenue, al menos en tres cuartas partes de la pieza.
- d) No presentar materia extraña.
- e) Características de forma, sabor y olor correspondientes a la variedad.
- f) Estar firmes.
- g) Poseer pedúnculo de máximo 1,5 cm de longitud.
- h) No presentar magulladuras.
- i) Exentas de quemaduras de sol.
- j) Libres de materia orgánica como tierra o polvo.
- k) Sin daños ocasionados por plagas.
- l) No deben estar podridas o con presencia de moho.
- m) No tener defectos por frío de la refrigeración o variaciones de temperatura.
- n) Estar libres de humedad ambiental anormal que reflejen un descontrol de la misma (Secretaría de economía, 2002).

2.9.6.3. Características físicas al momento de la cosecha

- **Madurez:** etapa en la cual la fresa obtiene el máximo crecimiento físico y a su vez, cuenta con los nutrientes necesarios para continuar con la maduración de consumo (Figura 8).
- **Color:** la cosecha de las fresas se debe de llevar a cabo cuando estas presenten una coloración rosa o rojo tenue en un 50% de la superficie.

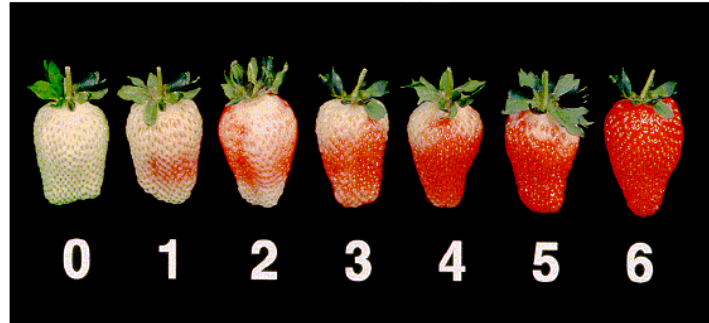


Figura 6: Estados de maduración de la fresa a través del color
Fuente: Secretaria de economía, 2002 (NMX-FF-062-SCFI-2002)

Tabla 4: Descripción de la carta de color.

Color	Descripción
0	Fruto completamente desarrollado el cual presenta una coloración blanca, este fruto ya cuenta con madurez fisiológica.
1	Pieza en la que predomina el color blanco, apareciendo áreas rosas en la zona apical.
2	La zona apical presenta un intenso color rojo.
3	La fruta comienza a teñirse de rojo intenso al menos hasta la mitad de la pieza, observándose color rosa hacia el cáliz.
4	El color rojo cubre casi la totalidad de la superficie, dejando pequeñas áreas cercanas al cáliz en tonos rosas.
5	El cáliz comienza a cubrirse de color rojo intenso.
6	La fresa está completamente cubierta de rojo intenso.

Fuente: Secretaria de economía, 2002 (NMX-FF-062-SCFI-2002)

Tamaño: las fresas se clasifican de acuerdo a su tamaño, el cual se obtiene midiendo el diámetro ecuatorial de las mismas (Tabla 5).

Tabla 5: Especificaciones de tamaño

Tamaño	Intervalo de diámetro ecuatorial (cm)		
A	3,2	De	Mayor
B	2,6	a	3,1
C	2,0	a	2,6
D	1,6	a	1,9

Fuente: Secretaria de economía, 2002 (NMX-FF-062-SCFI-2002).

2.9.6.4. Daños permitidos

Las fresas que no cumplan con la clasificación de calidad y tamaño establecida por la NMX-FF-062-SCFI-2002 recibirán una tolerancia de los daños, la cual se determina en porcentaje, por unidades o masa en base al total de piezas contenidas en la canastilla (Secretaría de economía, 2002).

Tabla 6: Tolerancia de daños permitidos

Especificaciones	Tolerancias %					
	Extra		Primera		Segunda	
	P.E	P.A	P.E.	P.A	P.E	P.A
Defecto menor	8	10	10	12	10	12
Defecto mayor	5	7	5	7	5	7
Defecto crítico	0	2	2	4	3	5
Pudrición	0	2	0	2	0	2
Total de defectos permitidos	8	10	10	12	10	12

Fuente: Secretaría de economía, 2002 (NMX-FF-062-SCFI-2002).

P.E.: Punto de embarque P.A.: Punto de arribo

2.9.7. Pudriciones del fruto

La parte de la planta de fresa que mayormente sufre pudriciones es el fruto, como resultado del daño mecánico y el contacto directo con agentes contaminantes, siendo estos principalmente microorganismos patógenos, los cuales atacan al fruto en el campo o en la poscosecha (Baraona y Sancho, 1998).

2.9.7.1. Moho gris o moho ceniciento

El primer síntoma que se observa es la aparición de una mancha color marrón en la superficie del fruto ubicada al final del cáliz, los días posteriores a la infección la fresa es cubierta por un moho gris con aspecto polvoso hasta invadir completamente el fruto (Figura 3). Este acontecimiento no provoca la deformación del fruto ni produce exudados en comparación con otras pudriciones.



Figura 7: Frutas de fresas atacadas por el moho ceniciento.

Fuente: Baraona y Sancho, 1998

El hongo que ocasiona esta pudrición es *Botrytis cinérea*, el cual se encuentra en restos de frutos o plantas infectadas. Cuando la temperatura es fresca y existe una elevada humedad se comienza con la esporulación del hongo, este inoculo es transportado por medio del viento o la lluvia hasta llegar a los tejidos susceptibles. Para que el microorganismo se desarrolle e infecte a la planta se requiere que el inoculo acompañado de agua permanezca varias horas en la superficie de las hojas.

Generalmente las flores son las primeras en infectarse y desde este lugar los frutos quedan expuestos al patógeno, el cual, debido a las condiciones ambientales puede desarrollarse de inmediato o permanecer en estado de latencia, ya que este moho se desarrolla especialmente cuando los frutos están maduros.

Un método para prevenir esta pudrición, es la remoción temprana de frutos enfermos y muertos dentro del cultivo, cubrir el suelo con plásticos y la aplicación de fungicidas en la etapa de floración hasta antes de la cosecha (Baraona y Sancho, 1998).

2.9.7.2. Pudrición por *Rhizopus*

Algunos de los síntomas características de esta infección es que el fruto comienza a suavizarse, además de la generación de exudados acuosos, cuando las condiciones de humedad elevada se presentan se forma el micelio color blanco que en un periodo corto de tiempo desarrolla esporangios negros en los extremos de las hifas (Figura 4).

Diversas especies de *Rhizopus* ocasionan pudriciones como la descrita anteriormente, pero el más frecuentemente encontrado en los frutos del campo y en la comercialización es *R. stolonifer*, el cual se encuentra viviendo saprofiticamente en materia orgánica y sus esporas se esparcen por medio del viento o insectos.

El mecanismo de infección de este hongo se basa en introducirse por medio de una herida para posteriormente producir enzimas pectolíticas que generan que el tejido se ablande y por consiguiente se liberen exudados.

Para prevenir la pudrición de frutos de fresa por *Rhizopus* es necesario emplear fungicidas de amplio espectro, sin embargo, este mecanismo no es muy recomendable ya que existe la posibilidad de contaminar el producto. La forma más adecuada de evitar la proliferación de este moho es minimizando el daño mecánico, seleccionando el producto e inmediatamente conservarlo a temperaturas por debajo de los 6°C (Baraona y Sancho, 1998).



Figura 8: Fruta de fresa con micelio blanco ocasionado por *Rhizopus*.

Fuente: Baraona y Sancho, 1998

2.9.8. Pérdidas poscosecha de fresa

Las fresas son caracterizadas por ser un producto delicado, lo que provoca que se generen pérdidas poscosecha por daños antes mencionados, además son un producto altamente perecedero y por lo tanto su vida útil es muy corta.

Existen poco estudios que brinden información sobre las pérdidas poscosecha de la fresa, la FAO encontró que existe un 23% de pérdidas de este producto, algunos autores mencionan que este valor puede llegar a un 40% si durante la etapa de distribución hay pérdida de agua o ablandamiento de la fresa, se menciona también que la vida útil de anaquel de la fresa puede verse afectada, llegando a ser máximo una semana en condiciones de 0°C.

Se han realizado investigaciones para conocer los porcentajes de pérdidas poscosecha de la fresa en New York, las que arrojaron resultados de un 5% de mermas para los frutos de fresa vendidos al menudeo los cuales comúnmente son por daños mecánicos y presencia de hongos, otro estudio llevado a cabo en el mismo lugar dio valores de 22% de pérdidas para fresas dentro del mercado de productos frescos.

Un estudio llevado a cabo en Madrid, España encontró que las pérdidas después de la cosecha de fresas alcanzan valores de hasta 26% debido a daños mecánicos y al nivel de maduración de las mismas.

En México se realizó un estudio dentro de una empacadora de fresa, en el municipio de Irapuato, Guanajuato, en donde se determinaron valores de 9.13 % de pérdidas por daño mecánico (Alcántara, 2009).

2.10. Cinética del deterioro en alimentos

Un alimento es definido como un sistema físico, químico y biológico, el cual no puede mantenerse inerte frente a las condiciones de proceso y ambientales a las que es sometidos, estos factores provocan el decrecimiento en la calidad del alimento a lo largo del tiempo (García y Molina, 2008).

Un fenómeno natural que ocurre en los alimentos es la pérdida de los atributos de calidad los cuales las industrias alimentarias permiten hasta cierto grado (Figura 1) antes de que estos sean consumidos, por lo tanto la vida de anaquel se define como el periodo de tiempo que transcurre para que el producto sea considerado como inaceptable desde el punto de vista sensorial, nutricional o de inocuidad (Fu y Labuza, 1993).

Para poder conocer la vida útil es necesario el conocimiento previo de las reacciones químicas y biológicas que provoca cambios desfavorables en el alimento, también debe de conocerse la formulación y proceso al que fue sometido con la finalidad de delimitar aquellas causas que contribuyen a una mayor pérdida de calidad (García y Molina, 2008).

Una anticipada pérdida de la vida de anaquel de los productos alimenticios presenta un grave problema para las industrias procesadoras, ya que habrá una pérdida de confianza por parte de los consumidores y por lo tanto se verá reflejado en los ingresos económicos de las empresas.

Las pruebas de vida de anaquel son de vital importancia dentro de las industrias alimentarias porque les permiten tomar decisiones con respecto a los procesos de elaboración, conservación y el envasado que se le debe brindar a los productos para evitar pérdidas de calidad antes del tiempo esperado (Fu y Labuza, 1993).

Tabla 7. Principales índices de deterioro en alimentos

Índice de deterioro	Forma de medición
Características sensoriales anómalas	Evaluación sensorial mediante panel de catadores
Variación de color	Determinación cuantitativa de pigmentos
Presencia de microorganismos	Determinaciones cuantitativas
Disminución de contenido de vitamina C	Determinaciones cuantitativas
Lipólisis	Detección sensorial

Fuente: Salinas et al, 2007

2.10.1. Tipos de pruebas para predecir la vida útil

La estimación de la vida de anaquel de los productos alimenticios puede realizarse por medio de diversos métodos desde los más sencillos hasta los más complejos, entre ellos tenemos, la búsqueda de valores reportados en la literatura para alimentos y condiciones similares al producto que deseamos conocer, otra forma es recabando las inconformidades por parte de los consumidores a cerca de cierto producto y reunir la información necesaria para determinar su vida de anaquel (García y Molina, 2008), los métodos anteriormente mencionados no son muy confiables, es por esta razón que se hace necesario el uso de técnicas que involucren valores reales para conocer con certeza la vida útil del alimento interés.

2.10.1.1. Pruebas aceleradas

Esta prueba se realiza mediante la incubación del alimento bajo condiciones controladas y con diversas temperaturas las cuales deben de estar por encima de las de almacenamiento y de comercialización, esta técnica permite obtener resultados a cerca del comportamiento del producto bajo condiciones extremas de temperatura en un corto periodo de tiempo, debido a que las reacciones químicas y biológicas se aceleran por efecto de la temperatura.

El estudio de la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas requiere de ciertos cuidados, las variables a monitorear deben estar identificadas y controlarse aquellas que no son de interés para evitar que interfieran en las evaluaciones, así como los métodos para cuantificación deberán de ser rápidos pero que arroje resultados confiables, debe planearse con precaución el diseño experimental bajo el cual se analizaran los resultados y el número de repeticiones que se analizarán, todas estas consideraciones deben de tomarse en cuenta al momento de emprender un estudio de vida de anaquel para poder realizar las evaluaciones de una forma más apropiada y obtener resultados lo más real posible (García y Molina,2008).

Las pruebas aceleradas para poder llegar a conocer la vida útil de los alimentos requiere del conocimiento de áreas como ingeniería, química y microbiología de los alimentos, además de química analítica, ciencia de polímeros y reglamentación alimentaria, así mismo, este tipo de pruebas sigue una serie de pasos para su desarrollo cuando se trata de alimentos procesados:

1. Deberán ser evaluados factores relacionados con la seguridad microbiológica del producto y de cada una de las etapas del proceso al que será sometido mediante el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).
2. Determinar que reacciones físicas, químicas o microbiológicas pueden servir como indicadoras de la pérdida de calidad, para esto es necesario conocer la composición y proceso del producto.
3. Elegir el tipo de envase que servirá para contener al alimento a lo largo de las pruebas de vida de útil.
4. Establecer las condiciones de temperatura bajo las cuales se desarrollará la prueba, es recomendable realizar las evaluaciones con un mínimo de tres temperaturas diferentes.
5. Definir el tiempo al que se mantendrá cada temperatura seleccionada.
6. Decidir la frecuencia de los muestreos a realizar a lo largo de la prueba, así como también el número de repeticiones a analizar.
7. Realizar las representaciones graficas de los resultados a medida que estos se van obteniendo, con el fin de identificar a tiempo si debe modificarse los tiempos de prueba.
8. A partir de los resultados obtenidos determinar el orden de reacción y la velocidad de deterioro mediante el gráfico de Arrhenius apropiado para predecir la vida útil del alimento y posteriormente validar dicho tiempo (Valentas et al, 1997).

2.11. Efecto de la temperatura

Uno de los factores ambientales que más influye en el deterioro alimentario es la temperatura, ya que esta acelera la velocidad de las reacciones químicas y biológicas que le ocurren a los productos, para conocer el efecto que ejerce la temperatura sobre los alimentos se utiliza la ecuación de Arrhenius (Ecuación 1) :

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{EA}{RT}\right)$$

Ecuación 1: Modelo de Arrhenius

Fuentes: Valentas et al, 1997

En donde:

K: Constante cinética

k₀: Factor pre-exponencial

EA: Energía de activación (J mol⁻¹)

R= Constante universal de los gases (8.3145 JK⁻¹ mol⁻¹)

T= Temperatura (°K)

Este modelo matemático es ampliamente utilizado para describir la relación de la temperatura en función de la constante de reacción cuando los alimentos son almacenados de -20 a 0°C cuando se trata de productos congelados y de 4 a 45°C para alimentos refrigerados o deshidratados (Salina et al, 2007).

Se ha evidenciado que el modelo matemático de Arrhenius es el que rige la pérdida de calidad de los alimentos, esta ecuación está fundamentada en leyes termodinámicas, por esta razón, la ecuación de Arrhenius involucra el efecto de la temperatura sobre las reacciones químicas en los alimentos (Valentas et al, 1997).

Para conocer la energía de activación y el factor pre exponencial es necesario graficar el ln (k) con respecto del tiempo, de la que posteriormente se obtendrá la ecuación de la recta de la cual podemos calcular estas dos variables.

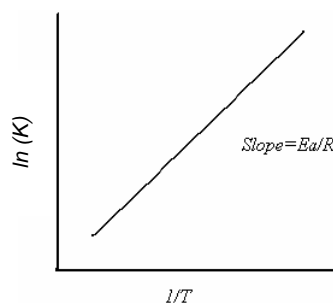


Figura 9: Grafica empleada para obtener la EA.

Fuente: Ocampo, 2003

Debido a la dispersión de los datos, estos deberán ajustarse a una línea recta, por lo que la ecuación 1 se linealiza (Ecuación 2):

$$\ln K = \ln k_0 - \ln \exp\left(-\frac{EA}{RT}\right)$$

Ecuación 2

Obteniendo la ecuación de Arrhenius linealizada (Ecuación 3):

$$\ln K = \ln k_0 - \frac{EA}{R} \left(\frac{1}{T}\right)$$

$$\underbrace{\ln K}_{Y} = \underbrace{\ln k_0}_{b} + \underbrace{-\frac{EA}{R}}_{m} \underbrace{\left(\frac{1}{T}\right)}_{x}$$

Por lo tanto, para obtener la energía de activación, utilizamos la pendiente de la ecuación de la recta, como se muestra (Ecuación 4):

$$m = \frac{EA}{R}$$

$$EA = m(R)$$

Ecuación 4:

Para conocer el factor pre exponencial, hacemos uso de la ordenada al origen de la ecuación de la recta obtenida anteriormente (Ecuación 5):

$$b = \ln k_0$$

Ecuación 5

Para calcular directamente el factor pre exponencial se debe de eliminar el ln como se presenta a continuación (Ecuación 6):

$$\exp b = \exp \ln k_0$$

Ecuación 6

Entonces, obtenemos la ecuación directa para calcular dicha variable (Ecuación 7):

$$e^b = k_0$$

Ecuación 7

Cuando ya se tienen las variables correspondientes al factor pre exponencial (k_0) y la energía de activación (EA) podemos conocer la velocidad de deterioro empleando directamente la ecuación de Arrhenius (Ecuación 1).

Posteriormente, para conocer el tiempo de vida de anaquel utilizamos la ecuación 8, empleada para las reacciones de orden cero:

$$A = A_0 - Kt$$

Ecuación 8

Donde:

A: Valor límite aceptable de la variable de interés.

A₀: Valor inicial de la variable de interés.

K: Velocidad de deterioro (Calculada con la ecuación de Arrhenius).

t: Tiempo de vida de anaquel.

En la ecuación 9 se encuentra despejado el tiempo, por lo que directamente obtendremos la vida de anaquel:

$$t = \frac{A_0 - A}{K}$$

Ecuación 9

2.12. Q₁₀

Otro modelo de utilidad para describir la relación de la temperatura y la constante de reacción es el llamado Q₁₀, (Salina et al, 2007).

El factor de aceleración Q₁₀ es un método empleado con el fin de predecir el efecto de la temperatura sobre un alimento, este factor significa el número de veces que la velocidad de las reacciones se modifica cuando la temperatura aumenta 10°C (Rondon et al, 2004). Es decir, si el valor de dicho factor es 1 la velocidad de reacción se mantiene, pero si es de 2 o 3 la velocidad se duplica y triplica (Fanjul y Hiriart, 2008).

La ecuación 10 se emplea para conocer el valor Q₁₀ involucrando las variables de velocidad de deterioro (K), obtenidas con el modelo de Arrhenius.

$$Q_{10} = \frac{K_1}{K_2}$$

Ecuación 10

Donde:

K₁= Es la constante de reacción a la temperatura (T+10 °C)

K₂= constante de reacción a la temperatura T (°C)

Otra forma de conocer el valor Q_{10} es partiendo del análisis anteriormente descrito, graficando el logaritmo natural del tiempo de vida de anaquel en función de las temperaturas de experimentación en grados centígrados.

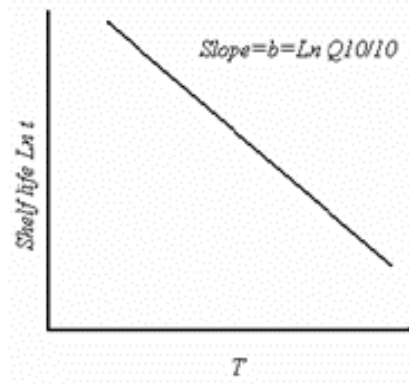


Figura 10: Gráfica empleada para obtener el Q_{10}

Fuente: Ocampo, 2003

De la cual obtendremos la ecuación de la recta, para obtener el valor Q_{10} mediante la ecuación 11:

$$t = t_0 \exp -bT$$

Ecuación 11

A la cual se le debe de eliminar el \ln como se muestra en la ecuación 12:

$$\ln t = \ln t_0 \ln \exp -bT$$

Ecuación 12

Obteniendo la fórmula 13, que nos ayudará a encontrar el valor de Q_{10}

$$\ln t = \ln t_0 - bT$$

$$Y = b + mx$$

Ecuación 13

Por lo tanto, la ecuación 14 describe que el Q_{10} lo podemos obtener con ayuda de la pendiente de la recta, b :

$$b = \frac{\ln Q_{10}}{10}$$

Ecuación 14

Despejando el $\ln Q_{10}$, obtenemos la ecuación 15:

$$\ln Q_{10} = (b)10$$

Ecuación 15

En la ecuación 16 se elimina el ln de la ecuación 15:

$$\exp^{-ln} Q_{10} = \exp(b) 10$$

Ecuación 16

Finalmente, obtenemos la ecuación 17, para calcular el valor de Q_{10} directamente:

$$Q_{10} = \exp 10(b)$$

Ecuación 17

2.12.1. Determinación de parámetros cinéticos

Para poder describir como la temperatura influye en el deterioro de los alimentos se deben de conocer parámetros cinéticos como la constante de reacción y la energía de activación, ya que no es posible determinar la constante de reacción mediante estudios cinéticos se hace necesaria la medición directa o indirecta de la concentración de A o B, dichos valores deberán ser graficados en función del tiempo y posteriormente deben ser ajustados mediante métodos gráficos o estadísticos, de esta manera se obtendrá la orden y la constante de reacción de las ecuaciones que nos ayudaran a predecir el cambio en los alimentos.

Existen dos métodos para encontrar ambos parámetros cinéticos, los cuales consisten en:

- a) **Regresión lineal:** consisten en graficar el logaritmo de la constante cinética contra el inverso de la temperatura absoluta con los cuales obtendremos el valor de la pendiente y la intercepción, posteriormente se calcula el factor pre-exponencial y la energía de activación con ayuda de la ecuación de Arrhenius, para realizar este procedimiento debe contarse con las constantes cinéticas de al menos tres temperaturas diferentes.
- b) **Regresión no lineal:** utilizada para conocer el valor de la energía de activación proveniente directamente de los datos obtenidos de la concentración con respecto del tiempo (Salinas et al, 2007).

2.13. Expresión del orden de reacción de deterioro

Las cinéticas de orden cero, uno y dos generalmente se utilizan para modelar la degradación de los alimentos, tanto para los frescos como los procesados, comúnmente las reacciones de orden cero son empleadas debido a su fácil manejo y confiabilidad de los resultados obtenidos (Guzmán et al, 2016).

El orden de la reacción se elige considerando la línea que mejor se ajuste al comportamiento de los datos, pudiendo ser de orden cero, uno o dos. (Figura 9).

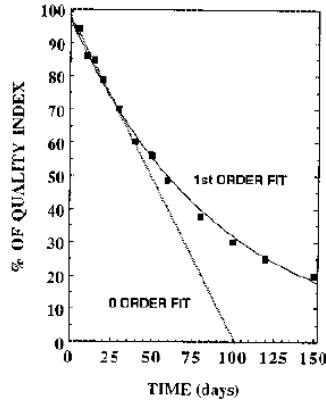


Figura 11: Diferencias entre reacciones de orden cero y uno para la pérdida de calidad de un alimento en función del tiempo.

Fuente: Valentas et al, 1997

A continuación debe de obtenerse la ecuación de la recta, y dependiendo del orden de esta se elegirá la fórmula a emplear (Tabla 8) para representar la pérdida de calidad del alimento en estudio.

Tabla 8: Ecuaciones para calcular la vida útil de un alimento de acuerdo al orden de la reacción.

Orden de reacción aparente	Función	Tiempo de vida útil
0	$A_0 - A_t$	$A_0 / (2k_0)$
1	$\ln(A_0/A_t)$	$\ln 2 / k_1$
2	$1/A_t - 1/A_0$	$1 / (k_2 A_0)$
$m (m \neq 1)$	$\frac{1}{m-1} (A_t^{1-m} - A_0^{1-m})$	$\frac{2^{m-1} - 1}{k_m (m - 1)} A_0^{1-m}$

Fuente: Valentas et al, 1997

2.10.1.2. Predicción real de la vida útil de los alimentos

Actualmente la evaluación real sobre la vida útil de los alimentos es llevada a cabo mediante diversos análisis, entre ellos se encuentran los estudios microbiológicos, físicos y químicos los cuales deben de ser relacionados con evaluaciones sensoriales para garantizar la calidad del alimento.

En años anteriores, los investigadores podían conocer la vida de anaquel de los productos basándose solo en la observación y midiendo el tiempo en que el alimento presentara alteraciones microbiológicas y sensoriales, esta técnica resultaba poco confiable debido a las diferencias en la percepción del sabor y olor por parte de los consumidores, por lo tanto se hacía necesario el uso de un gran panel de jueces para la confiabilidad de los resultados obtenidos (Fu y Labuza, 1993).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y METODOS

La fase experimental del proyecto contó con 5 etapas, que fueron: lavado de almidón de jícama, preparación del recubrimiento comestible, acondicionamiento de la fruta, aplicación del recubrimiento comestible en fresa y la evaluación de los atributos.



Figura 12: Etapas experimentales

Los reactivos, material y equipo utilizado en la presente investigación se mencionan en la tabla 9.

Tabla 9: Reactivos, material y equipo utilizado.

Reactivos	Material	Equipo
Aceite de maíz	Charolas de aluminio	Licadora industrial Tapisa T12L 3540 RPM
Aceite de maíz	Frascos	Balanza analítica Ohaus Pioneer
Ácido clorhídrico concentrado al 37%	Vaso de precipitado 2L	Centrifuga Power Spin MX Unico
Ácido sórbico	Probeta 250 ml	Colorímetro Konica Minolta CR-400
Agua destilada	Agitadores electromagnéticos	Parrilla eléctrica Thermo Cientific Cimarec.
Benzoato de sodio	Papel aluminio	
Glicerol	Gradillas	Cámara climática Binder
Hidróxido de sodio	Matraz Erlenmeyer 1L	Estufa Yamato DKN 602L
Microdyn	Pipeta 10 ml	Penetrómetro Extech FHT200
Tween 80	Espátula	Autoclave Yamato SK100C
	Sartenes de plástico	
	Mortero de ágata	

3.10. Materia prima

La fresa utilizada en esta investigación se adquirió recién cosechada proveniente del Rancho Guadalupe ubicado en ejido Huachichil, la cual fue clasificada de segunda calidad y presentaba una madurez del 90%.

El almidón de jícama utilizado en este estudio fue extraído en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI) ubicado en Yautepec, Morelos (Ilustración 1)

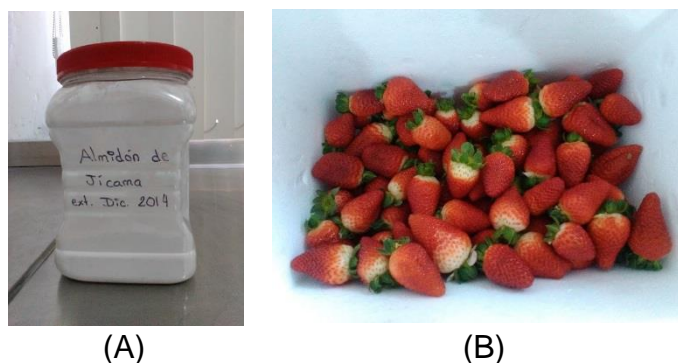


Figura 13: (A) almidón de jícama y, (B) fresas recién cosechadas.

3.11. Lavado del almidón de jícama

Se le dio un lavado de acuerdo a la metodología descrita por Lei Dai et al . (2015), que consiste en 3 lavados para la remoción de lípidos y proteínas, 1) lavado con NaOH 0.05 M, 2) lavado con HCl 0.1 M, 3) lavado con agua destilada para eliminar NaCl que pudo haberse formado con los reactivos utilizados anteriormente, cada lavado tuvo una duración de 60 minutos y estuvo en agitación constante con ayuda de un agitador electromagnético, al término de cada lavado (almidón y solución) se centrifugó a 1744 RCF durante 20 minutos y se descartó el sobrenadante, con ayuda de una micro espátula se removió la parte superior (coloración marrón) la cual contiene restos de fibra y lípidos, empleándose 400 gr de almidón por cada litro de solución.

Por último, la pasta obtenida fue colocada en una charola de aluminio y se llevó a la estufa de aire forzado a 40°C durante 24 horas, finalizado el tiempo la charola fue retirada y se observó la formación de una tableta la cual fue cortada en trozos pequeños para después ser triturada en un mortero de ágata hasta obtener un polvo fino.

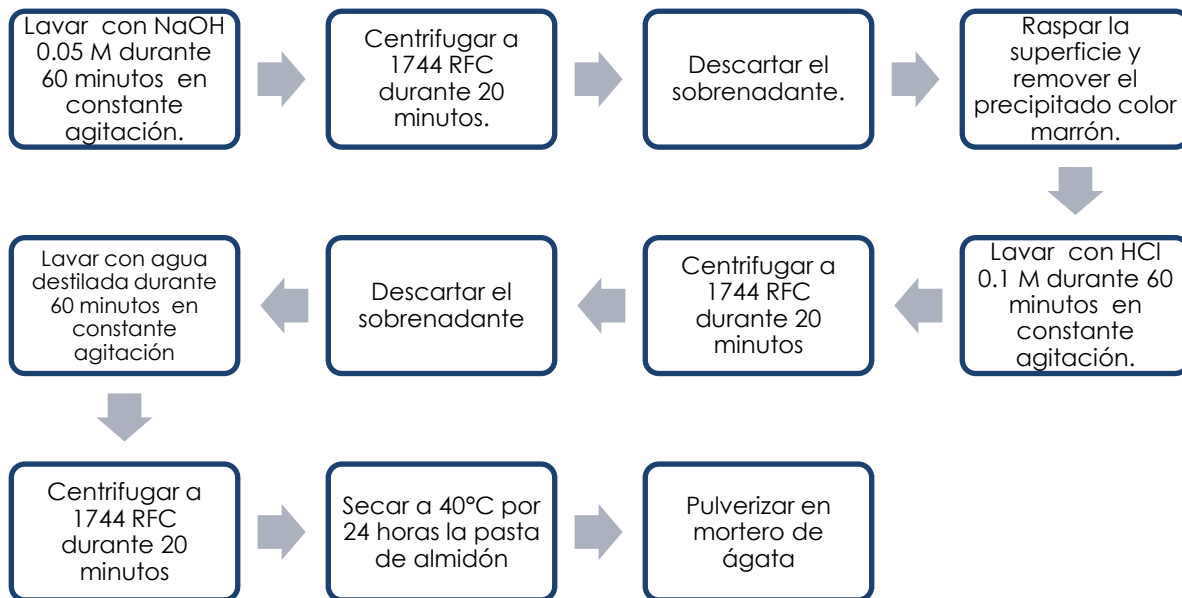


Figura 14: Procedimiento para el lavado del almidón de jícama.

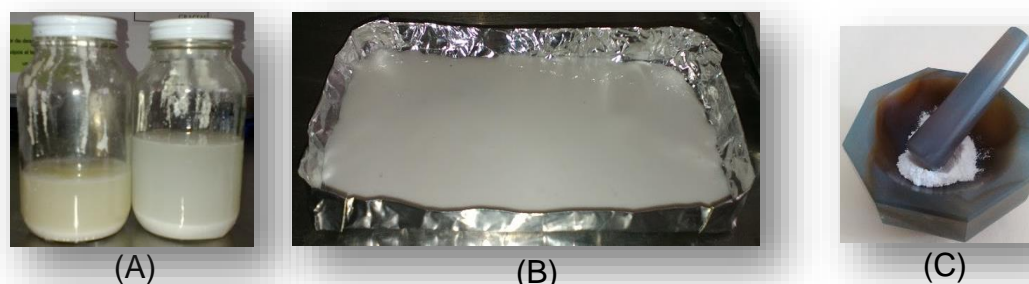


Figura 15: (A) sobrenadante después de la centrifugación con NaOH y HCl, (B) pasta de almidón, (C) pulverización de almidón de jícama en mortero de ágata.

3.12. Preparación del recubrimiento comestible

Para la obtención del recubrimiento comestible se realizó la siguiente metodología de acuerdo con Saavedra et al, 2010:

Dividir el agua a utilizarse en tres fracciones:

- 1) En una de ellas se dispersó y pre-gelatinizó el almidón de jícama (4%) en una parrilla eléctrica a 75°C durante 10 minutos, manteniendo bajo constante agitación y con la boca del recipiente cerrada.

- 2) En la segunda fracción se adicionó el glicerol (1.71%) y gota a gota se fue incorporando el almidón pre-gelatinizado manteniendo en agitación por 10 minutos.
- 3) En la parte de agua restante se agregó el Tween 80 (0.1%) y gota a gota el aceite (conc. 0.5, 1, 1.5 %) para formar la emulsión, a continuación se añadió la solución formulada anteriormente y los antimicrobianos en relación 0.05% cada uno de ácido sórbico y benzoato de sodio, por último se homogenizó 12 minutos (con intervalos) en una licuadora industrial Tapisa a 3540 rpm.

Al término de la homogenización se vertió la sustancias filmogénica en frascos de vidrio con tapa de metal y se introdujeron en un autoclave a 121° C por 30 minutos.

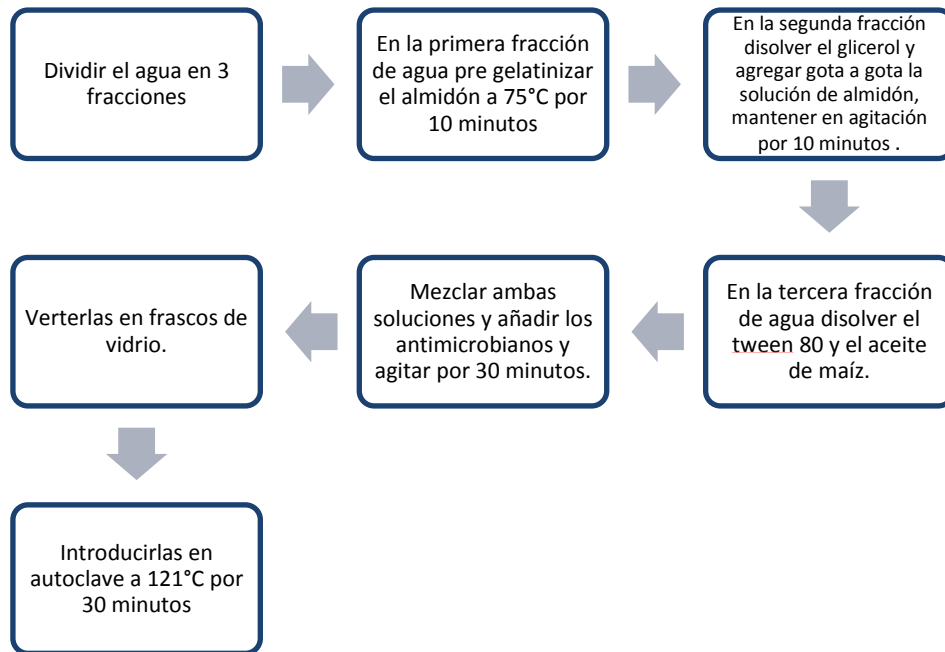


Figura 16: Preparación del recubrimiento comestible

3.13. Acondicionamiento de la fruta

Se retiró el tallo y las hojas de cada una de las fresas, posteriormente se sometieron a un lavado inicial con agua para eliminar posibles restos de tierra, se prosiguió con la desinfección de las mismas con un desinfectante comercial Microdyn (la solución se preparó de acuerdo a las instrucciones del producto), y se finalizó con el secado de la fruta en una estufa de aire forzado a 30°C durante 30 minutos.

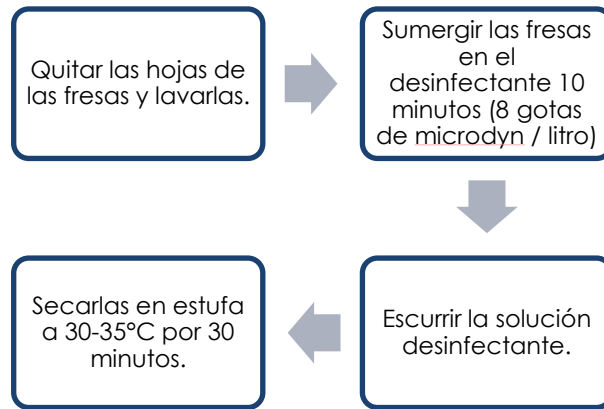


Figura 17: Acondicionamiento de la fruta.



Figura 18: (A) desinfección y, (B) secado de la fresa.

3.14. Aplicación del recubrimiento comestible

Se colocaron las soluciones filmogénicas en vasos de precipitado, en donde se sumergieron las fresas durante 1 minuto, para las fresas del tratamiento testigo se sumergieron en agua destilada para igualar las condiciones de experimentación, posteriormente se colocaron en gradillas de aluminio y se introdujeron en la estufa de aire forzado a 30-35°C por 1 hora.

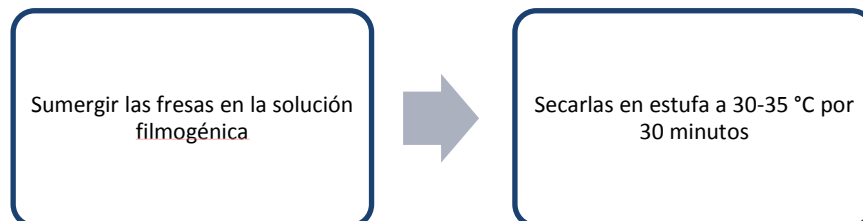


Figura 19: Procedimiento para la aplicación del recubrimiento comestible.



(A)



(B)

Figura 20: (A) aplicación de la cubierta comestible y (B) secado posterior de la fruta.

3.15. Evaluación de atributos en fresa

Se pusieron las fresas con el recubrimiento sobre una charola de aluminio y se colocaron dentro de la cámara climática a 35, 45 y 55 °C y con 60 % HR.

3.15.1. Determinación de color.

Cada hora se muestrearon 5 fresas de cada uno de los tratamientos y se realizó la medición del color con un colorímetro (Konica Minolta CR-400) en 4 puntos alrededor del ecuador de la fresa, obteniendo los parámetros L, a, b.

3.15.2. Determinación de firmeza

Con las 5 fresas utilizadas en la medición anterior se realizó la prueba de firmeza utilizando un penetrómetro con una puntilla de 3 milímetros de diámetro, tomando lecturas de 4 puntos diferentes alrededor del ecuador de la fresa, obteniendo resultados en Kg_f.

Se realizaron las mediciones de color y firmeza durante 5 horas.

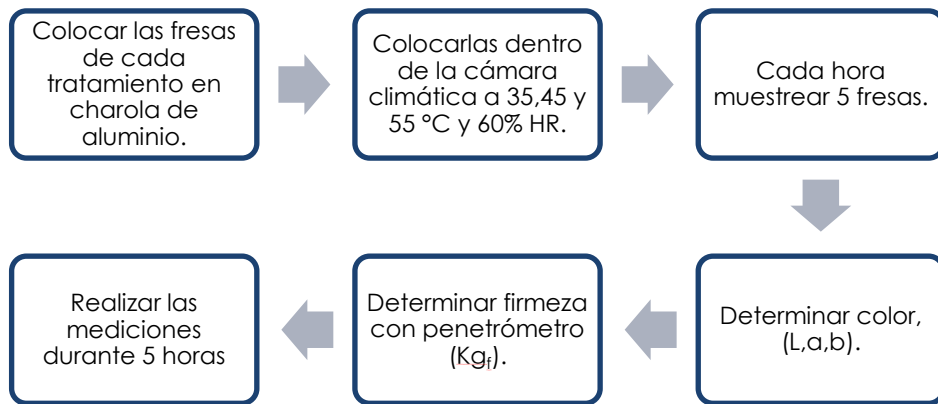


Figura 21: Evaluación de parámetros en fresa



(A)



(B)

Figura 22: (A) medición de parámetros de color y (B) firmeza a los frutos.

Los valores experimentales de los atributos, fueron graficados respecto del tiempo. Se analizó su variación mediante un análisis de regresión lineal, obteniendo la pendiente, la cual representa la velocidad de cambio del atributo de interés (K).

Se determinó utilizar el procedimiento de acuerdo al orden de reacción, que en este caso fue de orden cero, ya que la gráfica de los atributos en función del tiempo tuvo un comportamiento lineal.

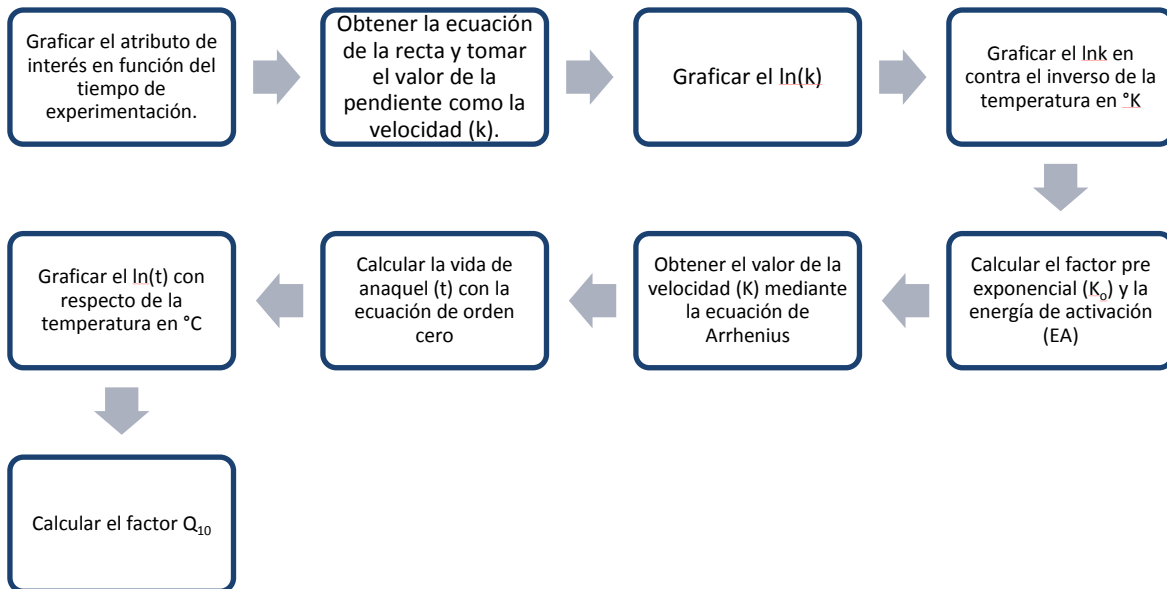


Figura 23: Procedimiento para el cálculo de la vida de anaquel y el factor Q_{10}

Para obtener la vida de anaquel a una temperatura específica basta con graficar el tiempo de vida de anaquel en función de las temperaturas experimentales en $^{\circ}\text{C}$ y obtener la ecuación de la recta en la cual se sustituirá en "x" la temperatura de interés a la que se desea conocer la vida útil.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la determinación de la vida anaquel se realizó el cálculo de la energía de activación (EA) y del factor pre exponencial (k_0), posteriormente con ayuda de la ecuación de Arrhenius se obtuvo la velocidad de deterioro (K) la cual se empleó en la determinación de la vida de anaquel para las fresas con y sin la cubierta comestible de almidón de jícama, el cálculo de los factores anteriormente mencionados se realizó para las 3 temperaturas de experimentación y las 3 concentraciones diferentes de aceite de maíz, además del testigo.

También se realizó el cálculo de factor Q_{10} , para evidenciar si la temperatura modifica la tasa de variación de las reacciones llevadas a cabo en las fresas, además de determinar el efecto protector de la cubierta de almidón de jícama frente a la temperatura.

Cabe mencionar que los tiempos de vida útil aquí presentados se manejan en horas, ya que la prueba se realizó en condiciones extremas de temperatura y humedad relativa con duración de 5 horas.

4.10. Parámetro de luminosidad (L).

Para la realización de los cálculos de vida de anaquel del atributo de luminosidad se recurrió a realizar la conversión de los datos a opacidad, el procedimiento detallado de este análisis se encuentra en el anexo 7.1.

En la tabla 9 se muestra la velocidad de deterioro, el tiempo de vida útil y el coeficiente de temperatura para las 3 concentraciones de aceite de maíz añadido a las cubiertas de almidón de jícama, evaluados en 3 diferentes temperaturas.

Tabla 10: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de opacidad.

Tratamientos	EA	k_0	Opacidad (O)							
			K			Tiempo de vida de anaquel			Q10	
			35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35-45°C	45-55°C
Testigo	4.00070	2.24095	2.24445	2.24434	2.24424	1.36336	1.36343	1.36349	1.00005	1.00005
0.50%	2.82260	0.26767	0.26797	0.26796	0.26795	11.41939	11.41978	11.42016	1.00003	1.00003
1%	3.62407	0.23261	0.23294	0.23293	0.23292	13.13657	13.13715	13.13770	1.00004	1.00004
1.50%	-13.53353	0.91220	0.90739	0.90754	0.90768	3.37232	3.37176	3.37123	0.99983	0.999844

Dichos resultados arrojaron que la velocidad de deterioro tiene una mínima reducción al aumentar la temperatura 10°C. Sin embargo, la vida de anaquel fue mayor en las fresas con cubierta con respecto del testigo.

Por lo tanto, la mayor velocidad de deterioro la obtuvo el grupo testigo con la reducción de 2.24445 grados de luminosidad por hora, y la menor velocidad la presentó el tratamiento con 1% de AM, en donde el tiempo de vida útil se incrementó 9.63 veces con respecto del testigo.

El comportamiento del factor Q_{10} se vio modificado con la presencia de la cubierta aplicada, ya que el testigo tuvo un coeficiente de 1.00005 y los 3 tratamientos evaluados se encuentran con valores inferiores a este, siendo el más bajo el de concentración de 1.5% de AM con una tasa de 0.999844.

Se deduce entonces, que las fresas sin cubierta tienden a opacarse con mayor rapidez que las que sí tienen cubierta, es decir, el efecto de la temperatura logra que estas pierdan brillo, lo cual es una característica sensorial negativa.

En una revisión realizada por Vázquez y Guerrero (2013), se menciona que los lípidos incorporados a cubiertas comestibles otorgan beneficios a la misma, entre los que se encuentran que constituyen una barrera contra la humedad, mejorar el brillo de las frutas sobre las que se aplica, además de proteger contra la oxidación.

Una investigación realizada por Moncayo (2013) en donde se aplicaron cubiertas comestibles elaboradas principalmente con dextrana y pectina en las que se incorporó aceite de canela y canola, las cuales fueron aplicadas en frutas frescas como arándano, fresa y feijoa, se observó el que las frutas cubiertas presentaron mayor aceptación a causa de una mejor apariencia y brillo con respecto de las frutas testigo sin cubierta.

4.11. Parámetro de cromaticidad rojo (a)

En la tabla 10 se muestra la velocidad de disminución del atributo de cromaticidad rojo por efecto de la temperatura, además del tiempo de vida útil y el coeficiente de temperatura para la variedad de concentraciones de aceite de maíz añadido a las cubiertas de almidón de jícama.

Tabla 11: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de cromaticidad (a).

Cromaticidad (a)										
Tratamientos	EA	k_0	K			Tiempo de vida de anaquel			Q_{10}	
			35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35-45°C	45-55°C
Testigo	0.66013	1.22079	1.22111	1.22110	1.22109	7.22044	7.22050	7.22056	1.00001	1.00001
0.50%	0.47972	0.73646	0.73660	0.73659	0.73659	11.96980	11.96987	11.96994	1.00001	1.00001
1%	-5.31597	3.67370	3.66608	3.66632	3.66655	2.40500	2.40484	2.40470	0.99993	0.99994
1.50%	-3.43036	2.31290	2.30980	2.30990	2.30999	3.81719	3.81703	3.81688	0.99996	0.99996

Los resultados obtenidos demuestran que las fresas testigo pierden con mayor rapidez el color rojo característico de las fresas, con un valor de 1.22111 cromas por hora, mientras que la menor pérdida de color la presentaron las cubiertas con 0.5% de AM.

En relación al análisis anterior se mostró que la vida de anaquel para el tratamiento con 0.5% de aceite fue de 1.65 veces más que el tratamiento testigo.

En la fase de experimentación se observó que las fresas con el paso del tiempo y debido a la exposición a condiciones extremas de temperatura y humedad comenzaron a desprender el agua contenida en ellas, en donde se apreció la disolución del color. Por lo que puede atribuirse que las cubiertas empleadas tienen un efecto regulados sobre la permeabilidad que no permite la introducción del vapor de agua en forma de humedad, por lo tanto las fresas sin cubierta son las que más color perdieron, lo cual concuerda con los valores de velocidad de pérdida del color rojo obtenidos en este estudio.

Con respecto al coeficiente de temperatura, este no muestra diferencias considerables entre cada tratamiento y cada incremento de la temperatura, lo que significa que no existen reacciones químicas o biológicas en el fruto que degraden los pigmentos responsables de otorgar el color rojo. Por lo que disminución de color se debe al efecto de la temperatura sobre la superficie de los frutos.

Un estudio realizado por Restrepo et al (2009) en donde se aplicó una cubierta elaborada a partir de gel mucilaginoso de penca de sábila y cera de carnauba en fresas se encontró que dicha cubierta protegió la superficie manteniendo el color rojo, Restrepo expresa que dicho efecto protector se debe a que la cubierta actúa como barrera selectiva, además de minimizar el efecto del oxígeno sobre el fruto evitando así reacciones de oxidación que provocan el oscurecimiento de las fresas.

Además se habla que el espectro colorímetro empleado para la medición de color detectó variaciones en los parámetros L, a y b, sin embargo estas diferencias no son detectables por el ojo humano, ya que se realizó un análisis sensorial de las fresas cubiertas.

En un trabajo realizado por Pastor y Ortolá (2005), se evaluó el efecto de una cubierta comestible elaborada a partir de un derivado de celulosa aplicada en fresas, en donde se analizó el pH, °Brix, color, textura y luminosidad, en dicho estudio se encontró que las fresas cubiertas mantuvieron sus características fisicoquímicas, mientras que el color rojo y amarillo disminuyó además se detectó que el atributo de luminosidad incremento con respecto al grupo testigo.

4.12. Parámetro de cromaticidad amarillo (b)

En la tabla 11 se aprecia la velocidad de pérdida del atributo de cromaticidad que va desde las tonalidades amarillas a las naranjas, además de mostrar la vida de anaquel de dicho atributo.

Tabla 12: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de cromaticidad (b).

Cromaticidad (b)										
Tratamientos	EA	k_0	K			Tiempo de vida de anaquel			Q10	
			35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35-45°C	45-55°C
Testigo	5.60946	0.24268	0.24322	0.24320	0.24318	27.85025	27.85217	27.85398	1.00007	1.00006
0.50%	2.55905	0.33234	0.33267	0.33266	0.33265	20.36125	20.36189	20.36249	1.00003	1.00003
1%	-3.80864	1.92688	1.92401	1.92410	1.92419	3.52056	3.52040	3.52024	0.99995	0.99996
1.50%	-0.72748	1.13496	1.13464	1.13465	1.13466	5.96982	5.96977	5.96972	0.99999	0.99999

La relación del color naranja o amarillo con los frutos estudiados se debe a que la fresa al estar en condiciones extremas de temperatura y humedad, comienzan a eliminar agua del interior, conteniendo en ella gran parte de los pigmentos rojos, a consecuencia de esto, las fresas cambian de un color rojo intenso a naranja.

Es por esta razón que se determinó el parámetro (b), en los resultados encontramos que la mayor velocidad de deterioro corresponde al tratamiento con 1% de AM, por otra parte, el tratamiento que menormente se ve afectado por la temperatura para este parámetro es el testigo, el cual presenta una disminución de 0.24268 cromas por horas. Seguido de este tratamiento encontramos que el de concentración de 0.5% también presentó una de las velocidades más bajas, sin embargo, este tuvo una vida útil de 0.73 veces, por lo que se encuentra por debajo de la vida útil del testigo, sin embargo, concuerda con la concentración que mejor conserva el color rojo, siendo esta la de 0.5% de aceite de maíz.

El valor del factor Q_{10} demuestra que la tasa de las reacciones químicas y biológicas de la fresa son estables para los tratamientos testigo y con 0.5% de AM, mientras que el coeficiente se reduce a la concentración de 1% de AM.

En un informe técnico realizado por Álvaro Peña (2006), menciona que los pigmentos responsables de otorgar el color rojo de los frutos son las antocianinas, las cuales se encuentran en las vacuolas cercanas al área de la epidermis de los frutos, estos pigmentos al encontrarse en pH bajo se encuentran en forma de catión flavilio, pero al incrementar el pH esta forma cambia a una forma química llamada base quinoidal y pseudobase carbinol, en donde una produce la coloración violeta y la otra es completamente incolora. Al existir un incremento en la temperatura la pseudobase cambia su estructura a calcona, la cual presenta tonos amarillos.

Por lo tanto la modificación de antocianinas a calconas por efecto de la temperatura genera el cambio gradual desde tonalidades rojas a amarillas, pasando por los tonos naranjas.

4.13. Parámetro de firmeza (Kgf).

En la tabla 12 se presentan el cambio de firmeza en los frutos de fresa con y sin cubierta evaluadas en condiciones extremas de temperatura y humedad.

Tabla 13: Estimación de velocidad de deterioro, vida de anaquel y factor Q_{10} para el parámetro de firmeza (Kgf).

Firmeza (Kgf)										
Tratamientos	EA	ko	K			Tiempo de vida de anaquel			Q10	
			35°C	45°C	55°C	35°C	45°C	55°C	35-45°C	45-55°C
Testigo	-8.50356	0.04429	0.04415	0.04415	0.04416	0.83810	0.83801	0.83793	0.99990	0.99990
0.50%	-8.00804	0.05476	0.05459	0.05459	0.05428	0.67780	0.67773	0.68169	0.99990	1.00584
1%	-7.32547	0.04048	0.04036	0.04037	0.04008	0.91670	0.91662	0.92306	0.99991	1.00703
1.50%	-11.04016	0.08232	0.08196	0.08197	0.08169	0.45143	0.45137	0.45293	0.99986	1.00344

De acuerdo con los valores, se encontró que la cubierta con 1% fue la que mejor protegió la firmeza de las fresas del efecto de la temperatura, con un valor de 0.04036 Kg_f/hora en el cual se obtuvo una vida de anaquel 1.093 veces más con respecto del tratamiento testigo, el tratamiento que presentó mayor tiempo de pérdida de la firmeza fue el de 1.5% de AM, el cual tuvo un valor de 0.08196 Kg_f/hora con un tiempo de anaquel de 0.53 veces menos que el testigo.

Referente al factor Q_{10} se observa que este cambia su ritmo para las 3 concentraciones de aceite al aumentar 10°C la temperatura, lo que significa que las condiciones de temperatura y humedad relativa aceleraron la degradación de la superficie, logrando también que el agua del interior saliera de la estructura frutal y a consecuencia de esto la fruta se ablandara.

En una publicación realizada por Kader (1992), se explica que la pérdida de agua se debe a la diferencia de la presión de vapor entre las frutas y el medio que las

rodea, menciona también que la velocidad de aireación y el incremento de la temperatura son factores que propician la pérdida de agua, ya que se favorece la sudoración de los frutos, además se puede lograr la condensación del vapor de agua en la superficie de los mismos.

Un experimento realizado por Ayola et al (2011) en donde se trabajó con una cubierta formulada con alginato, cloruro de calcio, ácido ascórbico y glicerol aplicada en fresa, se halló que la cubierta redujo la pérdida de humedad y la respiración, además de mantener atributos de calidad como color y firmeza hasta por 25 días en almacenamiento.

Cabe mencionar que los valores de vida de anaquel aquí mostrados son parte de una predicción realizada mediante el modelo matemático de Arrhenius, el cual es uno de los métodos más confiables para describir la pérdida de atributos en los alimentos, sin embargo, al llevar a cabo la experimentación debido al exceso de humedad, temperatura y naturaleza del fruto se dificultó la medición de los parámetros, por lo que esta metodología no considera un cierto grado de error como las pruebas estadísticas. Además, los tratamientos son comparados con respecto del comportamiento del testigo.

Considerando los resultados obtenidos en esta investigación, se determinó que la concentración adecuada para mantener estables los parámetros de luminosidad, color y firmeza es la de 1% de aceite de maíz.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

Se logró aplicar la cubierta de almidón en la superficie de la fresa recién cosechada, para posteriormente evaluar el comportamiento de sus atributos de calidad como lo son color, luminosidad y firmeza, en donde se encontró que las reacciones de deterioro propias del fruto se mantuvieron estables con el incremento de 10°C.

También se encontró que la adición de la fase lipídica a la formulación de la cubierta tuvo un efecto benéfico al otorgar mayor luminosidad a los frutos con respecto de las fresas sin cubierta, estableciendo la concentración de 1% de AM óptima para este atributo.

Con respecto a los parámetros de color, se encontró que las cubiertas protegen a la fresa del efecto de la temperatura y humedad relativa, reduciendo la velocidad de degradación de las antocianinas responsables del color rojo, definiendo la cubierta con 0.5% de AM como la mejor con respecto del testigo.

En cuanto a la firmeza se encontró que el exceso de humedad relativa al exterior del fruto propicio que este eliminará el agua de su interior, por lo que la cubierta que mejor controló este fenómeno fue la de 1% de AM.

El empleo de la cubierta comestible para la mayoría de las variables evaluadas tuvo un efecto favorable, sin embargo, las condiciones de humedad, temperatura y naturaleza del fruto empleado dificultaron la medición de las variables, por lo que se recomienda ejecutar un estudio con la aplicación de esta cubierta a base de almidón de jícama en otras variedades de frutos y en condiciones menos drásticas de temperatura y humedad, además de evaluar el efecto de los antimicrobianos añadidos a la formulación.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

- Alcántara M.L.,2009, Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado, Universidad Politécnica de Valencia, España, Tesis de doctorado, 7-53
- Alexander G.C., 2002, El cultivo de la fresa en el oriente antioqueño, IV seminario nacional frutales de clima frio moderado, Medellín, Colombia, pp. 61-74
- Almeida A., Reis J.D., Santos D. et al, 2011, Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles, Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Sergipe, Brasil, Vol. 2, N° 1, pp. 49-60
- Artes F., 2006, El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco, Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Hermosillo, México, Vol. 7, N° 002, pp. 61-85
- Ávila R., López A., 2008, Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles, Temas selectos de ingeniería de alimentos, Puebla, México, Vol. 2, N° 2, pp.5-7
- Ayola et al, 2011, Uso de recubrimiento a base de alginato y su efecto en la calidad de la fresa (*Fragaria ananasa*) Cv. Camarosa, Ciencia y tecnologia alimentaria, Pamplona, España, Vol. 9, N°1, pp.23-30
- Baraona M., Sancho E., 1998, Fruticultura especial (Manzana, Melocotón, Fresa y Mora), San José, Costa Rica, Editorial EUNED, pp. 84-115
- Barreiro J.A.,Sandoval A.J, 2006, Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas Caracas, Venezuela, Editorial Equinoccio, pp. 14
- Bósques E., Vernon E.J., 2005 ,Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas en base a goma de mezquite y cera de candelilla, Revista mexicana de ingeniería química, México, D.F., Vol. 4, N° 2, pp. 157-162

- Bourtoom T., 2008, Edible films and coatings: characteristics and properties, International food research journal, Songkhla, Tailandia, Vol. 15, N°3, 237-248
- Cerqueira M.A., Souza B.W., Texeira J.A., et al, 2012, Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films a comparative study., Food hydrocolloids, Braga, Portugal, Vol. 27, pp.175-184
- Domínguez M.F., Jiménez M.T., 2012, Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones, Temas selectos de ingeniería de alimentos, Puebla, México, Vol. 6, N°2, pp.110-121
- Dai L., Qiu C., Xiong L., 2015, Characterisation of corn starch-based films reinforced with taro starch nanoparticles, Food chemistry, Qingdao, China, Vol. 174, pp. 82-88
- Enríquez M., Velasco R., Ortiz V., 2012, Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón, Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, Cauca, Colombia, Vol. 10, N°1, pp.182-192
FAO, 2000, Manual de manejo poscosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos), <http://www.fao.org/3/a-ac304s.pdf>, pp1-9, 28 Octubre 2016
- Fanjul M.L., Hiriart M., 2008, Biología funcional de los animales, Siglo XXI, México, D.F., pp.55-86.
FAO, 1987, Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas, (Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles), <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm>, 22 Octubre 2016
- FAO, 1989, Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas, (Mercadeo de producidos frescos y pérdidas poscosecha), <http://www.fao.org/docrep/x5056s/x5056S07.htm>, 25 Octubre 2016
- FAO, 1993, Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos, Roma, Italia, pp.113
- Fu B., Labuza T.P., 1993, Shelf-life prediction: Theory and application, Food control Moinnesota, E.U.A., Vol. 4, N°3, pp.125-133
- García C., Molina M.E., 2008, Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas, Revista de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Vol. 18, N°12, pp. 57-64

- García M.A., 2008, Películas y cubiertas de quitosano en la conservación de vegetales, Revista Ciencia y Tecnología de Alimentos, La Habana, Cuba, Vol. 18, N° 1, pp.71-76
- Guzmán L.E., Martínez D.P., Martínez D.E., 2016, Estudio de la vida útil de jamón de cerdo mediante pruebas aceleradas, Revista Interciencia, Cartagena, Colombia, Vol. 41, N° 7, pp. 488
- Hortalizas, 2015, México es el tercer productor más importante de fresas en el mundo
<http://www.hortalizas.com/cultivos/fresas-moras/mexico-es-ahora-el-tercer-productor-mas-importante-de-fresas-en-el-mundo/>, 18 Octubre 2016.
- Kader A., 1992, Biología y tecnología de poscosecha, Universidad de California, pp. 311-324
- López G., 2002, Técnicas de manejo pos cosecha a pequeña escala: manual para los productos hortofrutícolas (4a edición), Universidad de Davis, California, pp. 3-5, <http://www.fao.org/Wairdocs/X5403S/X5403S00.htm>, 1 Noviembre 2016
- López M.A., Ruiz S., Navarro C., et al, 2012, Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas, Revista de Ciencia Biológicas y de la Salud, Sonora, México, Vol.14, N° 1,33-43
- Moncayo D.C., 2013, Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolímero para prolongar la vida útil de frutas frescas, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, Tesis Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos, pp.51
- Ocampo J.A., 2003, Determinación de la vida de anaquel de café soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto, Universidad Nacional de Colombia, Caldas, Colombia, Tesis de licenciatura, pp. 18-29
- Pamplona R., 2007, El poder medicinal de los alimentos, Editorial Safeliz, Madrid, España., pp. 93-122
- Panorama de la fresa, 2015, Dirección general adjunta de planeación estratégica, análisis sectorial y tecnologías de la información,

<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Fresa.pdf>, 15 Octubre 2016.

- Pastor y Ortolá, 2005, Aplicación de films comestibles en fresones (*Fragaria* spp.), de la variedad ventana, Universidad Politécnica de Valencia, España, pp. 223-226.
- Pazanese M., 2016, Tecnologías para la industria alimentaria: películas y recubrimientos comestibles, Alimentos Argentinos minAgri, Argentina, Ficha N°7, pp. 1-11
- Peña A., 2006, El color de los vinos (Informe técnico), Revista Vendimia, pp. 24-25
- Posada J.A., Cardona C.A., 2010, Análisis de la refinación de glicerina obtenida como coproducto en la producción de biodiesel, Ingeniería Universidad de Bogotá, Colombia, Vol. 14, N°1, pp.9-27
- Quintero C.J., Falguera V., Muñoz H.A., 2010, Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola, Revista Tumbaga, Ibagué, Colombia, Vol. 5, pp. 93-118
- Ramos M.L., Bautista S., Barrera L.L., 2010, Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas, Revista mexicana de Fitopatología, Morelos, México, Vol. 28. N° 1, pp. 44- 57
- Restrepo J.I., Aristizábal I.D., 2010, Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Medellín, Colombia, Vol. 17, N° 3, pp. 252-263
- Rolz C., 2011, Fisiología post cosecha de frutas, Compendio de características de calidad, condiciones de almacenamiento, sensibilidad al frío, maduración y desórdenes fisiológicos, Revista de la Universidad del Valle de Guatemala, N°23, pp. 23-34
- Rondon E., Pacheco E., Ortega F., 2004, Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q_{10} , Revista de la facultad de agronomía, Vol. 21, pp. 68-83

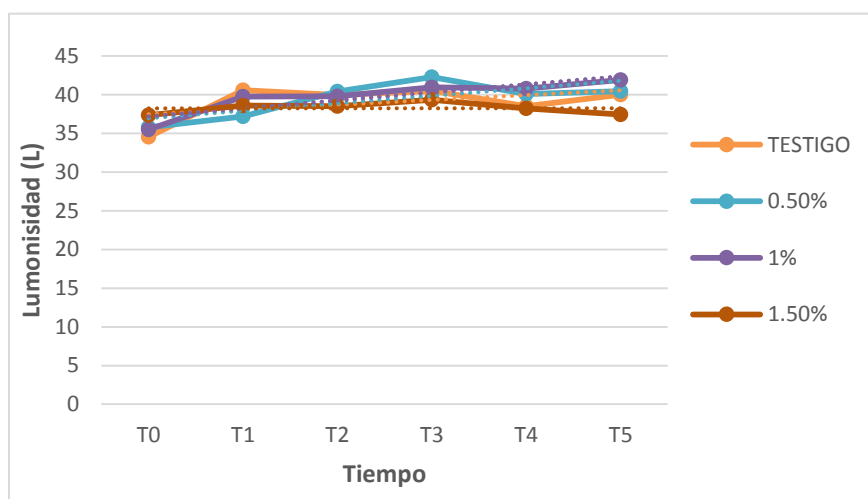
- Ruelas X., Reyes M., Valdivia B., et al, 2013, Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles, Revista científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, México, Vol. 5, N°9, 31-37
- Saavedra N., Algecira N.A., 2010, Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas, NOVA Publicación Científica en ciencias biomédicas, Bogotá, Colombia, Vol.8, N° 14, pp. 171-182
- Salinas R.M., González G.A., Pirovani M.E., Ulín F., 2007, Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados, Universidad y ciencia Trópico húmedo, Sonora, México, Vol. 23, N°2, pp. 183-196
Secretaría de economía (NMX-FF-062-SCFI-2002), http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/90/NMX_FRESA.pdf, 7 Noviembre 2016
- Servicio de Información Agrícola y Pesquera, 2015, http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp, 17 Octubre 2016
- Téllez C.P., Fisher G., Quintero O.C., 2007, Comportamiento físico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas, Revista Colombiana de ciencias hortícolas., Bogotá, Colombia, Vol. 1, N° 1, pp. 67-80
- Valentas K.J., Rotstein E., Singh R.P., 1977, Handbook of food engineering practice New York, E.UA., pp. 366-408
- Vázquez M., Guerrero J.A., 2013, Recubrimientos de frutas con biopelículas, Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, Puebla, México, Vol.7, N° 2, pp.5-14

CAPITULO VII

7. ANEXOS

7.1. Procedimiento para calcular la vida de anaquel y el factor Q_{10} del parámetro de luminosidad (L) a las temperaturas de 35,45 y 55°C con 60% HR.

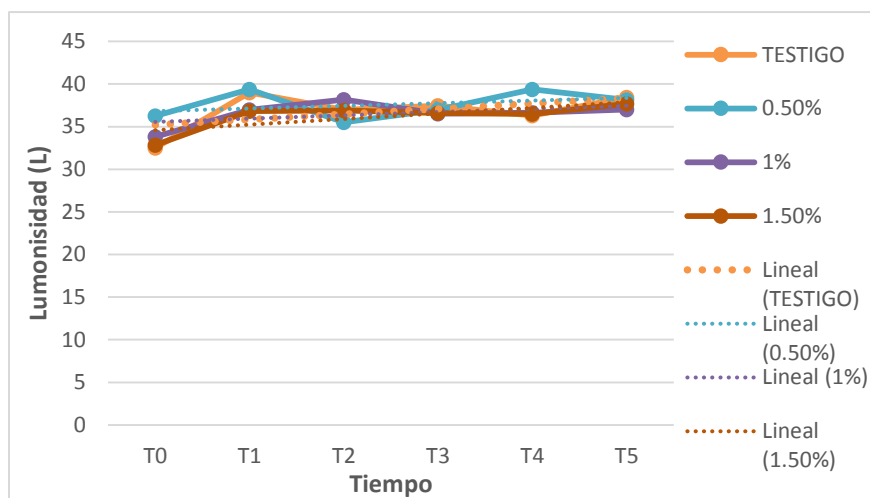
7.1.1. Comportamiento del parámetro de luminosidad (L) en función del tiempo a 35°C y 60% HR.



7.1.2. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la luminosidad en función del tiempo para todos los tratamientos a 35°C y 60%HR.

Luminosidad (L)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	0.6182
0.50%	0.9682
1%	1.0349
1.50%	0.0016

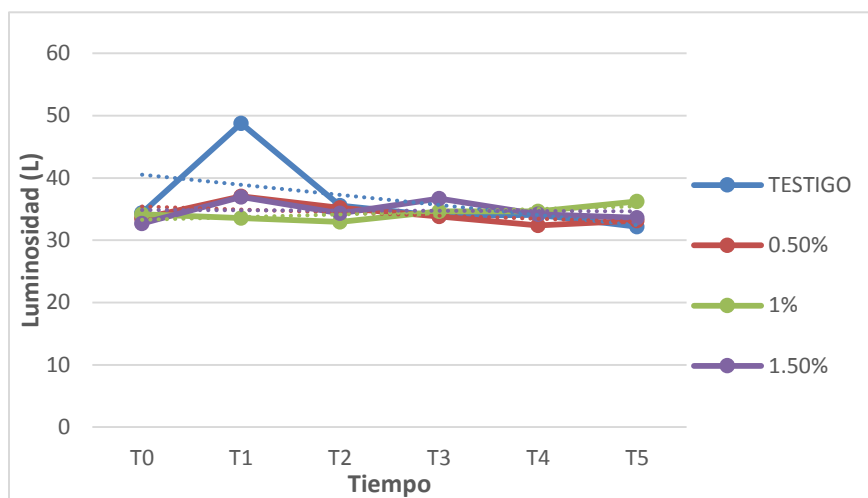
7.1.3. Comportamiento del parámetro de luminosidad (L) en función del tiempo a 45°C y 60% HR.



7.1.4. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la luminosidad en función del tiempo para todos los tratamientos a 45°C y 60%HR.

Luminosidad (L)	
Tratamiento	Pendiente
Testigo	0.627
0.50%	0.3093
1%	0.3842
1.50%	0.6552

7.1.5. Comportamiento del parámetro de luminosidad (L) en función del tiempo a 55°C y 60% HR.



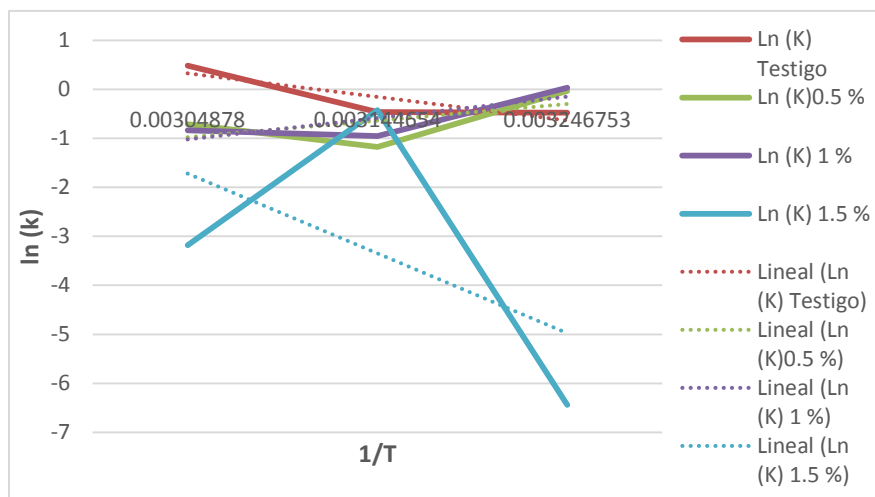
7.1.6. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la luminosidad en función del tiempo para todos los tratamientos a 55°C y 60%HR.

Luminosidad (L)	
Tratamiento	Pendiente
Testigo	-1.6183
0.50%	-0.491
1%	0.4328
1.50%	0.0415

7.1.7. Tabla concentrada de valores de (k) y cálculo del ln de las mismas.

Luminosidad (L)									
Condiciones experimentales	Testigo	Concentración de aceite			1/T	ln (k) Testigo	ln (k) 0.5 %	ln (k) 1 %	ln (k) 1.5 %
		0.50%	1%	1.50%					
35°C y 60 %HR	0.618	0.968	1.035	0.002	0.003	-0.481	-0.032	0.034	-6.438
45°C y 60% HR	0.627	0.309	0.384	0.655	0.003	-0.467	-1.173	-0.957	-0.423
55°C y 60% HR	1.618	0.491	0.433	0.042	0.003	0.481	-0.711	-0.837	-3.182

7.1.8. Grafica del ln (k) con respecto del inverso de la temperatura (1/T).



7.1.9. Valor de la ordenada al origen y de la pendiente, empleadas para el cálculo del factor pre exponencial (K_0) y la energía de activación (EA).

Tratamientos	m	b	K_0	EA
Testigo	0.48120	0.80690	2.24095	4.00070
0.50%	0.33950	-1.31800	0.26767	2.82260
1%	0.43590	-1.45840	0.23261	3.62407
1.50%	-1.62780	-0.09190	0.91220	-13.53353

7.1.10. Valores de la velocidad de deterior obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para el parámetro de luminosidad (L).

Tratamientos	K _{35°C}	K _{45°C}	K _{55°C}
Testigo	2.24445	2.24434	2.24424
0.50%	0.26797	0.26796	0.26795
1%	0.23294	0.23293	0.23292
1.50%	0.90739	0.90754	0.90768

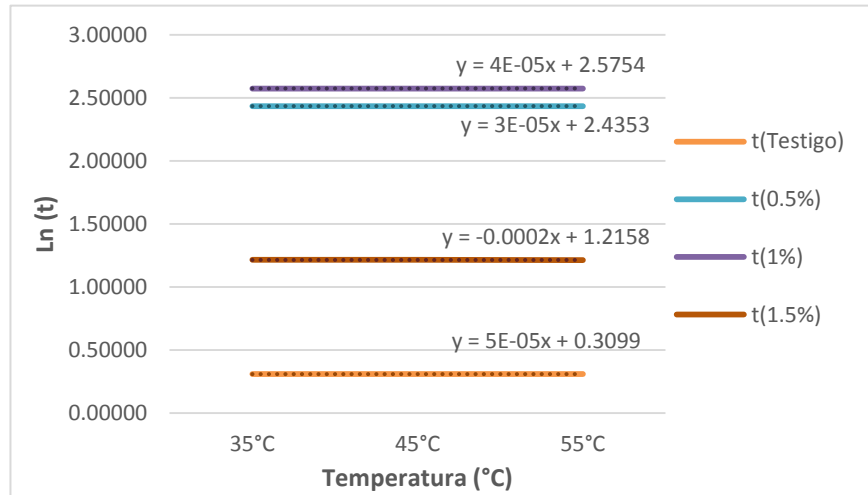
7.1.11. Tiempo de vida de anaquel (t) de la fresa para el parámetro de luminosidad (L).

Temperatura	Tiempo (Testigo)	Tiempo (0.5%)	Tiempo (1%)	Tiempo (1.5%)
35°C	1.36336	11.41939	13.13657	3.37232
45°C	1.36343	11.41978	13.13715	3.37176
55°C	1.36349	11.42016	13.13770	3.37123

7.1.12. Calculo del ln (t) para el parámetro de luminosidad.

ln				
Temperatura	t _(Testigo)	t _(0.5%)	t _(1%)	t _(1.5%)
35°C	0.30995	2.43531	2.57540	1.21560
45°C	0.31000	2.43535	2.57544	1.21543
55°C	0.31005	2.43538	2.57549	1.21528

7.1.13. Grafica del ln (t) con respecto de la temperatura.



7.1.14. Valor de la ordenada al origen y de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

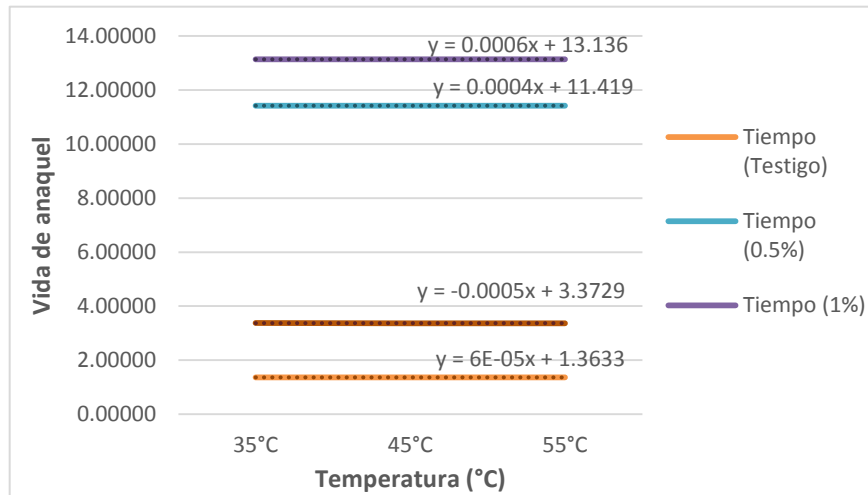
Tratamientos	m	b	Q_{10}
Testigo	5.00E-05	0.3099	1.0005
0.50%	3.00E-05	2.4353	1.0003
1%	4.00E-05	2.5754	1.0004
1.50%	-2.00E-04	1.2158	0.99800

7.1.15. Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

7.1.16.

Luminosidad (L)		
Tratamiento	Temperaturas	Q_{10}
Testigo	35-45 °C	1.00005
	45-55°C	1.00005
0.50%	35-45 °C	1.00003
	45-55°C	1.00003
1.00%	35-45 °C	1.00004
	45-55°C	1.00004
1.50%	35-45 °C	0.99983
	45-55°C	0.99984

7.1.17. Grafica del tiempo de vida de anaquel (t) en función de la temperatura para el parámetro de luminosidad.

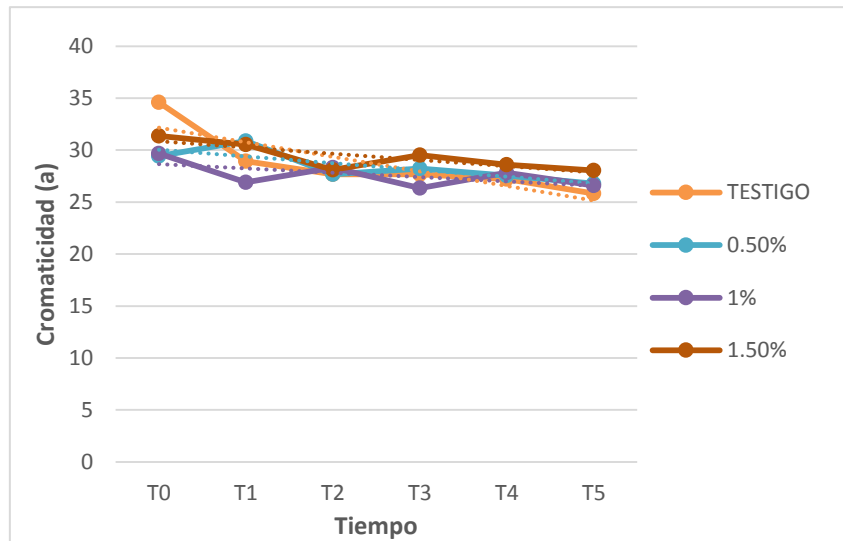


7.1.18. Ecuación para calcular la vida de anaquel del parámetro luminosidad (L) a una temperatura específica en condiciones de humedad del 60% para cualquiera de los tratamientos estudiados en esta investigación.

Luminosidad (L)	
Tratamiento	Ecuación
Testigo	$y = 6E-05x + 1.3633$
0.50%	$y = 0.0004x + 11.419$
1%	$y = 0.0006x + 13.136$
1.5	$y = 0.0005x + 3.3729$

7.2. Procedimiento para calcular la vida de anaquel y el factor Q10 del parámetro de cromaticidad (a) en temperaturas de 35,45 y 55°C con 60% HR.

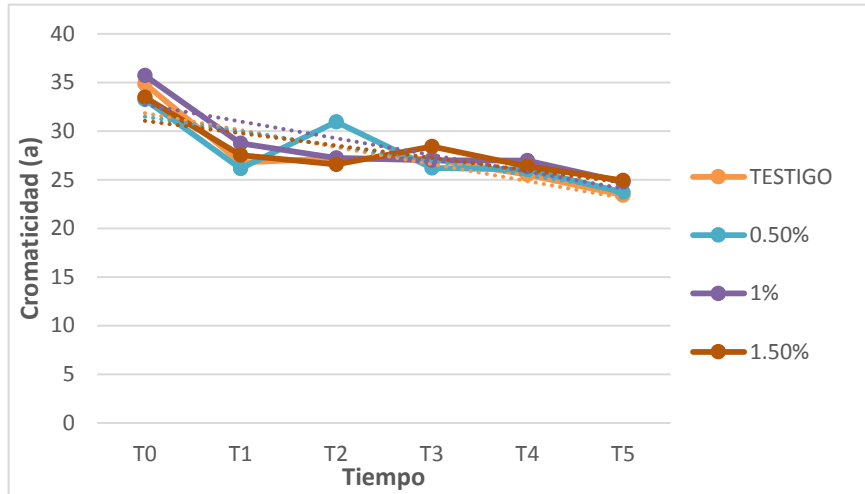
7.2.1. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (a) en función del tiempo a 35°C y 60% HR.



7.2.2. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la cromaticidad (a) en función del tiempo para todos los tratamientos a 35°C y 60%HR.

Cromaticidad (a)	
Tratamiento	Pendiente
Testigo	-1.4023
0.50%	-0.6489
1%	-0.4156
1.50%	-0.5996

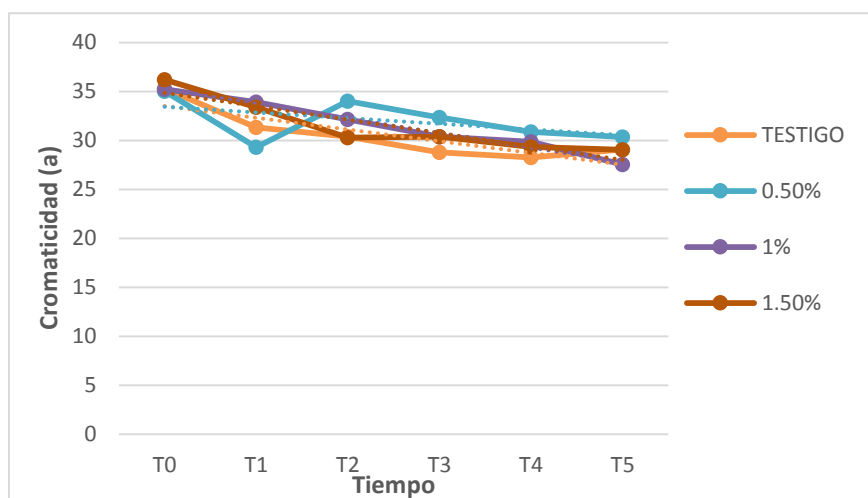
7.2.3. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (a) en función del tiempo a 45°C y 60% HR.



7.2.4. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la cromaticidad (a) en función del tiempo para todos los tratamientos a 45°C y 60%HR.

Cromaticidad (a)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-1.747
0.50%	-1.5047
1%	-1.723
1.50%	-1.2683

7.2.5. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (a) en función del tiempo a 55°C y 60% HR.



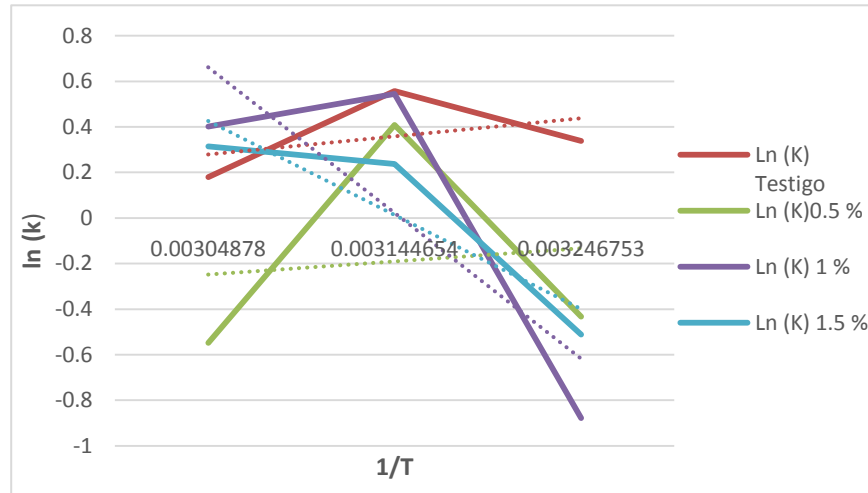
7.2.6. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la cromaticidad (a) en función del tiempo para todos los tratamientos a 55°C y 60%HR.

Cromaticidad (a)	
Tratamientos	Pendiente
testigo	-1.1963
0.50%	-0.5782
1%	-1.4931
1.50%	-1.3685

7.2.7. Tabla concentrada de valores de (k) y cálculo del ln de las mismas.

Cromaticidad (a)									
Condiciones experimentales	Testigo	Concentración de aceite			1/T	Ln (k) Testigo	Ln (k) 0.5 %	Ln (k) 1 %	Ln (k) 1.5 %
		0.50%	1%	1.50%					
35°C y 60 %HR	1.402	0.649	0.416	0.600	0.003	0.338	-0.432	-0.878	-0.511
45°C y 60% HR	1.747	1.505	1.723	1.268	0.003	0.558	0.409	0.544	0.238
55°C y 60% HR	1.196	0.578	1.493	1.369	0.003	0.179	-0.548	0.401	0.314

7.2.8. Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



7.2.9. Valor de la ordenada al origen y de la pendiente, empleadas para el cálculo del factor pre exponencial (k_0) y la energía de activación (EA).

Tratamientos	m	b	K_0	EA
Testigo	0.07940	0.19950	1.22079	0.66013
0.50%	0.05770	-0.30590	0.73646	0.47972
1%	-0.63940	1.30120	3.67370	-5.31597
1.50%	-0.41260	0.83850	2.31290	-3.43036

7.2.10. Valores de la velocidad de deterior obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para el parámetro de cromaticidad (a).

Tratamientos	$K_{35^\circ\text{C}}$	$K_{45^\circ\text{C}}$	$K_{55^\circ\text{C}}$
Testigo	1.22111	1.22110	1.22109
0.50%	0.73660	0.73659	0.73659
1%	3.66608	3.66632	3.66655
1.50%	2.30980	2.30990	2.30999

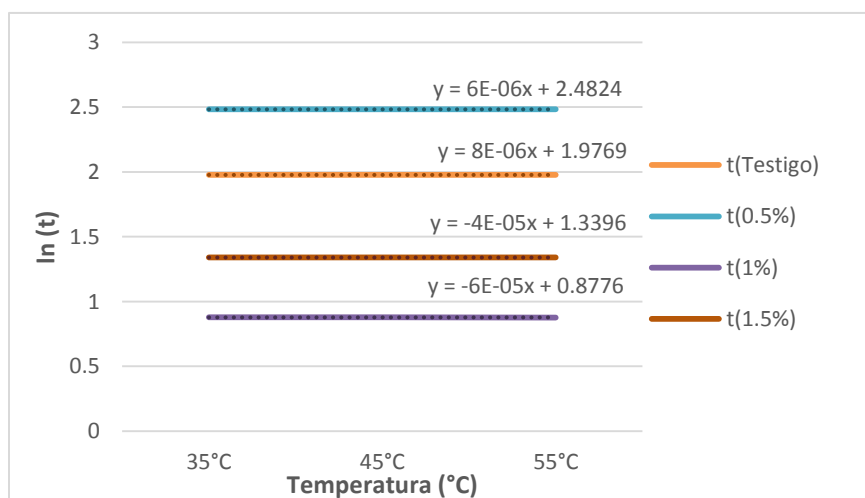
7.2.11. Tiempo de vida de anaquel (t) de la fresa para el parámetro de cromaticidad (a).

Temperatura	Tiempo (Testigo)	Tiempo (0.5%)	Tiempo (1%)	Tiempo (1.5%)
35°C	7.22044	11.96980	2.40500	3.81719
45°C	7.22050	11.96987	2.40484	3.81703
55°C	7.22056	11.96994	2.40470	3.81688

7.2.12. Calculo del $\ln(t)$ para el parámetro de cromaticidad (a).

ln				
Temperatura	t(Testigo)	t(0.5%)	t(1%)	t(1.5%)
35°C	1.9769163	2.482387	0.87755	1.339514
45°C	1.9769244	2.482393	0.877485	1.339472
55°C	1.976932	2.482398	0.877424	1.339432

7.2.13. Grafica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura



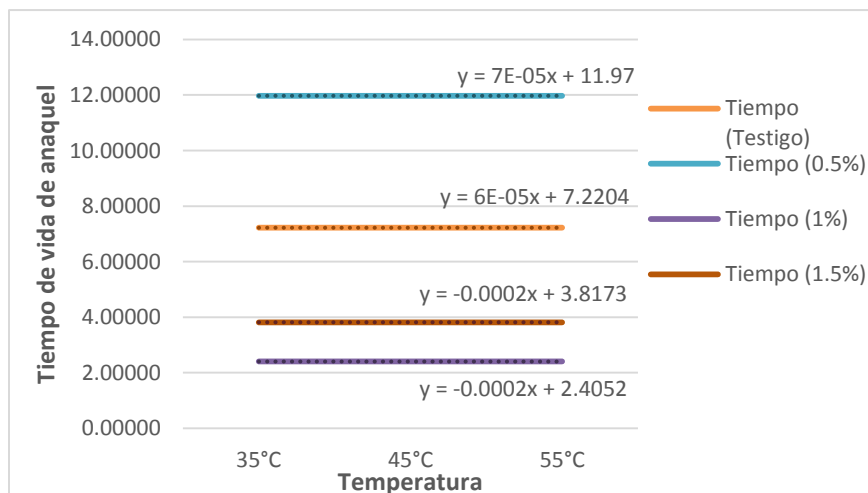
7.2.14. Valor de la ordenada al origen y de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

Tratamientos	m	b	Q_{10}
Testigo	8.00E-06	1.9769	1.00008
0.5%	6.00E-06	2.4824	1.00006
1.0%	-6.00E-05	0.8776	0.99940
1.5%	-4.00E-05	1.3396	0.99960

7.2.15. Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Cromaticidad (a)		
Tratamiento	Temperaturas	Q_{10}
Testigo	35-45 °C	1.00001
	45-55°C	1.00001
0.50%	35-45 °C	1.00001
	45-55°C	1.00001
1.00%	35-45 °C	0.99993
	45-55°C	0.99994
1.50%	35-45 °C	0.99996
	45-55°C	0.99996

7.2.16. Gráfica del tiempo de vida de anaquel (t), en función de la temperatura para el parámetro de cromaticidad a (rojo).

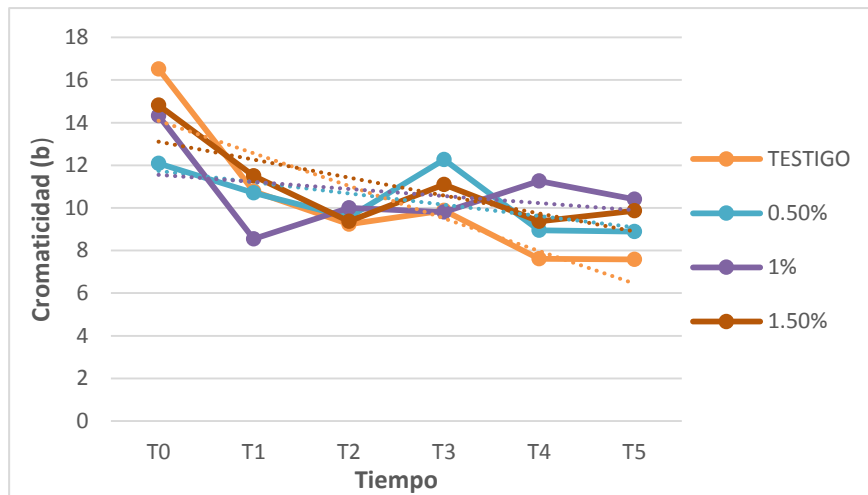


7.2.17. Ecuación para calcular la vida de anaquel del parámetro de cromaticidad (a), una temperatura específica en condiciones de humedad del 60% para cualquiera de los tratamientos estudiados en esta investigación.

Cromaticidad (a)	
Tratamiento	Ecuación
Testigo	$Y = 6E-05X + 7.2204$
0.50%	$Y = 7E-05X + 11.97$
1%	$Y = -0.002X + 2.4052$
1.5	$Y = -0.0002 + 3.8173$

7.3. Procedimiento para calcular la vida de anaquel y el factor Q10 del parámetro de cromaticidad (b), a temperaturas de 35,45 y 55°C con 60% HR.

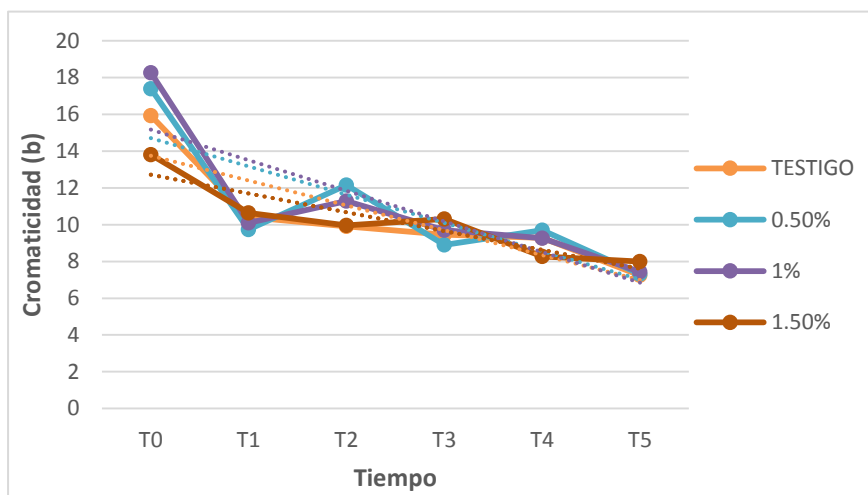
7.3.1. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (b) en función del tiempo a 35°C y 60% HR.



7.3.2. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la luminosidad en función del tiempo para todos los tratamientos a 35°C y 60%HR.

Cromaticidad (b)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-1.5287
0.50%	-0.5291
1%	-0.3317
1.50%	-0.8425

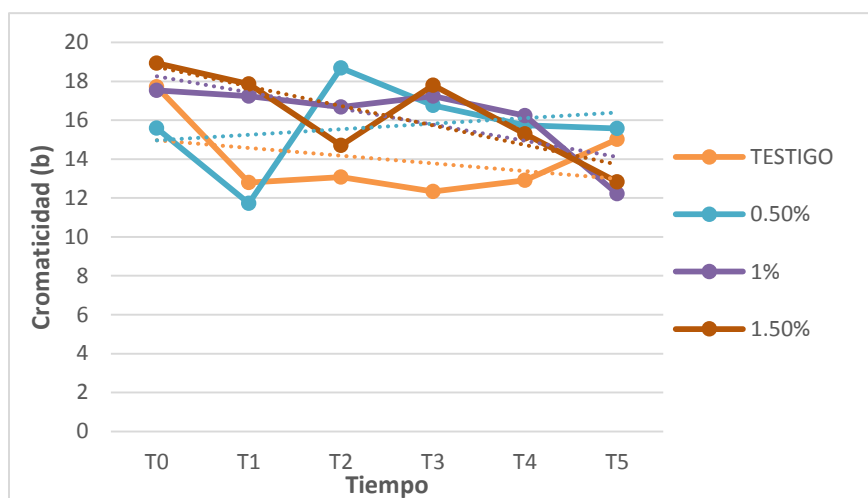
7.3.3. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (b), en función del tiempo a 45°C y 60% HR.



7.3.4. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la cromaticidad (b), en función del tiempo para todos los tratamientos a 45°C y 60%HR.

Cromaticidad (b)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-1.3515
0.50%	-1.5379
1%	-1.6656
1.50%	-1.023

7.3.5. Comportamiento del parámetro de cromaticidad (b), en función del tiempo a 55°C y 60% HR.



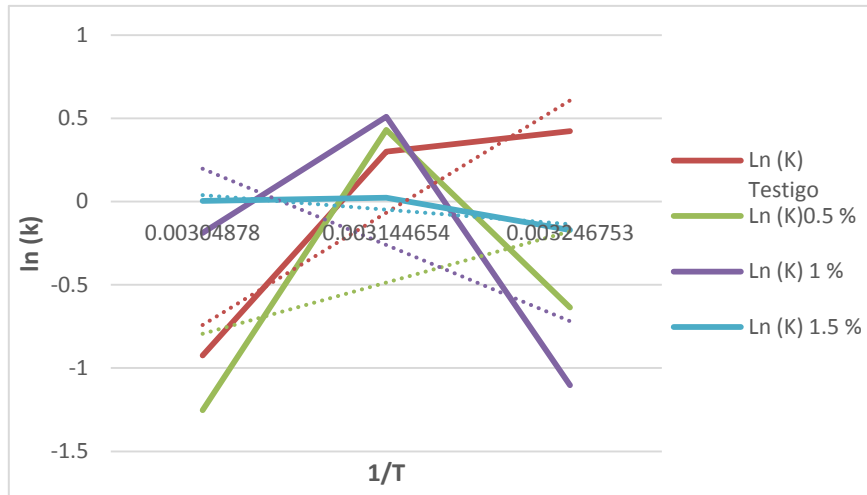
7.3.6. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la cromaticidad (b), en función del tiempo para todos los tratamientos a 55°C y 60%HR.

Cromaticidad (b)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-0.3965
0.50%	0.2859
1%	-0.8291
1.50%	-1.0036

7.3.7. Tabla concentrada de valores de (k) y cálculo del ln de las mismas.

Condiciones experimentales	b								
	Testigo	Concentración de aceite			1/T	Ln (k) Testigo	Ln (k) 0.5 %	Ln (k) 1 %	Ln (k) 1.5 %
		0.50%	1%	1.50%					
35°C y 60 %HR	1.5287	0.5291	0.3317	0.8425	0.0032	0.4244	-0.6366	-1.1035	-0.1714
45°C y 60% HR	1.3515	1.5379	1.6656	1.0230	0.0031	0.3012	0.4304	0.5102	0.0227
55°C y 60% HR	0.3965	0.2859	0.8291	1.0036	0.0030	-0.9251	-1.2521	-0.1874	0.0036

7.3.8. Grafica del ln (k) con respecto del inverso de la temperatura (1/T)



7.3.9. Valor de la ordenada al origen y de la pendiente, empleadas para el cálculo del factor pre exponencial (K_0) y la energía de activación (EA).

Tratamientos	m	b	K_0	EA
Testigo	0.67470	-1.41600	0.24268	5.60946
0.50%	0.30780	-1.10160	0.33234	2.55905
1%	-0.45810	0.65590	1.92688	-3.80864
1.50%	-0.08750	0.12660	1.13496	-0.72748

7.3.10. Valores de la velocidad de deterior obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para el parámetro de cromaticidad (b).

Tratamientos	$K_{35^\circ\text{C}}$	$K_{45^\circ\text{C}}$	$K_{55^\circ\text{C}}$
Testigo	0.24322	0.24320	0.24318
0.50%	0.33267	0.33266	0.33265
1%	1.92401	1.92410	1.92419
1.50%	1.13464	1.13465	1.13466

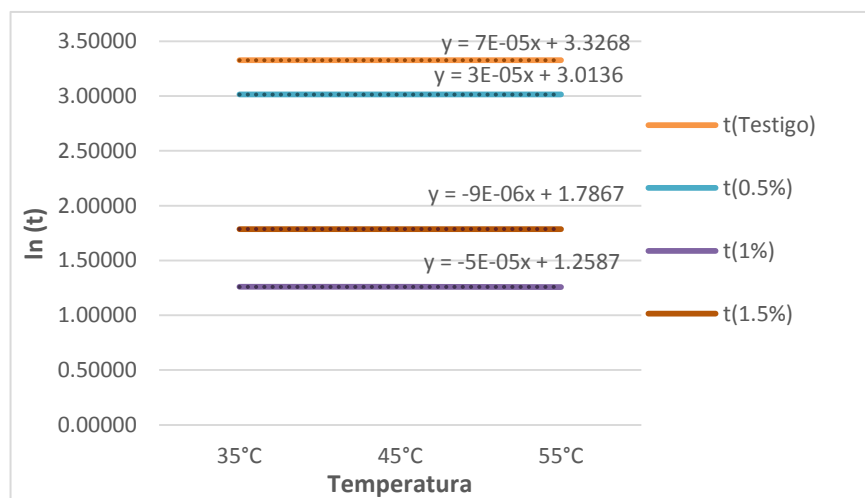
7.3.11. Tiempo de vida de anaquel (t) de la fresa para el parámetro de cromaticidad b (verde).

Temperatura	Tiempo (Testigo)	Tiempo (0.5%)	Tiempo (1%)	Tiempo (1.5%)
35°C	27.85025	20.36125	3.52056	5.96982
45°C	27.85217	20.36189	3.52040	5.96977
55°C	27.85398	20.36249	3.52024	5.96972

7.3.12. Calculo del ln (t) para el parámetro de cromaticidad b (verde).

ln				
Temperatura	t(Testigo)	t(0.5%)	t(1%)	t(1.5%)
35°C	3.32684	3.01363	1.25862	1.78672
45°C	3.32691	3.01366	1.25857	1.78671
55°C	3.32698	3.01369	1.25853	1.78670

7.3.13. Grafica del ln (t) con respecto de la temperatura



7.3.14. Valor de la ordenada al origen y de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10}

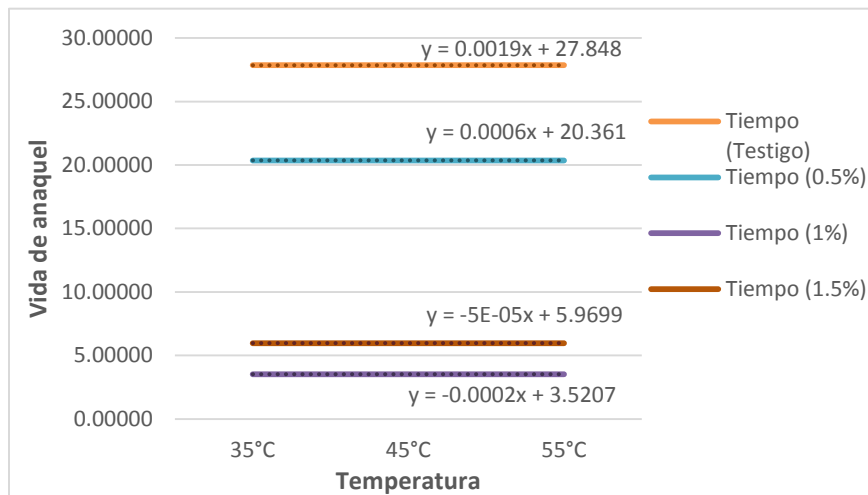
7.3.15.

Tratamientos	m	b	Q_{10}
Testigo	7.00E-05	3.3268	1.00070
0.5%	3.00E-05	3.0136	1.00030
1.0%	-5.00E-05	1.2587	0.99950
1.5%	-9.00E-06	1.7867	0.99991

7.3.16. Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Cromaticidad (b)		
Tratamiento	Temperaturas	Q_{10}
Testigo	35-45 °C	1.00007
	45-55°C	1.00006
0.50%	35-45 °C	1.00003
	45-55°C	1.00003
1.00%	35-45 °C	0.99995
	45-55°C	0.99996
1.50%	35-45 °C	0.99999
	45-55°C	0.99999

7.3.17. Gráfica del tiempo de vida de anaquel (t) en función de la temperatura para el parámetro de cromaticidad b (verde).

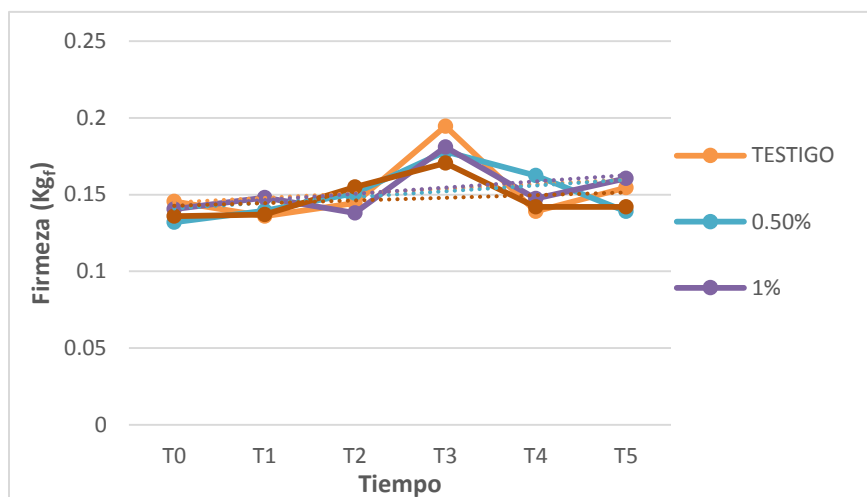


7.3.18. Ecuaciones para calcular la vida de anaquel del parámetro de cromaticidad b (verde) a una temperatura específica en condiciones de humedad del 60% para cualquiera de los tratamientos estudiados en esta investigación.

Cromaticidad (b)	
Tratamiento	Ecuación
Testigo	$Y=0.0019X+27.848$
0.50%	$Y=0.0006X+20.361$
1%	$Y=-0.0002X+3.5207$
1.5	$Y=-5E-05X+5.9699$

7.4. Procedimiento para calcular la vida de anaquel y el factor Q10 del parámetro de firmeza (Kg_f) a temperaturas de 35,45 y 55°C con 60% HR.

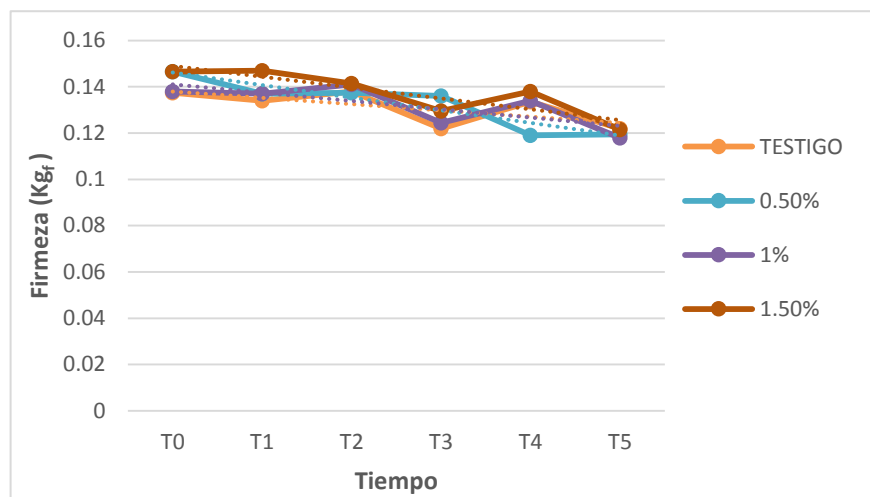
7.4.1. Comportamiento del parámetro de firmeza (Kg_f) en función del tiempo a 35°C y 60% HR.



7.4.2. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la firmeza (Kg_f) en función del tiempo para todos los tratamientos a 35°C y 60%HR.

Firmeza (Kg_f)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	0.003
0.50%	0.0037
1%	0.004
1.50%	0.0017

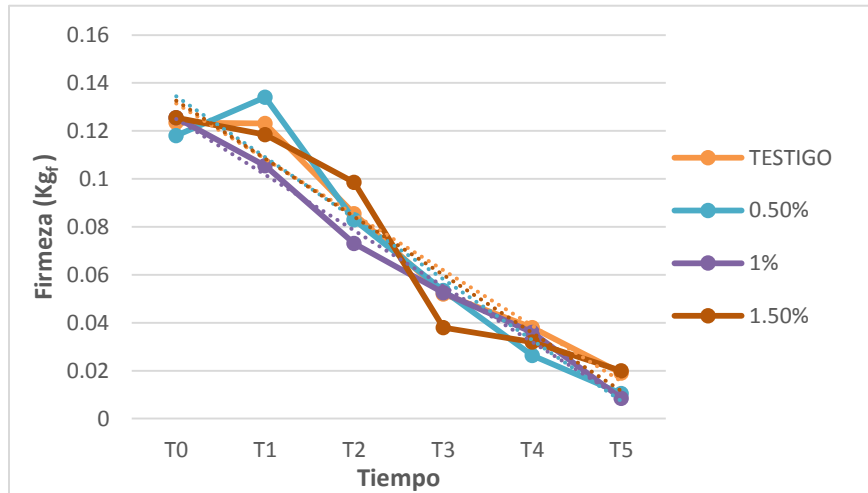
7.4.3. Comportamiento del parámetro de la firmeza (Kg_f) en función del tiempo a $45^{\circ}C$ y 60% HR.



7.4.4. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la firmeza (Kg_f) en función del tiempo para todos los tratamientos a $45^{\circ}C$ y 60%HR.

Firmeza (Kg_f)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-0.0027
0.50%	-0.0054
1%	-0.0036
1.50%	-0.0047

7.4.5. Comportamiento del parámetro de la firmeza (K_f) en función del tiempo a 55°C y 60% HR.



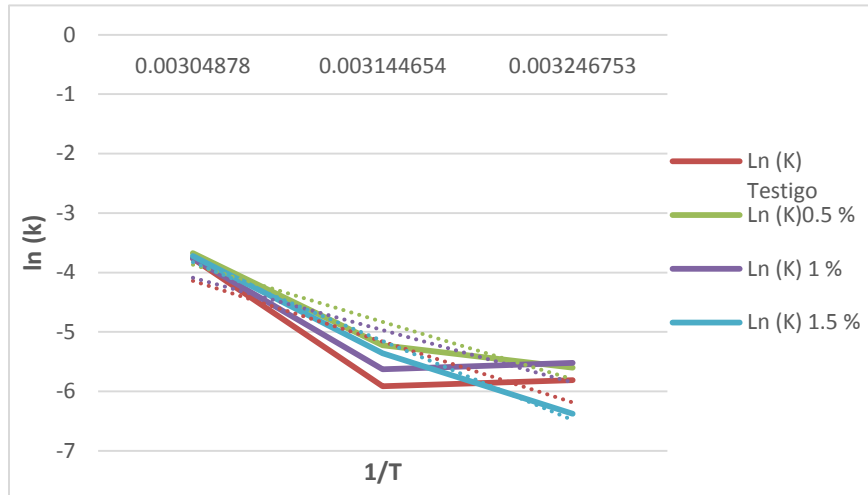
7.4.6. Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la (K_f) en función del tiempo para todos los tratamientos a 55°C y 60%HR.

Firmeza (K_f)	
Tratamientos	Pendiente
Testigo	-0.0232
0.50%	-0.0254
1%	-0.0233
1.50%	-0.0242

7.4.7. Tabla concentrada de valores de (k) y cálculo del \ln de las mismas.

Firmeza (K_f)									
Condiciones experimentales	Testigo	Concentración de aceite			1/T	Ln (k) Testigo	Ln (k) 0.5 %	Ln (k) 1 %	Ln (k) 1.5 %
		0.50%	1%	1.50%					
35°C y 60 %HR	0.0030	0.0037	0.0040	0.0017	0.0032	-5.8091	-5.5994	-5.5215	-6.3771
45°C y 60% HR	0.0027	0.0054	0.0036	0.0047	0.0031	-5.9145	-5.2214	-5.6268	-5.3602
55°C y 60% HR	0.0232	0.0254	0.0233	0.0242	0.0030	-3.7636	-3.6730	-3.7593	-3.7214

7.4.8. Grafica del ln (k) con respecto del inverso de la temperatura (1/T)



7.4.9. Valor de la ordenada al origen y de la pendiente, empleadas para el cálculo del factor pre exponencial (K_0) y la energía de activación (EA).

Tratamientos	m	b	K_0	EA
Testigo	-1.02280	-3.11690	0.04429	-8.50356
0.50%	-0.96320	-2.90480	0.05476	-8.00804
1%	-0.88110	-3.20700	0.04048	-7.32547
1.50%	-1.32790	-2.49720	0.08232	-11.04016

7.4.10. Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para el parámetro de firmeza (K_f).

Tratamientos	$K_{35^\circ\text{C}}$	$K_{45^\circ\text{C}}$	$K_{55^\circ\text{C}}$
Testigo	0.04415	0.04415	0.04416
0.50%	0.05459	0.05459	0.05428
1%	0.04036	0.04037	0.04008
1.50%	0.08196	0.08197	0.08169

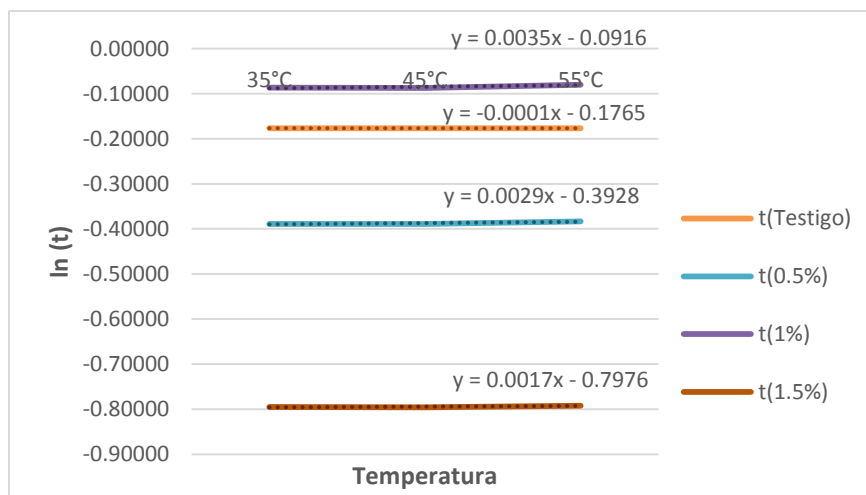
7.4.11. Tiempo de vida de anaquel (t) de la fresa para el parámetro de firmeza (Kg_f).

Temperatura	Tiempo (Testigo)	Tiempo (0.5%)	Tiempo (1%)	Tiempo (1.5%)
35°C	0.838101062	0.67779521	0.9166985	0.451434042
45°C	0.838013546	0.67772855	0.91661604	0.451372842
55°C	0.837931375	0.68168932	0.92306103	0.452927164

7.4.12. Calculo del ln (t) para el parámetro de cromaticidad firmeza (Kg_f).

ln				
Temperatura	t _(Testigo)	t _(0.5%)	t _(1%)	t _(1.5%)
35°C	-0.17662	-0.38891	-0.08698	-0.79533
45°C	-0.17672	-0.38901	-0.08707	-0.79546
55°C	-0.17682	-0.38318	-0.08006	-0.79202

7.4.13. Grafica del ln (t) con respecto de la temperatura



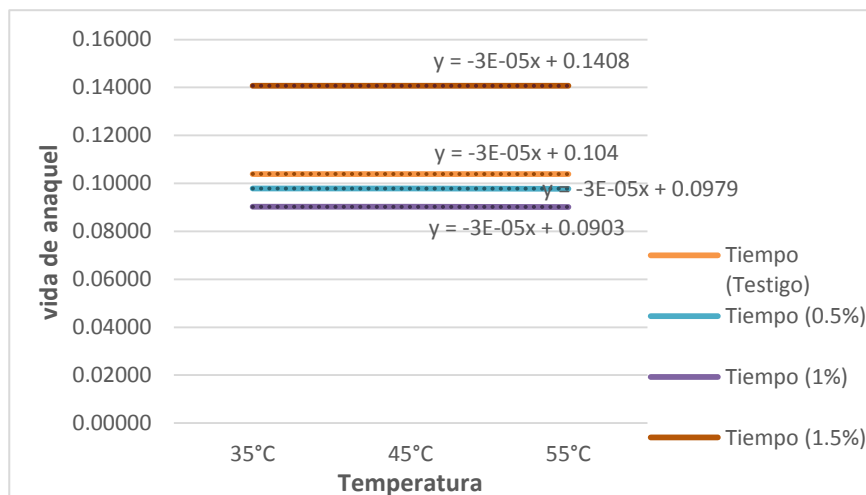
7.4.14. Valor de la ordenada al origen y de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10}

Tratamientos	m	b	Q_{10}
Testigo	-0.0001	-0.1765	0.999
0.5%	0.0029	-0.3928	1.029425
1.0%	0.0035	-0.0916	1.03562
1.5%	0.0017	-0.7976	1.017145

7.4.15. Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Firmeza (Kg_f)		
Tratamiento	Temperaturas	Q_{10}
Testigo	35-45 °C	0.99990
	45-55°C	0.99990
0.50%	35-45 °C	0.99990
	45-55°C	1.00584
1.00%	35-45 °C	0.99991
	45-55°C	1.00703
1.50%	35-45 °C	0.99986
	45-55°C	1.00344

7.4.16. Gráfica del tiempo de vida de anaquel (t) en función de la temperatura para el parámetro de firmeza (Kg_f).



7.4.17. Ecuación para calcular la vida de anaquel del parámetro de firmeza (Kg_f) a una temperatura específica en condiciones de humedad del 60% para cualquiera de los tratamientos estudiados en esta investigación.

Firmeza (Kg_f)	
Tratamiento	Ecuación
Testigo	$Y=-3E-05X+0.104$
0.50%	$Y=-3E-05X+0.0979$
1%	$Y=-3E-05X+0.0903$
1.5	$Y=-3E-05X+0.1408$